

Національна академія наук України
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ РЕЄСТРАЦІЇ ІНФОРМАЦІЇ

В. В. Петров

ВИБРАНЕ

Київ 2020

УДК 004.85

Рекомендовано до друку Вченою радою
Інституту проблем реєстрації інформації НАН України
(протокол № 6 від 28.04.2020 р.)

Упорядники:

доктор технічних наук, професор **О. Г. Додонов**
член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор **А. А. Крючин**
кандидат технічних наук, старший науковий співробітник **С. М. Шанойло**

Петров В. В.

Вибране. Київ : Інститут проблем реєстрації інформації НАН України, 2020.
616 с. : іл.

ISBN 978-966-02-9294-9

Книгу присвячено 80-річчю від дня народження видатного вченого в галузі інформаційних технологій, засновника та незмінного директора Інституту проблем реєстрації інформації НАН України академіка НАН України Вячеслава Васильовича Петрова.

Видання містить вибрані статті, надруковані в 1966–2020 рр., в яких представлено результати наукових досліджень ученого, у тому числі створення методів і систем оптичної реєстрації і перетворення інформації, технології довгострокового зберігання цифрової інформації, систем масового розповсюдження комп'ютерної інформації, технологій мікрорельєфних структур для офтальмології, оптичних дифракційних елементів та інші. Наведено публікації у пресі про розробки, які виконано в Інституті проблем реєстрації інформації НАН України під керівництвом В. В. Петрова.

Для фахівців у галузі інформаційних технологій, викладачів і студентів відповідного фаху, а також для усіх, хто цікавиться історією розвитку науки в Україні.

ISBN 978-966-02-9294-9

© Петров В. В., 2020
© Інститут проблем реєстрації
інформації НАН України, 2020

ЗМІСТ

Розділ 1. Програмовані матриці на резистивних елементах	21
Розділ 2. Неорганічна літографія. Реєструвальні матеріали для оптичного запису інформації	47
Розділ 3. Розробка та дослідження оптичних дисків і циліндрів для ЕОМ	149
Розділ 4. Високошвидкісні системи для передачі цифрової інформації телевізійними каналами. Електронна комп'ютерна газета «ВСЕ–ВСІМ»	317
Розділ 5. Методи і обладнання для оцифрування раритетних воскових валиків. Колекція ЮНЕСКО «Пам'ять світу».....	373
Розділ 6. Мікропризмові оптичні технології. Катафоти. Дифузори	424
Розділ 7. Мікропризмова діагностика та лікування косоокості дітей	481
Розділ 8. Публікації у пресі	558
Перелік вибраних робіт	609

*До 80-річчя
від дня народження*

Петров Вячеслав Васильович – академік НАН України, доктор технічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, премії Кабінету Міністрів України за розроблення і впровадження інноваційних технологій, премій НАН України імені С. О. Лебедева та В. М. Глушкова, засновник і незмінний директор Інституту проблем реєстрації інформації НАН України від часу його заснування і до сьогодні.

Природна жага до знань, небайдужість до навколишнього, нестримне бажання пізнати ще непізнане і зробити його корисним для людей визначили життєвий шлях Вячеслава Васильовича, шлях ученого, Ученого з великої літери. На різних етапах наукової діяльності В. В. Петрова його дослідження підтримувались і високо оцінювались нобелівськими лауреатами М. Г. Басовим, О. М. Прохоровим і Ж. І. Алфьоровим.

Вищу освіту В. В. Петров одержав у Харківському політехнічному інституті, де ще в студентські роки почав займатися науковою роботою в лабораторії електронного моделювання, в якій в інтересах промислових підприємств і галузей проводилися дослідження з електронного моделювання складних нелінійних диференційних рівнянь, які описували, зокрема, динаміку електроприводів тепловозів і електровозів, особливості динаміки руху залізничних ешелонів з урахуванням багатьох нелінійних параметрів. У лабораторії активно працював семінар, на якому обговорювалися напрями та результати наукових досліджень. На одному із засідань семінару В. В. Петров виклав ідею створення швидкодіючих запам'ятовуючих пристроїв на матрицях резисторів. Ідею було схвалено та підтримано, виготовлено діючий макет такої матриці, отримано авторське свідоцтво на винахід. Хоча запропонована та реалізована ідея лежала дещо осторонь основного напрямку досліджень лабораторії, проте вона в подальшому і визначила напрям наукового життя академіка В. В. Петрова.

Дослідження за зазначеною тематикою В. В. Петров продовжив в Інституті кібернетики АН УРСР, до аспірантури якого вступив у 1964 році. У стислі терміни він провів дослідження зі створення координатних і асоціативних запам'ятовуючих пристроїв на матрицях резисторів. Було визначено критерії реалізації пристроїв, розраховано їхні основні технічні характеристики. Стаття з результатами цієї роботи академік В. М. Глушков представив для публікації у журналі «Доповіді АН УРСР». Дослідження В. В. Петрова спростовували усталену в наукових колах думку, що на резистивних матрицях можуть бути реалізовані постійні запам'ятовуючі пристрої лише малої ємності.

У 1968 році в Інституті кібернетики АН УРСР В. В. Петров захистив кандидатську дисертацію «Резистивные матрицы и некоторые их применения в вычислительной технике». Розпочалися роботи з реалізації матриць резисторів у мікроелектронному виконанні. Знаменним став початок 1968 року, коли до Інституту кібернетики звернулася група науковців Інституту напівпровідників, якими роки зо два до цього був відкритий ефект фоточутливості тонкоплівкових систем напівпровідник-метал, з проханням проаналізувати можливість застосування зазначеного ефекту в обчислювальній техніці. Оскільки товщина плівок становила 0,02–0,05 мкм, стало очевидним, що на такому світлочутливому матеріалі можна зареєструвати зображення з розмірами в десяті, та навіть сотні долі мікрметра. Спільно з авторами відкриття Вячеслав Васильович розпочав інтенсивний пошук нових систем напівпровідник-метал і вивчення їхніх оптичних і спектральних характеристик. З точки зору застосування цих систем в обчислювальній техніці науковців найбільше цікавили питання, як під впливом оптичного випромінювання змінюються хімічні властивості, яка хімічна та фізична стійкість нових хімічних з'єднань, що утворилися під дією світла.

За два роки досліджень, під час яких було синтезовано та досліджено тисячі варіантів систем напівпровідник-метал, сотні розчинників, отримано десятки патентів на винаходи, народився новий напрям у науці – неорганічна фотолітографія. За допомогою класичної оптики було виготовлено металеві стрічки шириною близько 0,5 мкм, елементи запису інформації і зображень з розмірами елементів 0,2 мкм, а на японському сканувальному електронному мікроскопі експериментально вперше в світі отримано зображення з розмірами 0,05 мкм. Це був справжній прорив у галузь мікроелектронних технологій з розмірами елементів менше ніж 1 мкм. За цикл цих досліджень колектив науковців отримав щорічну премію Президії Академії наук СРСР «За фундаментальні дослідження в галузі мікроелектроніки».

Технологію створення елементів з розмірами менше 1 мкм було визначено як субмікронну, однак пізніше прийняли термін «нанотехнологія», який і визначає технологію створення елементів з розмірами менше 200 нм.

Враховуючи актуальність і важливість виконаних робіт, Держкомітетом СРСР з науки і техніки за поданням Інституту кібернетики АН України було виділено додаткове фінансування на розгортання досліджень з неорганічної фотолітографії. З'явилася реальна можливість розвитку нового наукового

напряму. В 1970 році було створено лабораторію мікроелектроніки зі штатом 25 чоловік, яку очолив В. В. Петров, придбано необхідне для проведення експериментів обладнання – мікроскопи, лазери, вакуумне обладнання тощо.

В. В. Петров висунув ідею створення оптичного диска за аналогією з уже існуючими магнітними дисками, адже реалізація оптичного накопичувача інформації з розмірами елементів запису менш ніж 1 мкм давала змогу реєструвати величезні обсяги інформації.

Розпочались інтенсивні дослідження зі створення оптичних накопичувачів, було розроблено низку макетів, на яких здійснено запис інформації на оптичній доріжці шириною близько 0,7 мкм, у тому числі запис звуку та цифрової інформації, що експериментально підтвердило реальну можливість створення оптичних систем реєстрації інформації.

Визначальним для подальшого розширення досліджень з оптичного запису інформації став 1970 рік. На засіданні Президії АН УРСР була заслухана доповідь академіка Г. Є. Пухова про розвиток робіт з електронного моделювання в Інституті кібернетики. Була організована виставка розроблених машин і обчислювальних комплексів, у тому числі макет оптичного запам'ятовуючого пристрою та мікроскоп, на якому демонструвались елементи запису інформації, ширина яких була менше ніж 1 мкм. Цей експонат дуже зацікавив членів Президії, особливо Президента АН УРСР академіка Б. Є. Патона, який з'ясував усі деталі, цікавився фізикою процесу, реальними можливостями створення систем зберігання інформації, а також питаннями, чи є реальна зацікавленість у промисловості, чи потрібна допомога інших інститутів АН УРСР.

Дослідження інтенсивно продовжувалися, було одержано важливі результати з отримання нелінійних реєструвальних матеріалів із заданими характеристиками. Створення пам'яті на оптичних дисках почало ставати практичною реальністю. Про це В. В. Петров детально проінформував академіка В. М. Глушкова, який в ті роки активно займався створенням загальнодержавної системи автоматизованого управління та системи колективних обчислювальних центрів. Ідея створення гігантської на ті часи пам'яті його зацікавила. В. М. Глушков запропонував В. В. Петрову доповісти про результати робіт співробітнику Генерального штабу, який координував роботи зі створення перспективної обчислювальної техніки, і організував їхню зустріч.

У той час створювалася система крупносерійного виробництва обчислювальних машин, необхідно було забезпечити сучасне виробництво нової обчислювальної техніки, і задача полягала в тому, щоби засоби обчислювальної техніки були оснащені сучасними розробками – від створення математичного забезпечення до створення систем, комплексів, у тому числі зовнішніх запам'ятовуючих пристроїв.

Оскільки, на думку представника генштабу, створення ряду потужних сучасних обчислювальних машин звичайно ж потребуватиме створення й великих запам'ятовуючих пристроїв, він організував зустріч В. В. Петрова з Генеральним конструктором Єдиної системи ЕОМ О. М. Ларіоновим, керівником

нещодавно утвореного Науково-дослідного центру електронної обчислювальної техніки (НДЦЕОТ). Генерального конструктора Єдиної системи ЕОМ та керівника відділення В. Г. Макурочкина, яке виконувало роботи зі створення зовнішніх запам'ятовуючих пристроїв, і основні зусилля на той час було спрямовано на створення накопичувачів на магнітних дисках ємністю 7,25 Мбайт, дуже зацікавили напрямок досліджень і отримані результати зі створення оптичних накопичувачів інформації. Було поставлено завдання створити накопичувач інформації, який за швидкістю запису та форматом представлення даних був би сумісним з накопичувачами на магнітних дисках, а за ємністю перевищував би їх у сотні разів. В. Г. Макурочкин, який на багато років став куратором розробки, тією зв'язуючою ланкою з промисловістю, яка конкретизувала задачі, спрямовувала розробки в русло конкретних досліджень, одразу поставив питання рубя: ніяких НДР, одразу ДКР, рік на розробку технічного завдання, параметри – ємність 2,5 Гбайт, швидкість запису/зчитування 806 кбіт/с. І це 1975 рік!

Роботи зі створення систем оптичного запису інформації стрімко розвивались, у 1976 році на засіданні Президії АН УРСР В. В. Петровим спільно з академіком Г. Є. Пуховим була зроблена доповідь «Про стан і перспективи розвитку в АН УРСР досліджень у галузі створення оптичних запам'ятовуючих пристроїв великої ємності», результатом якої стала постанова Президії АН УРСР від 11.11.1976, в якій відзначалася важливість і перспективність цих досліджень. На засіданні Президії АН УРСР з високою оцінкою перспектив цих робіт виступив академік В. М. Глушков.

1976–1977 роки були самими плідними, генерувалася маса нових ідей зі створення оптичних дисків великої ємності. Народжувалися ідеї аеростатичного шпинделя, аеростатичної каретки для переміщення об'єктива, що дало можливість одержати переміщення з точністю порядку десятих і сотих часток мікрометра. Протягом року був розроблений і захищений у НДЦЕОМ технічний проект. Розробку сприйняли з великим ентузіазмом. Це було не дивно, оскільки на той час у жодній країні світу дослідження з оптичного запису інформації на такому рівні не проводились.

У 1976 році в очолюваній В. В. Петровим міжгалузевій лабораторії розпочалась розробка оптико-механічного запам'ятовуючого пристрою на змінних оптичних дисках ємністю 10^{10} біт, яка проводилася відповідно до спільного наказу Міністра радіопромисловості СРСР і Президента Академії наук УРСР від 23 січня 1976 р. № 19/42. Оптико-механічному накопичувачу було присвоєно шифр ЄС 5150 (змінному оптичному диску ємністю 10^{10} біт – ЄС 5350). Він разом з модифікованим пристроєм керування ЄС 5566 мав використовуватись як пристрій зовнішньої пам'яті в моделях ЕОМ Єдиної системи «Ряд-2». Головним конструктором оптико-механічного запам'ятовуючого накопичувача ЄС 5150 був призначений к.т.н. В. В. Петров. Створена широка кооперація з розробки лазерів, модуляторів, математичного забезпечення, фотоприймачів, оптичних систем і вузлів і багатьох інших елементів. Зокрема, за технічними завданнями для накопичувача ЄС 5150 на НВО «Полюс»

(м. Москва) та Ульяновському радіоламповому заводі розроблявся та виготовлявся твердотільний лазер з подвоєнням частоти, на НВО «Полярон» (м. Львів) і Рязанському електроламповому заводі – газові аргонні лазери, на ВО «Кварц» (м. Чернівці) та ВО «Восток» (м. Новосибірськ) – спеціальні кремнієві фотоприймачі, на ВО «Завод Арсенал» (м. Київ) – оптичні системи та вузли. І це тільки основні комплектуючі. На Кам'янець-Подільському заводі «Електроприлад», який був визначений дослідним заводом для освоєння оптичного накопичувача ЄС 5150, здійснювалися розробка конструкторської і технологічної документації і підготовка виробництва накопичувачів.

У 1986 році після виготовлення дослідних зразків накопичувача ЄС 5150 були успішно проведені Державні випробування. Виробництво накопичувачів розпочали на Кам'янець-Подільському заводі «Електроприлад» для подальшої комплектації ними потужних обчислювальних машин серії ЄС. Протягом 1987 року було виготовлено тридцять накопичувачів ЄС 5150, які тривалий час використовувались у дослідній експлуатації для зберігання даних сейсморозвідки установами Міністерства геології СРСР.

Швидке зростання кількості персональних комп'ютерів, їхнє широке застосування в різних сферах життєдіяльності, в тому числі на рухомих об'єктах, вимагало створення запам'ятовуючих пристроїв, які би надійно працювали умовах вібрацій, перенавантажень. Було запропоновано оригінальну ідею схеми та технології побудови системи запису інформації – використання циліндричного носія інформації і оптичної системи рідинно-імерсійного запису.

Циліндричний носій інформації обертався та переміщувався відносно осі фокусуємого об'єктива в рідині в циліндричній направляючій. Під час обертання носія утворювалася гідродинамічна опора, яка забезпечувала носію інформації працездатність в умовах значних прискорень, механічних коливань і навантажень. Крім того, розміщення реєструвального середовища всередині герметичної порожнини носія виключало вплив на нього оточуючого середовища, а розміщення носія в рідині виключало вплив механічних пошкоджень його зовнішньої поверхні на процес запису/відтворення інформації, що, в свою чергу, забезпечувало високу надійність і тривалий термін зберігання інформації. Імерсійна оптична система запису забезпечувала значне підвищення апертури об'єктива і, відповідно, суттєве підвищення щільності запису інформації.

Усі оригінальні ідеї і технічні рішення були захищені низкою авторських свідоцтв СРСР. Коли перші заявки на винаходи з оптичних циліндрів почали поступати до Комітету у справах винаходів, ними дуже зацікавився Голова Комітету, який висловив Президенту АН УРСР академіку Б. Є. Патону свою думку, що оптичні циліндри – кращий винахід у галузі електроніки за багато десятиліть, який необхідно захистити в усьому світі. Підготовлено близько 30 патентів, які були надіслані до 28 країн світу, понад 600 заявок на винаходи – до 27 країн світу, і багато з них були прийняті. Було зареєстровано понад 10 патентів США.

Розробка малогабаритного накопичувача інформації виконувалася відповідно до наказу Міністерства радіопромисловості СРСР від 31.01.87 р. № 171. Йому та циліндричному носію інформації було присвоєно шифри ЄС 5350 та ЄС 5353 відповідно. Головним конструктором розробки було призначено В.В. Петрова. Накопичувач призначався для роботи у складі персональних ЕОМ (зокрема, ЄС 1841) у середовищі операційної системи М-86. Фахівцями НВО «Ленінець» (м. Санкт-Петербург) накопичувач ЄС 5350 на оптичних циліндрах було включено до складу Бортової автоматизованої системи контролю літака АН-70, що на той час проектувався в КБ О. К. Антонова.

Знову було створено потужну кооперацію. До виконання проекту залучили близько 30 організацій, інститутів і підприємств різних міністерств і відомств СРСР. Зокрема, розробку та виготовлення одномодових напівпровідникових лазерів здійснювало НВО «Полюс» (м. Москва), оптичної системи та високоапертурного імерсійного об'єктива – Ленінградське оптико-механічне об'єднання та Державний оптичний інститут (м. Санкт-Петербург), спеціальних фотоприймачів – ВО «Кварц» (м. Чернівці), спеціального технологічного оснащення для виготовлення циліндричних носіїв інформації – НВО «Авангард» (м. Санкт-Петербург), технології серійного виробництва матеріалів реєструвального середовища – НВО «Карат» (м. Львів). У ЦНВО «Комета» (м. Москва) та Брестському ВО засобів обчислювальної техніки проводилися конструкторсько-технологічні роботи, розроблялася необхідна документація, здійснювалася підготовка та виготовлення дослідних зразків накопичувачів. Розробку було успішно завершено, виготовлено дослідну партію накопичувачів. У 1989 році успішно проведено державні випробування та розпочато підготовку виробництва на Брестському ВО засобів обчислювальної техніки.

1990-ті роки позначилися бурхливим розвитком CD-індустрії. Компакт-диски видавалися в гігантських обсягах, охоплюючи всі сфери життя суспільства і містили в собі науково-технічну, ділову інформацію, на них записувались ігри та розваги, видавалися диски з аудіо- і відеотворами культури і мистецтва тощо. В Україні теж розпочалося видання компакт-дисків. Проте технологічні комплекси постачалися в Україну в неповному складі. Вони, в основному, представляли собою термопластавтомати для тиражування компакт-дисків, а інтелектуальна та високотехнологічна складові – система підготовки даних, створення образу компакт-дисків, система виготовлення і запису дисків-оригіналів, система виготовлення гальванокопій – були відсутні. Українські видавці надсилали контент компакт-диска зарубіжним партнерам, які створювали його образ і виготовляли нікелеві штампи, з яких уже українські підприємці компакт-дисків видавали тиражі. Тобто українські видавці компакт-дисків були залежними від своїх зарубіжних партнерів. Для вирішення цієї проблеми за ініціативою і під керівництвом В. В. Петрова в ІПРІ НАН України, який мав величезний досвід у створенні систем оптичного запису інформації, за інноваційним проектом від 12.11.1997 р. № 12/НАН/97 створено високотехнологічний комплекс виготовлення нікелевих штампів для тиражування компакт-дисків.

До складу комплексу входили такі основні системи:

- система підготовки даних і створення образу компакт-диска;
- станція лазерного запису дисків-оригіналів;
- технологічна лінія виготовлення скляних дисків-оригіналів;
- система автоматичного проявлення дисків-оригіналів з дифракційним контролем процесу проявлення,

– технологічний комплекс гальванопластики для виготовлення нікелевих штампів;

– технологічний комплекс прецизійної механічної обробки нікелевих штампів;

- система контролю якості виготовлених штампів.

Створений технологічний комплекс було атестовано Державним департаментом інтелектуальної власності Міністерства освіти і науки України (ліцензія серія АБ № 202473). За результатами проведених наукових досліджень і технологічних розробок оптичних накопичувачів інформації було створено єдине у Східній Європі виробництво нікелевих штампів для тиражування компакт-дисків, оснащене технологічним обладнанням власної розробки та виготовлення. Протягом 5–7 років, аж до того часу, коли українські виробники змогли закуповувати технологічні лінії з виготовлення компакт-дисків у повній комплектації, створене виробництво задовольняло потреби в штампах низки виробників в Україні і Росії. Основними споживачами були АК «Росток» (м. Київ) і фірма «Амітрон» (м. Херсон), окремі підприємства в Москві і Санкт-Петербурзі. Створений високотехнологічний комплекс працездатний і донині, забезпечує можливість проводити експериментальні дослідження з розробки технології виготовлення оптичних дисків у всіх форматах (CD, DVD, BD та ін.).

Не залишилася поза увагою В. В. Петрова і така важлива та завжди актуальна проблема як довгострокове зберігання інформації.

Проблема надійного та довгострокового зберігання великих обсягів інформації на всіх етапах розвитку людства завжди була однією з найважливіших, і для її вирішення використовувалися різні типи систем запису та носіїв інформації. Особливо актуальною ця науково-технічна задача стала в наш час, коли саме цифрова форма представлення інформації частіше всього використовується для зберігання документів. Обсяги інформації, що представлена в цифровій формі, постійно збільшуються не тільки за рахунок нової інформації, яка в більшості випадків уже має і електронну форму представлення, але й за рахунок перекладу в цифрову форму раніше створеного інформаційного ресурсу, в першу чергу, таких як найважливіша науково-технічна інформація, генетична інформація, інформація про культурне розташування ядерних відходів і їхні параметри, світового надбання.

На жаль, сучасні носії даних не здатні забезпечити довгострокове зберігання даних. Пожежею у баштах-близнятах у Нью-Йорку, який відбувся в результаті теракту 11 вересня 2011 року, було знищено абсолютно всі цифрові носії. У цьому випадку варто пам'ятати про глиняні таблички шумерів, які

в 6-му столітті до нашої ери витримали пожежу в бібліотеці Ашшурбаніпала та збереглися до нашого часу.

В останні 10 років інститут активно працює над створенням носія довгострокового зберігання інформації. У процесі роботи як матеріал для такого носія було випробувано різні матеріали: скляні та металеві підкладки, кераміку та інші. Самим привабливим матеріалом для підкладки є сапфір. Розроблено технологію зберігання цифрових даних у вигляді мікрорельєфу на поверхні прозорої високо стабільної підкладки з монокристала сапфіру. Використання сапфіру як основи дозволило створити унікальні носії для довгострокового зберігання даних, які характеризуються високою стійкістю до механічних пошкоджень, не підлягають впливу хімічно активного середовища і здатні підтримувати температуру 1000 °С і більше. Ні один з існуючих цифрових носіїв не може забезпечити зберігання даних у таких умовах. Сапфір використовується для виробництва світлодіодів, захисних екранів смартфонів, ілюмінаторів для підводних човнів і космічних кораблів. Застосування сапфіру як підкладки для дисків для багаторічного зберігання інформації було очевидним, але наявність оптичної анізотропії монокристала сапфіру стримувало створення цифрового оптичного сапфірового диска. Інститут спільно з Інститутом монокристалів НАН України вирішили цю проблему. У підсумку, на початку 2014 року було здійснено прорив, який полягав у тому, що вдалося знайти спосіб компенсації оптичної анізотропії монокристалічного сапфіра і створити перший у світі цифровий оптичний диск з рельєфом на сапфіровій підкладці. Оригінальність розробленої технології підтверджено патентом України № 106699 «Система зчитування даних з оптичним носієм та оптичним носієм для довгострокового зберігання даних» і міжнародним патентом WO201411619 «Система зчитування даних з оптичних носіїв», які дозволяють визначити пріоритет України на введення в усіх країнах світу. Принцип запису даних на розроблений оптичний носій для довгострокового зберігання даних базується на технології створення дисків-оригіналів оптичних носіїв, у яких формат представлення даних повністю відповідає стандартним форматам CD і DVD. Це дозволяє для відтворення записаних даних використовувати існуючі програвачі оптичних дисків з невеликою модернізацією, що полягає в розміщенні додаткової фазової пластинки, яку розташовано між фокусуною лінзою та носієм інформації для компенсації явища подвійного променезаломлення у сапфіровій підкладці. Представлена розробка є прикладом високотехнологічного інноваційного продукту, який за своїми параметрами значно перевершує існуючі на сьогоднішній день зарубіжні аналоги. Оптичний сапфіровий диск входить у топ-5 найбільш технологічних українських винаходів за версією журналу Forbes за останні два роки.

В. В. Петров ніколи не лишався осторонь від вирішення нагальних і актуальних проблем, навіть тих, які, на перший погляд, знаходилися поза межами його наукових інтересів. Яскравим прикладом цього є створення системи масового поширення комп'ютерної інформації широкосмуговими телевізійними каналами – створення електронної комп'ютерної газети «ВСЕ–ВСІМ». Кінець

80-х – початок 90-х років 20-го століття відзначилися різким збільшенням виробництва та масовим поширенням високопродуктивних персональних комп'ютерів. В індивідуальному користуванні було вже сотні тисяч персональних комп'ютерів, і гострим стало питання, як поширювати інформацію, де і як її отримувати власникам персональних комп'ютерів.

Великі комп'ютери (обчислювальні комплекси) і множина персональних комп'ютерів були з'єднані аналоговими телефонними лініями, обмін даними з швидкістю 19,2 кбіт/с здійснювався за індивідуальними даними через електронну пошту. Але коли необхідно було швидко надати інформацію сотням тисяч і мільйонам персональних комп'ютерів при практично відсутній мережі Інтернет виникла проблема мереж з відповідною пропускнуою здатністю. Сучасна інформаційна інфраструктура, яка взяла би на себе інформаційне забезпечення всіх галузей (промислових, наукових, економічних, медичних, суспільних і т.п.) життєдіяльності країни була відсутня.

В Інституті проблем реєстрації інформації НАН України було розроблено і впроваджено в практику новий принцип масового поширення інформації – принцип комп'ютерної газети. Науково-технічна розробка інституту втілилася в життя у вигляді Української електронної комп'ютерної газети «ВСЕ–ВСІМ», зареєстрованої 8 лютого 1991 року Держтелерадіо України як засіб масової інформації.

Для створення сучасних телекомунікаційних мереж, потужних інформаційно-обчислювальних комплексів і баз даних комп'ютерної інформації було запропоновано принцип створення телевізійної комп'ютерної преси «ВСЕ–ВСІМ», яка заснована на масовому розповсюдженні максимально повної комп'ютерної інформації, що охоплює всі основні напрямки діяльності суспільства, з використанням широкосмугового телевізійного каналу з наданням абонентам можливості апаратної селекції інформації, що надходить у процесі інформаційного сеансу, а також організації масової електронної пошти з урахуванням мовних особливостей абонентів. Телевізійна комп'ютерна преса «ВСЕ–ВСІМ» дозволила реалізувати принципово нові можливості поширення комп'ютерної інформації (науково-технічних рефератів, реклами, комерційної, суспільно-політичної, ділової та інших видів інформації) у рамках великих регіонів з урахуванням мовних, економічних та інших особливостей із використанням дешевих масових засобів прийому, селекції, реєстрації та обробки інформації з урахуванням індивідуальних потреб людини сучасного суспільства.

Суть роботи системи полягала в тому, що інформація зі студії за допомогою існуючих телевізійних передавачів ширилася всією територією України. Споживачем інформація приймалася звичайною телевізійною антеною через спеціальні телевізійні адаптери, які перетворювали телевізійні сигнали до вигляду, який сприймався комп'ютером і записувався безпосередньо в пам'ять персональних комп'ютерів. Промисловими підприємствами України було виготовлено достатню кількість телевізійних адаптерів, що повністю забезпечило потребу споживачів. В інститут інформація стікалася телефонними

лініями, супутниковими та радіорелейними каналами і кожен день передавалася всією Україною на каналі «УТ-1» протягом однієї години зі швидкістю 1,25 млн біт за секунду. У кожному сеансі передавалося від 40 до 60 Мбайт інформації, класифікованої за 76 розділами. Абоненти отримували ті рубрики, на які підписалися. Сотні тисяч користувачів могли приймати її одночасно. Для інформаційного наповнення передач електронної комп'ютерної газети «ВСЕ–ВСІМ» було створено систему більш як з 50 тематичних редакцій, які готували інформаційні блоки для передачі користувачам. Значну частину інформаційних блоків становила наукова інформація. Каналами електронної комп'ютерної газети «ВСЕ–ВСІМ» передавалася інформація бази даних Current Contents Інституту наукової інформації США, ВІНІПІ, а також реферати наукових публікацій учених України. Інститут щотижня отримував інформацію з БД Current Contents на правах оренди і поширював її територією України.

Це був перший вдалий досвід широкого використання світових баз даних реферативної інформації. Газета дозволила створити систему баз даних наукової інформації, інститут почав випускати спільно з Національною бібліотекою України імені В. І. Вернадського перший український реферативний журнал «Джерело». Було створено національну систему реферування наукових видань України. Редакції газети «ВСЕ–ВСІМ» вдалося зібрати понад 8 мільйонів рефератів статей з журналів усього світу та записати на 50 компакт-дисках для використання вченими та викладачами України. На основі комп'ютерної газети «ВСЕ–ВСІМ» було створено першу корпоративну систему розповсюдження інформації. Вона забезпечувала оперативною інформацією всі обласні та районні податкові адміністрації і інспекції України, у яких встановили понад 800 робочих місць абонента.

Створена Інститутом проблем реєстрації інформації НАН України система збору великих обсягів різноманітної інформації та її передачі каналами телевізійного мовлення, а також виготовлені Київським ВО «Електронмаш», Смілянським радіоприладним заводом і ВО «Київський радіозавод» понад 45 тисяч телевізійних адаптерів, дозволили в найкоротший строк об'єднати в єдину інформаційну систему всі великі та середні адміністративні, господарські та комерційні структури України. Проект зі створення електронної комп'ютерної газети «ВСЕ–ВСІМ», яка виходила 10 років, став одним із найбільших реалізованих проектів у галузі інформаційних технологій в Україні.

Іншою знаковою розробкою можна вважати створення технології і обладнання для збереження звукової культурної спадщини. В Національній бібліотеці України ім. В. І. Вернадського (НБУВ) на воскових циліндрах Едісона зберігається всесвітньо відома колекція єврейського музичного фольклору М. Береговського. Колекція була зібрана на початку ХХ сторіччя видатними етнографами-дослідниками М. Береговським, Ю. Енгелем, З. Кисельгофом, С. Ан-ським та іншими у місцях компактного проживання євреїв на території України та Південної Білорусі. На понад 1200 циліндрах, що збереглися до кінця ХХ сторіччя, записана безцінна музична спадщина тієї частини

єврейського народу, яка була майже повністю знищена під час Голокосту. Колекція мала детальний опис, проте фонограми були недоступні через відсутність в Україні апаратури для відтворення звуку з воскових циліндрів.

Зважаючи на надзвичайну цінність колекції фонограм, відомі діячі культури, зокрема всесвітньо відомий скрипаль і диригент Ісгуді Менухін, звернулися до керівництва Національної академії наук України з проханням перезаписати колекцію фонографічних циліндрів М. Береговського на сучасні носії інформації. Передбачалося, що перезапис буде здійснено у Віденському фонографічному архіві Австрійської академії наук.

Керівництво НАН України та НБУВ України, враховуючи те, що відтворені фонограми вже не належали би Україні, прийняли рішення не передавати колекцію зарубіжним дослідникам, а здійснити її перезапис силами українських учених.

Інституту проблем реєстрації інформації НАН України було доручено здійснити перезапис колекції фонографічних циліндрів М. Береговського на сучасні носії інформації, адже інститут мав висококваліфікованих науковців з великим досвідом створення прецизійного високотехнологічного обладнання для систем оптичного запису і відтворення інформації. Для вирішення цього завдання було розроблено новий метод високоякісного відтворення звуку з фонографічних циліндрів Едісона та створено станцію оптико-механічного інтерферометричного відтворення звуку з фонографічних циліндрів, яка за своїми характеристиками на мала аналогів у світі, застосовано принципово новий підхід в обробці інформації. На першому етапі вимірювали та записували сигнал про мікрорельєфну структуру звукової доріжки, якою кодується інформація. Вимірювання профілю звукової доріжки здійснювалося на швидкості обертання воскового циліндра в 10–12 разів нижче від швидкості запису інформації. Це дало змогу знизити динамічне навантаження звукознімача на поверхню воскового циліндра в 150–180 разів, що робило процес перезапису практично неруйнівним. Створена система дозволила відтворювати звукові коливання в широкому частотному діапазоні до 20 кГц, що значно, майже в 5 разів, перевищувало спектр частот, записаних на фонографічному циліндрі, і за своїми характеристиками не мала аналогів у світі. Було створено високоточну інтерферометричну систему вимірювання профілю мікрорельєфних структур, розроблено швидкодіючу систему стеження за інформаційними доріжками та високоточну систему стабілізації швидкості обертання носіїв, створено програмно-апаратний комплекс очищення звуку за умов наявності великої кількості потужних завад. На другому етапі здійснювали очищення сигналу від непритаманних звуковій доріжці завад, і тільки після цього отримували аудіосигнал шляхом диференціювання сигналу профілю.

Враховуючи унікальність і важливість для збереження звукової культурної спадщини методу неруйнівного інтерферометричного відтворення звуку з воскових циліндрів, постановою Президії НАН України від 20.11.1998 № 401 створення систем відтворення звуку і зображень з раритетних носіїв інформації визначено пріоритетним напрямом наукових досліджень інституту.

Створення станції неруйнівного відтворення звуку дозволило виконати перезапис колекцій раритетних циліндрів з музеїв і бібліотек України. Так, оцифровано 900 циліндрів з колекції єврейського фольклору М. Береговського (НБУВ), 750 – з колекції українського фольклору О. Роздольського (Бібліотека Львівської національної музичної академії ім. М. В. Лисенка), 200 – з колекції Інституту мистецтвознавства, фольклористики та етнології ім. М. Т. Рильського НАН України, 50 – з Центрального державного кінофотофоноархіву України ім. Г. С. Пшеничного, а також з приватних колекцій. За оцінками фахівців оцифровані колекції мають значну культурну і наукову цінність. Так, колекція М. Береговського, саме завдяки оцифруванню, стала доступною світовому співтовариству. Її занесено до Реєстру ЮНЕСКО «Пам'ять світу». Спільно з Національною бібліотекою України ім. В. І. Вернадського було видано серію мультимедійних компакт-дисків. На них до аудіозаписів додано нотні записи, щоденники експедицій, фотографії, що дало змогу одержати повну інформацію про раритетні колекції. На першому компакт-диску із записами культурного надбання єврейського народу «Скарби єврейської культури в Україні» існує єдина достовірна фонограма виступу Шолом-Алейхема під час огляду Єврейського історико-етнографічного музею в Санкт-Петербурзі в 1914 році. Цей диск Президент України Л. Д. Кучма під час візиту до Ізраїлю в листопаді 1996 року подарував Президенту, Прем'єр-Міністру та Голові Кнесету Ізраїлю.

Завдяки реалізованому в інституті принципово новому методу високоякісного відтворення звуку з фонографічних циліндрів Едісона і створеній новій технології відтворення і обробки аудіоінформації відтворено записи та видано три компакт-диски «Український фольклор першої половини ХХ сторіччя. Вибірка з фоноколекції Осипа Роздольського». На цих дисках розміщено унікальні музичні записи, зчитані з воскових фоноциліндрів, які належать до матеріалів етнографічних експедицій відомого українського музичного етнографа, фольклориста та педагога Осипа Роздольського, що зберігаються у Львівській національній музичній академії ім. М. В. Лисенка. Ці відтворені та відновлені записи є, безперечно, унікальною пам'яткою української культури, тому що фоноархів О. Роздольського має небагато аналогів у Європі та світі як за об'ємом, так і за якістю зібраного матеріалу.

Важливим напрямком у діяльності В. В. Петрова було створення технології виготовлення мікропризмових виробів широкого призначення. Основою для цих робіт став комплекс спеціального обладнання та устаткування з прецизійними системами позиціонування для лазерного запису інформації на оптичні носії кільцевої форми та комплекс гальванопластики для виготовлення гальванічних копій дисків-оригіналів з метою тиражування компакт-дисків.

Перша така розробка – мікропризмові світлоповертальні елементи – катодоти для дорожнього господарства. Роботи розпочалися в 2002 році за ініціативою Мінпромполітики України. Метою перших досліджень було створення прецизійного обладнання для виготовлення штампів для організації промислового виробництва світловідбивної плівки для потреб міського господарства

м. Києва. Запропоновано виготовляти оригінали мікропризмових елементів із використанням твердосплавних інденторів, робоча частина яких має форму точного твердосплавного тетраедра. Проведено перші розрахунки геометричних параметрів одиничного кутового світлоповертаючого елемента, визначено технічні вимоги до індентора, розроблено технологічний маршрут виготовлення штампів, а також унікальне обладнання для виготовлення спеціального інструменту. За допомогою таких інденторів або груп (пакетів) інденторів на першому етапі на плоскій утворюючій поверхні пластини з м'якого металу (алюмінієвий сплав, мідь, бронза) шляхом послідовного нанесення пірамідальних заглиблень формуються групи кутових відбивачів і виготовляється майстер-штамп.

Однак метод твердосплавних інденторів виявився не зовсім зручним і технологічним. Для досягнення максимального коефіцієнта світлоповертання робочі поверхні кутових відбивачів і кути мікропризм необхідно формувати з високою точністю та з високою точністю розміщувати одиничні світловідбивачі на робочій поверхні майстер-штампу. Досить вдалою, продуктивною та технологічною виявилася розроблена технологія виготовлення майстерштампів методом так званого алмазного різання, коли мікрорельєф необхідного профілю на поверхні м'якого металу з високою якістю формується шляхом стругання плоскої поверхні алмазним різцем. Після цього методами гальванопластики виготовляються робочі штампи-матриці з нікелю, за допомогою яких методами термопресування з оптичних пластмас виробляються робочі зразки світлоповертачів. Сьогодні такою технологією, крім ІПРІ НАН України, в світі володіють тільки дві компанії – «ЗМ» (США) та «Avery Dennison Corporation» (США).

Сьогодні в інституті створено та відпрацьовано оригінальну вітчизняну технологію та унікальне спеціальне обладнання для підготовки алмазних різців із заданими кутами ріжучої грані та виготовлення методом алмазного різання матриць-оригіналів мікропризмових елементів. Зокрема, створено унікальну станцію формування мікрорельєфу з відповідними комп'ютерними системами позиціонування та керування, розроблено методи оптимізації геометричних параметрів і світлових характеристик симетричних та асиметричних світлоповертачів, створено технологію і обладнання для виготовлення робочих штампів-матриць з нікелю методами гальванопластики та створення зразків світлоповертальних елементів з оптичних пластмас методами термопресування та лиття під тиском. За своїми світлотехнічними характеристиками виготовлені за зазначеною технологією світлоповертачі відповідають кращим зарубіжним зразкам. Дослідні зразки світлоповертачів, виготовлених в ІПРІ НАН України, в грудні 2006 року було встановлено на мосту ім. Є. О. Патона та на ряді автошляхів м. Києва та інших міст.

В останні 5 років нагальним стало посилення вимог до підвищення безпеки руху в темну пору доби в частині оснащення світловідбивальними елементами острівців безпеки, напрямних острівців пішохідних переходів, велосипедних переїздів, позначення правого і лівого краю проїзної частини на дорогах

з розділювальною смугою чи бульваром, центрального острівця кільцевої розв'язки, правого та лівого краю заокруглень дороги в місцях розвороту транспорту тощо. Світлоповертальні елементи в зазначених місцях мають бути змонтовані на одному рівні з дорогою і забезпечувати їхню видимість у широкому діапазоні кутів спостереження. В 2017 році інститутом за ініціативи КК «Київавтодор» виконано розробку таких світлоповертальних елементів, які мають форму восьмигранної зрізаної піраміди та забезпечують видимість у діапазоні кутів спостереження 360°. Було виготовлено та змонтовано на площах і автомагістралях м. Києва 500 дослідних зразків таких елементів, які під час дослідної експлуатації з осені 2017 р. підтвердили свою ефективність. Світлоповертальним елементам залежно від кольору світловідбивачів присвоєно шифри ВРД 2а та ВРД 3а і внесено до номенклатури вставок дорожніх розмічальних у проєкті ДСТУ 4036 «Безпека дорожнього руху. Вставки розмічальні дорожні. Загальні технічні умови», який буде введений в дію найближчим часом.

Розроблено принципи створення оптичних дифузорів, які використовують з метою більш ефективного використання енергії світла від ламп накаливання, світлодіодів, напівпровідникових лазерів та інших джерел. Створено оригінальну, захищену патентами України, технологію виготовлення оптичних дифузорів з використанням конічних інденторів для отримання заданого розподілу випромінювання. Розроблені дифузори для розсіювання світла здатні гомогенізувати структуру променя, одночасно формуючи необхідний вихідний профіль розподілу світла в просторі. Оптичні дифузори можуть також використовуватись у системах стеження за рухомими об'єктами.

Подальшим розвитком робіт з мікропризових нанотехнологій є розробка та виготовлення оптичних компенсаторів косоокості з мікропризовою структурою Френеля. В. В. Петров разом з відомим офтальмологом М. М. Сергієнком висунули ідею використання мікропризових рельєфних структур для діагностики та лікування косоокості. Першочерговим завданням було створення високоточного діагностичного обладнання, яке було практично відсутнє в Україні, і в якому офтальмологи України відчували гостру потребу. Спільно з Київським центром мікрохірургії ока розроблено технічні вимоги на діагностичний набір компенсаторів косоокості мікропризових і технічні вимоги до конструкції окремого компенсатора, на основі якого і виконано розробку діагностичного набору.

Для реалізації цієї ідеї було проведено дослідження з технології створення мікропризових структур, розроблено спеціальне технологічне обладнання, розроблено діагностичний набір мікропризових компенсаторів косоокості КК-42, що складається із 42-х окремих компенсаторів для діапазону 0,5–30,0 призових діоптрій, який знайшов застосування.

Точність виготовлення призм Френеля дуже висока, відхилення значення призматичної дії компенсатора від номіналу не перевищує 0,05–0,1 призматичної діоптрії. Конструктивно компенсатор виконаний таким чином, що мікрорельєф знаходиться всередині компенсатора, не контактує із зовнішнім

середовищем і не піддається зовнішньому забрудненню. Герметичність конструкції компенсатора дозволяє в процесі експлуатації проводити багаторазову санітарну обробку, дезінфекцію і очищення стандартними засобами без пошкоджень і забруднення мікрорельєфної структури.

Набір забезпечує діагностування косоокості з високою точністю та достовірністю, він пройшов усі види клінічних і медико-біологічних випробувань. Розробка захищена патентом, зареєстрована в Україні та отримала дозвіл на використання в медичній практиці. Такі компенсатори використовуються для діагностики та лікування косоокості зору у дітей і дорослих. Сьогодні налагоджено випуск дослідних зразків компенсаторів і діагностичних наборів у необхідній для офтальмологічної галузі кількості.

Подальшим розвитком мікропризмового діагностичного офтальмологічного обладнання є створення та виготовлення набору діагностичних лінійок, у тому числі, з використанням симетричних мікропризмових елементів, які дозволяють проводити надійну діагностику вертикальної та горизонтальної косоокості зору для малих дітей, а також експрес-діагностику хворих на косоокість. Розробка є оригінальною і захищена патентами України.

Важливе значення для лікування косоокості у дітей мають комбіновані призмо-сферо-циліндричні лінзи, які поєднують у собі характеристики призматичних і рефракційних (сферичних і асферичних) лінз, і лікувальних окулярів з такими лінзами. Конструктивно такі лінзи являють собою стандартну рефракційну лінзу з полікарбонату, до внутрішньої поверхні якої методом ультразвукового зварювання приварюється рельєфом всередину мікропризма Френеля необхідної призматичної дії. У комбінованій лінзі призматичний мікрорельєф також захищений від впливу зовнішнього середовища, не пошкоджується і не забруднюється, що не призводить до зниження гостроти зору у дитини.

Розроблено відповідні технологічні процеси і обладнання, запропоновано методи оптимізації і контролю оптичних параметрів виробів, налагоджено випуск за рецептами лікарів-офтальмологів лікувальних окулярів у широкому діапазоні зміни рефракційної сили та призматичної дії. Такими окулярами за рецептами від 45-ти лікарів українських і зарубіжних клінік уже проліковано декілька тисяч хворих дітей. Усі запропоновані розробки мікропризмових елементів для офтальмологічних застосувань захищено вітчизняними патентами, зареєстровано у системі МОЗ України та рекомендовано до широкого застосування в медичній практиці.

Перспективним для застосування в офтальмології є ахроматизовані мікропризмові вироби, які мають зменшену зону хроматичних аберацій, і дифракційні елементи (призми Баголіні) для діагностики біокулярного зору. Результати досліджень з цього напрямку представлено в провідних офтальмологічних журналах світу.

Розробка мікропризмових технологій діагностики та лікування косоокості у дітей від самого початку знайшла широку підтримку наукової і медичної громадськості. На спільному засіданні Президії НАН України, НАМН України

та Колегії МОЗ України 23 червня 2010 р. розробка дістала високу оцінку та була внесена до переліку найважливіших завершених розробок зі створення приладів медичного призначення, які потребують першочергового впровадження. І в подальшому Президія НАМН України на засіданнях 10 лютого 2012 р. і 29 січня 2015 р. відзначала надзвичайну ефективність застосування мікропризмових технологій при діагностиці та лікуванні косоокості, необхідність державної підтримки для більш широкого їхнього впровадження в медичну практику. Ефективність застосування мікропризмових технологій відзначена і в аналітичній довідці головного офтальмолога МОЗ України, де зазначено, що завдяки застосуванню мікропризм вдалося обмежити кількість хірургічних операцій з виправлення косоокості, обмежити хірургічне лікування одноразовим втручанням, тоді як раніш воно проводилось у 2–3 етапи. Завдяки високій якості призм вдалося досягнути відновлення 100 % біноккулярного зору – це унікальний показник у світовій практиці. Розробки мікропризмових технологій для офтальмології неодноразово визнавались однією з кращих розробок НАН України. В 2013 році робота «Наукова розробка сучасних компенсаторних механізмів оптичної корекції захворювань органу зору, розробка новітньої технології та організація серійного виробництва оптичних елементів з мікропризмовою структурою для їхнього застосування в офтальмологічній практиці» за поданням МОЗ України була удостоєна Премії Кабінету Міністрів України за розроблення і впровадження інноваційних технологій. Президія НАМН України та провідні вчені-офтальмологи оцінили розробку мікропризмових технологій як блискучий зразок наукового співробітництва структурних підрозділів різних відомств, а також наукової роботи, результати якої були успішно впроваджені в практику та продемонстрували свою ефективність.

Представлене на широкий загальний видання містить вибрані наукові праці академіка НАН України, доктора технічних наук, професора В. В. Петрова, що дають змогу побачити Ученого з великої літери, який постійно знаходиться в творчому науковому пошуку, і оцінити його вагомий внесок у вітчизняну та світову науку.

Розділ 1

ПРОГРАМОВАНІ МАТРИЦІ НА РЕЗИСТИВНИХ ЕЛЕМЕНТАХ

Наукові дослідження В. В. Петров розпочав у Харківському політехнічному інституті, у лабораторії електронного моделювання. На семінарі цієї лабораторії він висловив ідею створення швидкодіючих запам'ятовуючих пристроїв на матрицях резисторів. Незабаром був виготовлений діючий макет такої матриці. Спільно з В. І. Калашніковим і А. Я. Шпільбергом В. В. Петров подав заявку на винахід і одержав авторське свідоцтво СРСР.

Під час навчання в аспірантурі Інституту кібернетики АН УРСР В. В. Петров продовжив дослідження. В короткі терміни він провів низку досліджень з використання матриць резисторів для створення координатних і асоціативних постійних запам'ятовуючих пристроїв. Було визначено критерії реалізації пристроїв, розраховано їхні основні технічні характеристики. Перша стаття з результатами цих досліджень академіком В. М. Глушковим була представлена для публікації в журналі «Доповіді АН УРСР». Проведеними В. В. Петровим дослідженнями було спростовано усталену в наукових колах думку, що на резистивних матрицях можуть бути реалізовані постійні запам'ятовуючі пристрої лише малої ємності.

У роботах В. В. Петрова був проведений аналіз відомих запам'ятовуючих пристроїв, що застосовують як носії інформації пасивні електричні кола і було показано, що найбільш швидкодіючі запам'ятовуючі пристрої можуть бути побудовані на матрицях резисторів. Оперативна пам'ять на матриці резисторів споживає незначну енергію і дозволяє створювати малогабаритну апаратуру. Можливість автоматичного запису інформації і висока швидкодія дозволяли сподіватися, що пристрій на матриці опорів знайде широке застосування в цифрових керуючих машинах. Практичною реалізацією досліджень стало створення малогабаритних постійних запам'ятовуючих пристроїв для бортових ЕОМ.

В 1968 році в Інституті кібернетики АН УРСР В. В. Петров захистив кандидатську дисертацію «Резистивні матриці та деякі їх використання у обчислювальній техніці». І вже значно пізніше в Інституті молекулярної електроніки (м. Зеленоград, Росія) була створена пам'ять на матриці резисторів в мікроелектронному виконанні.

Значну увагу В. В. Петров приділяв дослідженню процесу пошуку інформації у матричних асоціативних запам'ятовуючих пристроях, зокрема було запропоновано векторний опис паралельного пошуку інформації. У його роботах показано, що цей метод може застосовуватися в асоціативних запам'ятовуючих пристроях з двійковим поданням сигналів, комбінованим поданням сигналів (частина – двійкові, частина – з великою кількістю рівнів), в аналогових, а також в таких, де одночасно з опитуванням проводиться впорядкування масиву інформації. В. В. Петровим були запропоновані асоціативні запам'ятовуючі пристрої, що містять матрицю резисторів з прямими і зворотними кодами слів і додаткову розрядну шину, яка з метою упорядкування виведення слів містить пристрій множення прямого і зворотного коду ознаки на вагові коефіцієнти.

Устройство постоянной памяти на сопротивлениях

А. Я. Шпильберг, В. В. Петров, В. И. Август

Авторское свидетельство СССР № 161576 МПК G C61 Заявлено 25.11.1963 (№ 821532) Опубликовано 19.11.1964. Бюллетень № 17.

Известны устройства постоянной памяти на сопротивлениях, выполненные в виде матрицы из взаимно перпендикулярных адресных и зарядных шин, в узлах пересечения которых расположены сопротивления, и такие же устройства на пассивных элементах с записью нуля путем подачи электрического напряжения на соответствующие вертикальные и горизонтальные шины для устранения связи между этими шинами.

Описываемое устройство отличается от известных тем, что для различной временной задержки сигналов единицы и нуля к его адресным и разрядным шинам подключены конденсаторы.

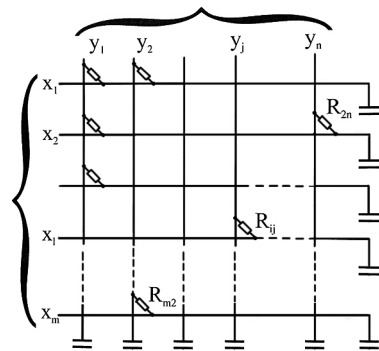
На чертеже изображена схема описываемого устройства. Устройство выполнено в виде соединенных в сетку шин $Y_1 \dots Y_n$ разрядов и шин $X_1 \dots X_m$ адресов, в узлы которой включены конденсаторы.

Наличие сопротивления в узле соответствует единице, а отсутствие сопротивления нулю. Запись нуля осуществляется выжиганием сопротивлений путем подачи напряжения на соответствующие шины X и Y . Ко всем шинам подключены конденсаторы C .

Для считывания информации на шину X_i подаются адреса прямоугольного импульса напряжения, и тогда на всех шинах $Y_1 \dots Y_n$ разрядов появляются выходные импульсы. Постоянная времени цепочки связи этих шин больше при отсутствии сопротивления в узле между адресной и разрядной шинами, чем при наличии его. Поэтому сигнал считывания нуля имеет большую временную задержку по сравнению с сигналом считывания единицы и возможна временная селекция сигналов единицы и нуля.

Предмет изобретения

Устройство постоянной памяти на сопротивлениях с выжиганием элементов при записи «нуля», отличающееся тем, что, с целью различной временной задержки сигналов единиц и нуля, к адресным и разрядным шинам устройства подключены конденсаторы.



Построение постоянного ассоциативного запоминающего устройства

В. В. Петров

Механизация и автоматизация управления. 1966. № 6. С. 25–26.

Применение матриц сопротивлений для построения ассоциативных запоминающих устройств позволяет создавать устройства с малым временем обращения. На рисунке 1, *а* приведена матрица, имеющая a горизонтальных шин слов и b пар вертикальных шин разрядов.

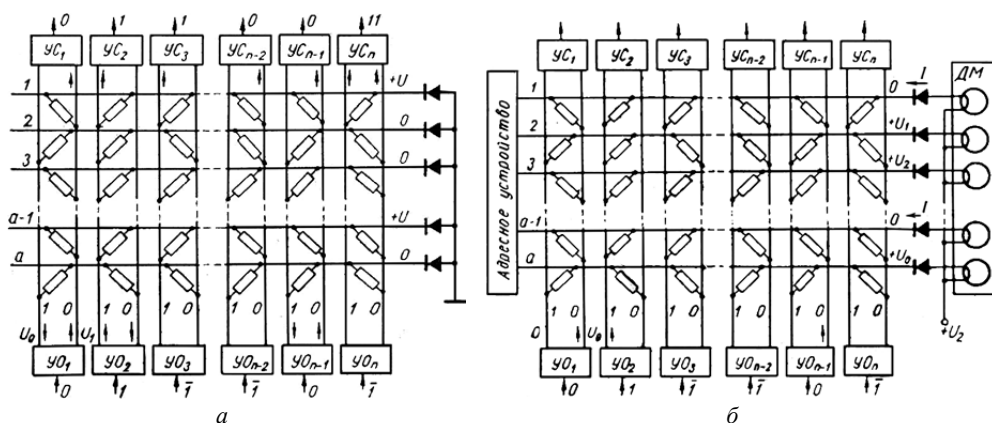


Рис. 1. Ассоциативные запоминающие устройства:
а – с упорядоченной, *б* – с произвольной выборкой информации

В каждом разряде имеется по две шины, одна из которых является шиной единиц, а вторая – шиной нулей. Наличие сопротивления, соединяющего шину слова с разрядной шиной единиц, соответствует записи единицы в этом разряде слова, а наличие сопротивления, соединяющего шину слова с разрядной шиной нулей, – записи нуля. Таким образом в слове l записана информация $011\dots001$. Все сопротивления матрицы одинаковы [1].

Содержание ассоциативного запоминающего устройства опрашивается следующим образом. Ко всем разрядным шинам подключены устройства обращения $УО$ и считывающие $УС$. На $УО$ подается код признака, в соответствии с которым производится поиск слов. Признак может содержать любые разряды слова. Разряды, не использованные в признаке, обозначим кодом T . Если на какой-либо разряд поступает код l признака, то устройство обращения подает на шину единиц данного разряда напряжение U_1 , а на шину нулей – напряжение $U = kU_1$, где k – вес, пропорциональный максимально возможному числу разрядов s признака, по которым опрашивается содержание запоминающего устройства. При поступлении кода 0 устройство обраче-

ния подает на шину единиц данного разряда напряжение U_0 , а на шину нулей – U_1 ; при поступлении кода l U_0 отключается.

Если выбрать вес $k \leq c$, то при несовпадении хотя бы в одном разряде кода признака и кода слова на шине этого слова возникает отрицательное напряжение. При подключении ко всем шинам слов диодов на них возникает небольшое отрицательное напряжение, равное падению напряжения на диоде в проводящем направлении. Если коды опрашиваемых разрядов признака полностью совпадают с содержанием слова в опрашиваемых разрядах, к шине данного слова через сопротивления R приложены только положительные напряжения U_1 и на ней возникает положительное напряжение, которое прикладывается через сопротивления R к разрядным шинам с кодами l и считывается соответствующими считывающими устройствами.

Если данному признаку соответствует только одно слово, на выходе получается однозначный результат, а если несколько слов, то в некоторых разрядах будут возбуждены одновременно шины единиц и шины нулей, что является признаком неоднозначного ответа. В этом случае в соответствии с одним из алгоритмов [2] производится упорядоченная выборка всех слов, соответствующих данному признаку.

В Институте кибернетики АН УССР была проведена экспериментальная проверка схемы, показанной на рисунке, *a* (при $a = 10$, $b = 12$, $c = 6$, $U_1 = 10$ в, $U_0 = -60$ в), которая полностью подтвердила приведенные выше выводы.

Возможен и другой вариант построения запоминающего устройства (рисунк, *b*), когда производится произвольная координатно-адресная выборка всех слов, соответствующих коду признака, а упорядочение выбранного массива осуществляется любым из известных способов.

При $U_1 = 0$ вес $k = U_0/U_1$ стремится к бесконечности. Шины слов через обмотки координатных сердечников C детектирующей матрицы DM (В. Ф. Рудаков, Е. И. Ильяхенко, Авторское свидетельство № 170749) подключены к напряжению $U_2 = kU_0$, где $k = c/b$. На устройства обращения подается код признака, и в том случае, когда код слова совпадает с кодом признака, диод, подключенный к шине данного слова, открывается, по обмотке соответствующего координатного сердечника DM проходит ток I и перемагничивает сердечник. С помощью DM определяются координаты слов, соответствующие данному признаку, и производится обычная координатная выборка их.

Выбор $k > c$ в первом случае и выбор $k < c/b$ во втором делает запоминающее устройство не критичным к разбросу параметров сопротивлений. Таким образом, на матрицах сопротивлений можно создать весьма быстродействующее постоянное ассоциативное запоминающее устройство с параллельным поиском слов по признаку, содержащему любую комбинацию разрядов. При использовании для матриц фото-сопротивлений можно создать быстродействующее ассоциативное запоминающее устройство со сменяемой информацией.

В институте изготовлены и исследованы макеты описанных устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Scheinbuch K.* Kybernetik, Bd. I, H. 1, 1961, S. 36–45.
2. *Lewin M. H., Beelitz H. R., Guarracini I.* IEEE Transactins on Electronic Computers, 1965, Vol. EC-14, No. 3.

О возможности построения пассивного запоминающего устройства на матрице сопротивлений

В. В. Петров

Управляющие машины и системы. 1966. № 1. С. 48–83.

Для записи стандартных подпрограмм, таблиц функций, постоянных величин и другой информации, остающейся неизменной при решении различных задач на электронных цифровых вычислительных машинах, часто применяются быстродействующие пассивные запоминающие устройства (БПЗУ). Если имеется такое БПЗУ в управляющей машине и если оно сменное, то в него можно записать не только константы и стандартные подпрограммы, но и всю неизменяемую часть программы. Это позволяет уменьшить объем оперативного запоминающего устройства и повысить надежность управляющей машины в целом. Наличие сменного БПЗУ позволяет менять набор стандартных подпрограмм, что делает управляющую машину более гибкой.

Наибольшее распространение в современных управляющих машинах получили сменные БПЗУ на ферритовых линейках. Запись информации на такую линейку осуществляется продеванием проводов сквозь сердечник, операция эта очень трудоемкая, плохо поддается автоматизации и осуществляется в основном на заводах, изготавливающих вычислительные машины. Ввиду того, что заносить информацию на ферритовую линейку очень трудно, запоминающие устройства на ферритовых линейках чаще всего используются как постоянные.

В связи с этим возникает необходимость создать для управляющей машины такое сменное быстродействующее пассивное запоминающее устройство, в которое можно было бы быстро и просто заносить информацию. Вместе с тем необходимо, чтобы стоимость БПЗУ не была высокой.

В данной работе показана возможность создания сменного быстродействующего запоминающего устройства, использующего как носителя информации матрицу активных сопротивлений. Применить матрицу сопротивлений в качестве носителя информации впервые предложил Г. Г. Меньшиков [1, 2]. Затем А. Я. Шпильбергом, В. В. Петровым и В. И. Августом [3] был предложен способ считывания информации, записанной на матрицу сопротивлений. Данная работа является продолжением работы [3].

Рассмотрим принцип записи информации на матрицу сопротивлений. Пусть дана матрица сопротивлений, имеющая a горизонтальных шин слов и b вертикальных шин разрядов (рис. 1). Будем считать, что записана информация «1» в j -м разряде i -го слова, если горизонтальная шина i соединена с вертикальной шиной j сопротивлением R_{ij} . Если сопротивление R_{ij} отсутствует ($R_{ij} = \infty$) то, значит, в j -м разряде i -го слова записана информация «0». На рис. 1, 2, 3, 6 сопротивления матрицы обозначены прямыми линиями, соединяющими вертикальные и горизонтальные шины, все сопротивления в матрице равны между собой. Матрица сопротивлений может быть напечатана, напылена или изготовлена каким-либо другим способом. Изготовленная матрица имеет все сопротивления между горизонтальными и вертикальными шинами, что соответствует записи информации «1» во всех разрядах всех слов. Запись нулей осуществляется путем выжигания сопротивлений, сопротивления разрушаются при подаче на них

напряжения выжигания. Например, если подать на шины i и j напряжение выжигания, то сопротивление R_{ij} разрушится. Это позволяет осуществить автоматический процесс переписи информации на матрицу сопротивлений с перфолент, перфокарт или любого другого носителя информации.

Как и на перфокарту, на матрицу сопротивлений информацию можно заносить только один раз. Для осуществления замены информации в БПЗУ матрицы сопротивлений необходимо делать сменными.

Итак, имеется матрица сопротивлений с занесенной на нее информацией; исследуем возможность различия информации «1» и «0» в любом разряде любого слова матрицы. При считывании информации на шины слов импульсы считывания могут подаваться двумя различными способами:

- 1) подается импульс напряжения, а все остальные входные шины заземлены (заземляемый вход);
- 2) подается импульс напряжения, а все остальные шины не заземлены (трансформаторный вход).

Рассмотрим первый способ. Если подать на шину слова i скачкообразное напряжение U_{ij} , а остальные горизонтальные шины заземлить, то на всех вертикальных шинах, не соединенных с шиной i напряжение будет равно нулю. Выходное напряжение на вертикальной шине j соединенной сопротивлением R с шиной i и еще с k горизонтальными шинами

$$U_j = \frac{U_i}{k + 1}.$$

В худшем случае, при $k = a - 1$ напряжение U_j принимает минимальное значение

$$U_j = \frac{U_i}{a}.$$

Выходное напряжение U_j , соответствующее информации «1», зависит от информации, занесенной на матрицу, и с увеличением числа слов в матрице уменьшается – это главное ограничение на размер матрицы. Количество разрядов в слове на отношение сигналов, соответствующих информации «1» и «0», не влияет. Таким образом, в схеме с заземленными невыбранными входами при соответствующем выборе количества слов в матрице возможно четкое различие информации «1» и «0», записанных в любом разряде любого слова.

Рассмотрим второй способ, когда схема управления матрицей не обеспечивает заземления невыбранных входов. Это может быть простой трансформаторный вход. Для осуществления считывания между каждой шиной и землей подключены конденсаторы одинаковой емкости C (рис. 2). Пусть матрица имеет все сопротивления, кроме сопротивления R_{ij} , в этом случае на шине j возникает наибольший сигнал помехи. Составим схему замещения для полной матрицы, для этого вынесем узлы i и j ; оставшаяся матрица будет полной (рис. 3).

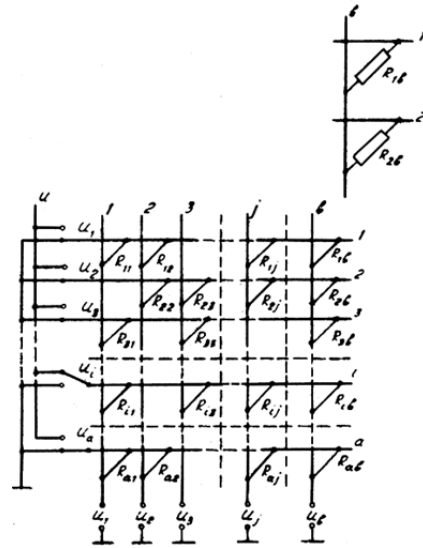


Рис. 1

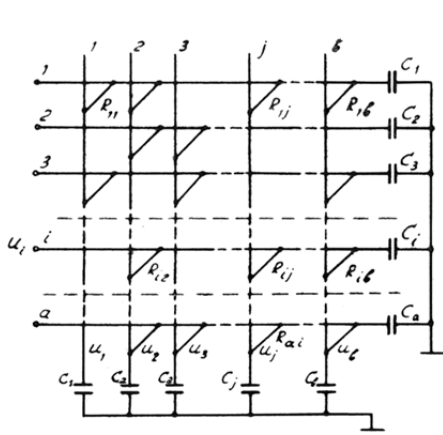


Рис. 2

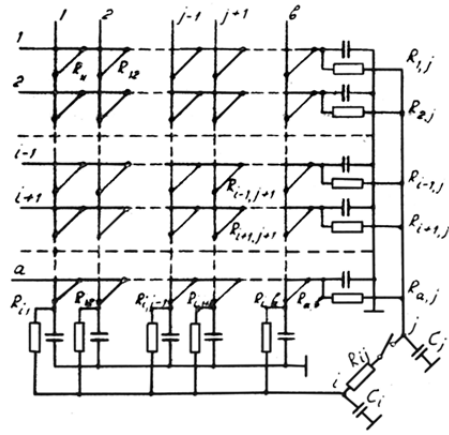


Рис. 3

Ввиду того что все сопротивления R и емкости C одинаковы, и учитывая, что оставшаяся матрица является полностью симметричной, при любых напряжениях на узлах i и j все вертикальные шины будут эквипотенциальны. Аналогичные рассуждения справедливы и для горизонтальных шин. Объединяя эквипотенциальные шины, получаем простую схему замещения для полной матрицы (рис. 4), которую и исследуем далее.

Обозначим напряжение U_j , при наличии R_{ij} через U_{j1} , а напряжение U_j , при отсутствии R_{ij} – через U_{j0} , передаточную функцию между узлами i и j при наличии сопротивления R_{ij} обозначим W_{ij1} , а при отсутствии R_{ij} – W_{ij0} . В соответствии (рис. 4) передаточные функции равны

$$W_{ij1} = \frac{p^3 T^3 + p^2 T^2 (2a + b - 1) + p T a + (a - 1)(b - 1)}{p^4 T^4 + p^3 T^3 (2a + b) + p^2 T^2 (a^2 + ab + 2b + a - 2) + p T (2a^2 + 2ab - 4a + b) + a(b - 1)}, \quad (1)$$

$$W_{ij0} = \frac{(a - 1)(b - 1)}{p^3 T^3 + p^2 T^2 (2a + b - 1) + p T + (a - 1)(b - 1)}. \quad (2)$$

Поскольку выражения U_{j1} и U_{j0} во времени получаются громоздкими, на рис. 5 приведены графики напряжений U_{j1} и U_{j0} во времени для матрицы с числом шин $a = b = 32$ и постоянной времени $RC = T$.

Наименьшее значение амплитуда напряжения U_{j1} принимает, когда в слове j отсутствуют все сопротивления, кроме R_{ij} , в этом случае передаточная функция W'_{ij1} имеет вид

$$W'_{ij1} = \frac{p^2 T^2 + p T (3a + b - 3) + (2a - 1)(b - 1) + a(a - 1)}{p^3 T^3 + p^2 T^2 (2a + b - 1) + p T + (a - 1)}, \quad (3)$$

а график напряжения U_{j1} во времени показан на рис. 5 (кривая 3).

Как видно из рис. 4 и 5, сигнал помехи по пути к выходу j проходит трехзвенный RC-фильтр и задерживается во времени; в результате становится возможным осуществить надежное разделение сигналов, соответствующих информации «1» и «0». Сигналы считывания хорошо разделяются при таком способе, но он имеет большой недостаток.

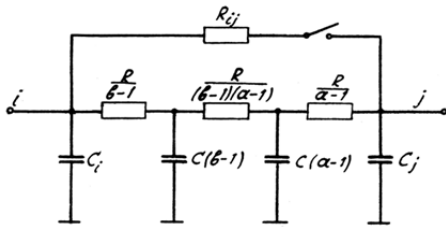


Рис. 4

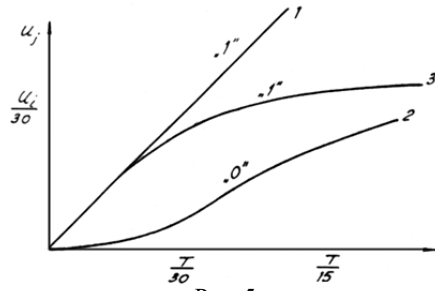


Рис. 5

Дело в том, что источник входных импульсов нагружен на емкость C и это заставляет применять мощные источники входных импульсов. Если мы отключим конденсаторы на входных шинах, то фильтр для сигнала помехи оказывается уже только двухзвенным, задержка сигнала помехи уменьшается и различие напряжений U_{j1} и U_{j0} соответствующих информации «1» и «0», уменьшается. Тогда нужно рассматривать возможность различия информации «1» и «0» по величине и форме тока, протекающего в цепи конденсатора C_j (рис. 6).

Составим схему замещения для случая, когда конденсаторы подключены только к вертикальным шинам (рис. 8), схема замещения составляется так же, как и для предыдущего случая (рис. 7). Обозначим ток I_j в цепи конденсатора C_j при наличии сопротивления R_{ij} через I_{j1} , а при отсутствии R_{ij} через I_{j0} ; передаточную функцию, связывающую напряжение U_i и ток I_j , при наличии R_{ij} , обозначим G'_{ji1} , а при отсутствии R_{ij} — G_{ji0} . В соответствии с рис. 7 передаточные функции будут

$$G_{ij1} = \frac{pC}{pT+1}; \quad (4)$$

$$G'_{ij1} = \frac{pC(b-1)(a-1)}{p^2T^2b+pTab+(a-1)(b-1)}. \quad (5)$$

На рис. 8 приведены графики токов I_{j1} и I_{j0} (2) во времени для матрицы с числом шин $a=b=32$ и постоянной времени $RC=T$. Величина тока I_{j0} , являющегося помехой, в случае полной матрицы наибольшая. Постоянная времени T в выражении (4) для тока I_{j1} при полной матрице также наибольшая. Наименьшее значение эта постоянная времени принимает в случае, когда в слове i отсутствуют все сопротивления, кроме сопротивления R_{ij} , а вся остальная матрица полная; передаточная функция G'_{ji1} в этом случае имеет вид

$$G'_{ij1} = \frac{pC[pTb(b-1)+(a-1)^2(b-1)]}{p^2T^2(b^2a-2b^2+b)+pT+(a-1)^2(b-1)}. \quad (6)$$

График тока I_{j1} во времени показан на кривой 3 на рис. 8.

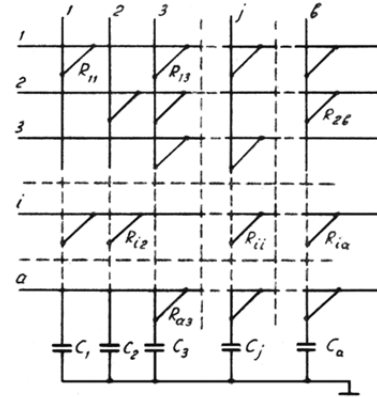


Рис. 6

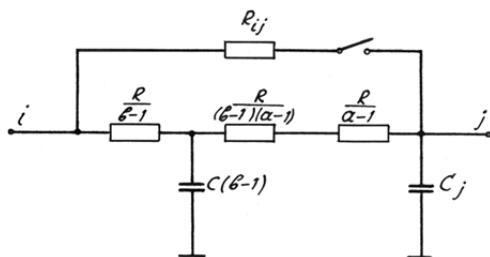


Рис. 7

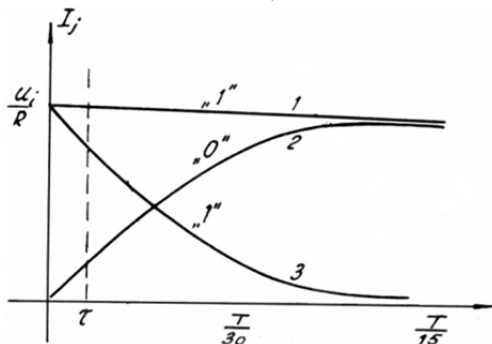


Рис. 8

Анализируя выражения (4)–(8) и рассматривая кривые 1–3 рис. 8, видно, что при $t = 0$ величина тока $I_{j1} = U_i/R$. Эта величина не зависит от постоянной времени $T = RC$ и от количества горизонтальных и вертикальных шин a и b . Величина тока I_{j0} при $t = 0$ равна 0 при любых a и b . Сравнивая кривые 2 и 3 рис. 8, видим, что, изменяя время селекции τ , можно получить желаемое отношение сигналов, соответствующих информации «1» и «0». Поскольку мы проводили сравнение для наименьшего из возможных сигналов I_{j1} и наибольшего из возможных сигналов I_{j0} , то при произвольно записанной информации на матрицу сопротивлений соотношение между токами I_{j1} и I_{j0} может быть только лучше, чем в рассмотренном нами случае. Приведенные выводы ввиду симметрии матрицы справедливы относительно всех слов и всех разрядов. При

опросе слова считываться могут одновременно все разряды. Эксперименты проводились на матрице имеющей по 32 горизонтальных и вертикальных шины, сопротивления R были выбраны равными $R = 1$ кОм и емкости $C = 3,3$ тыс. пФ. Приведенные выше выводы во время экспериментов полностью подтвердились, графики напряжений и токов приведены на рис. 5 и 8. Для такой матрицы предельной оказалась частота считывания 500 кГц. За счет уменьшения постоянной времени $T = RC$ частоту считывания можно довести до нескольких мегагерц. Возможность создания на матрице сопротивлений сменного быстродействующего запоминающего устройства, имеющего время обращения в несколько десятых или даже сотых долей микросекунды, является одним из основных преимуществ матричного запоминающего устройства на сопротивлениях перед такими же устройствами на конденсаторах и диодах.

Рассмотрим теперь подробнее вопрос о занесении информации на матрицу сопротивлений.

Приложим между горизонтальной i и вертикальной j шинами такое напряжение U_{max} , чтобы по истечении некоторого времени t сопротивление R_{ij} сгорело. В течение времени t на сопротивлении R_{ij} будет выделяться мощность $P_{max} = (U_{max})^2/R$. Найдем величину выделяющейся при этом мощности в любом другом сопротивлении при полной матрице. Проведя рассуждения, аналогичные предыдущим, но уже для двух вынесенных, сопротивлений, получим схему замещения, показанную на рис. 9. Выжигаем сопротивление R_{ij} и определяем мощность, выделяющуюся при этом на сопротивлении R_{kl} .

При $b \geq a$ мощность, выделяющаяся на сопротивлении R_{kl} , равна

$$P_{kl} = P_{max} \left(\frac{a-1}{a-b-1} \right)^2.$$

Мощность, выделяемая на любом другом сопротивлении, составляет менее четвертой части P_{max} . Такое различие в мощностях гарантирует выжигание только

выбранного сопротивления и, следовательно, обеспечивает надежное занесение информации на матрицу. Эксперименты проводились на полной матрице с числом шин $a = b = 32$, сопротивления были типа УЛМ номиналом 1 кОм. Подавалось напряжение 50 В, сгорали только выбранные сопротивления. В заключение нужно сказать о современных возможностях изготовления матриц сопротивлений. Матрицу сопротивлений можно изготавливать самыми различными способами, в том числе напылением в вакууме или без него, гальваническим осаждением и т.п. Из всех способов наибольшую плотность записи информации на 1 см^2 позволяет получить напыление сопротивлений в вакууме (более 50 бит на 1 см^2), причем изготовление матриц сопротивлений проще и дешевле изготовления диодных матриц.

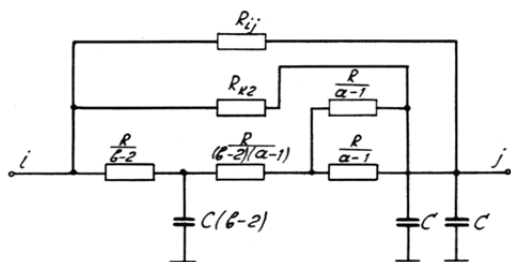


Рис. 9

Применение современной технологии для изготовления матриц сопротивлений позволяет создать сменное быстродействующее пассивное запоминающее устройство большой емкости в малом объеме. Запоминающее устройство на матрице сопротивлений потребляет небольшое количество энергии, и позволяет создать малогабаритную аппаратуру управления памятью.

Возможность автоматической записи информации и высокое быстродействие позволяют надеяться, что сменное быстродействующее запоминающее устройство на матрице сопротивлений найдет широкое применение в быстродействующих цифровых управляющих машинах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Меньшиков Г.Г.* Сетка из сопротивления в постоянных запоминающих устройствах. Тр. АЭИС, вып. 7 (44), 1959.
2. *Меньшиков Г.Г.* Устройство для хранения двоичного кода постоянных величин, Авторск. свидет. № 119716, 28.У 1957.
3. *Штильберг А. Я., Петров В. В., Август В. И.* Устройство постоянной памяти на сопротивлениях. Авторск. свидет. № 161576, 25.11 1963.

Про застосування пасивних електричних кіл для створення запам'ятовуючих пристроїв

В. В. Петров

Доповіді АН УРСР (стаття представлена академіком В. М. Глушковым),
1966. № 11. С. 1407–1409.

Відома велика кількість запам'ятовуючих пристроїв, що застосовують як носії інформації пасивні електричні кола; найбільш відомі запам'ятовуючі пристрої, що використовують матриці ємкостей і матриці опорів [1–3]. На матрицях ємкостей важко побудувати запам'ятовуючі пристрої, які мають частоту звертання більш як 500 кГц, тому ми досліджуватимемо найбільш швидкодіючі матричні запам'ятовуючі пристрої – запам'ятовуючі пристрої на матрицях опорів.

Нехай дано матрицю опорів, яка має a горизонтальних і b вертикальних шин, нехай горизонтальні шини є шинами слів, а вертикальні шини – шинами розрядів. Присутність опору R_{ij} , який з'єднує вертикальну шину j з горизонтальною i , відповідає наявності інформації «1» в j розряді i -го слова, відсутність опору відповідає інформації «0». Таким чином, в слові 1 (рис. 1) записано інформацію «10...1...1», а в слові 2 – інформацію «11...0...0». Всі опори, які з'єднують горизонтальні і вертикальні шини, рівні між собою. Опори можуть бути як постійні, так і змінні (фотоопори, термоопори і т. д.). Далі досліджується питання зчитування інформації з матриці опорів.

Отже, маємо матрицю опорів, на якій записана інформація. Необхідно побудувати таке електричне коло, щоб, заміривши будь-який сигнал даного кола, можна було зробити висновок про наявність або відсутність будь-якого з опорів матриці при будь-якому розташуванні і будь-якій кількості всіх інших опорів матриці. При цьому не можна заземляти ні горизонтальні, ні вертикальні шини.

Для розділу сигналів використовуватимемо затримки в RC -колах, для чого увімкнемо на загальну шину через однакові ємкості C всі вертикальні і горизонтальні шини (рис. 2). Позначимо напругу на вході i через U_i , на виході j при наявності опору R_{ij} через U_{i1} , а при відсутності опору R_{ij} через U_{i0} . Відповідно позначимо передаточну функцію між входом i і виходом j при наявності R_{ij} через G_{ij1} , а при відсутності опору R_{ij} – через G_{ij0} . Подаючи на шину зчитуваного слова i скачкоподібну напругу U_i , шукатимемо величину напруги U_j на ємкості C_1 , при наявності і відсутності опору R_{ij} .

Якісна сторона питання розрізнення сигналів U_{i1} і U_{i0} (рис. 1) полягає ось в чому. Розглянемо найкоротший шлях сигналу від входу i до виходу j при наявності та відсутності опору R_{ij} . Найкоротший шлях сигналу при наявності опору R_{ij} складається лише з однієї RC -ланки (шлях 1, рис. 1), а при відсутності опору R_{ij} існує багато рівноцінних шляхів, але кожний з них складається не менш як з трьох RC -ланок (шлях 2, 3, рис. 1), і тому сигнал затримується довше, ніж при наявності опору R_{ij} . Але це були лише чисто якісні міркування. Необхідно дослідити співвідношення напруг U_{i1} і U_{i0} при довільних a та b і при довільному розташуванні опорів в матриці.

Щоб виводи мали місце для будь-якого розташування опорів у матриці, необхідно порівняти найбільше із можливих значень сигналу перешкоди U_{i0} з найменшим із

можливих корисних сигналів. Ясно, що значення перешкоди буде найбільшим тоді, коли в матриці в наявності всі опори, крім опору R_{ij} . Винесемо із цієї матриці вузли i та j , матриця, що залишилась, буде повною. У зв'язку з тим, що всі опори R і ємкості C однакові і враховуючи, що матриця, яка залишилась, є повністю симетричною, при будь-яких напругах на вузлах i та j всі вертикальні шини будуть еквіпотенціальними. Аналогічні міркування справедливі і для горизонтальних шин. Об'єднуючи еквіпотенціальні шини, одержимо просту схему заміщення даної матриці, яку ми досліджуватимемо.

У відповідності із схемою заміщення передавальна функція для найбільшої перешкоди дорівнює

$$G_{ij0}(p) = \frac{(a-1)(b-1)}{p^3T^3 + p^2T^2(2a+b-1) + pT + (a-1)(b-1)}$$

Величина перешкоди дорівнює $U_{i0}(p) = G_{ij0}(p)U_i(p)$.

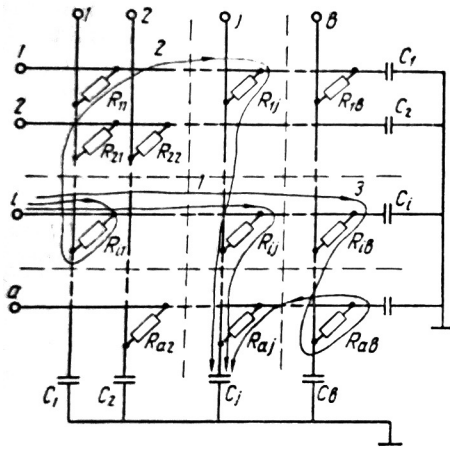


Рис. 1

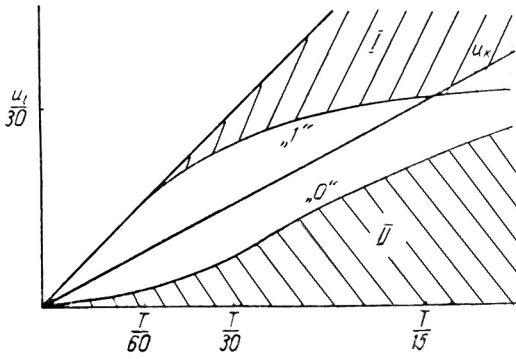


Рис. 2

Розглянемо тепер випадок, коли напруга U_{i1} набуває найменше значення. Дослідження показали, що в тому випадку, коли від горизонтальної шини i відключені всі опори, крім опору R_{ij} , а всі інші опори є в матриці, то напруга U_{i1} набуває найменше із усіх можливих значень. Зробивши міркування, аналогічні попереднім, одержимо просту схему заміщення для даного випадку, а по ній знайдемо передаточну функцію.

$$G_{ij1}(p) = \frac{p^2T^2 + pT(3a+b-3) + (2a-1)(b-1) + a(a-1)}{p^3T^3 + p^2T^2(2a+b-1) + pT + (a-1)}$$

Величина сигналу дорівнює

$$U_{i1}(p) = G_{ij1}(p)U_i(p)$$

Таким чином, в загальному вигляді одержано передавальні функції для найбільшої із можливих перешкод і найменшого із можливих сигналів, які легко аналізувати при довільних a і b . Покажемо на прикладі, що можна явно розрізнити сигнали U_{i1} і U_{i0} . Нехай дано $a = b = 32$, позначимо $R_{ij}C_j = T$. Побудуємо графіки зміни величини перешкоди $U_{i0}(t)$ (крива 2, рис. 2) і величини сигналу $U_{i1}(t)$ (крива 1, рис. 2). На рис. 2 видно, що напруги U_{i1} та U_{i0} відрізняються одна від одної в шість-сім разів при $t \approx T/60$; виміряючи напругу U_i в момент часу $t = T/60$, можна сказати, чи є ця напруга перешкодою U_{i0} (інформація «0»), чи це сигнал U_{i1} (інформація «1»).

Оскільки ми порівнювали найбільше і найменше значення напруг U_{i1} і U_{i0} , то, отже, при довільному розміщенні опорів напруги U_{i1} і U_{i0} ще більше відрізняються одна від одної. На рис. 2 цифрою I позначено поле можливих значень U_{i1} , а цифрою II – поле можливих значень U_{i0} . При дальшому значному збільшенні a і b крива 2 (рис. 2) наближається до кривої 1, і розрізнення сигналів утруднюється.

Якщо від напруги U_i відняти лінійну напругу U_k , то різниця напруг $U_{i1} - U_k$ буде додатна, $aU_{i0} - U_k$, – від'ємна, і, таким чином, розрізнення сигналів стає ще більш надійним.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Л. И. Гутенмахер* Электронные информационно-логические машины, Изд-во АН СССР, 1962.
2. *Л. С. Крайзмер* Устройства хранения дискретной информации, Госэнергоиздат, 1962.
3. *А.Я. Шпильберг, В. В. Петров, В. И. Август* Устройство постоянной памяти на сопротивлениях. Авторское свидетельство № 161576.

Векторное описание параллельного поиска в ассоциативном запоминающем устройстве

В. В. Петров

Кибернетика. 1967. № 3. С. 31–35.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время круг задач, связанных с логической обработкой массивов информации, стремительно расширяется. Особенно эффективным для решения таких задач является применение электронных цифровых вычислительных машин с ассоциативной организацией запоминающего устройства. Теоретические и экспериментальные работы по созданию таких устройств широко развернулись в последние годы. В опубликованных работах, посвященных описанию матричных ассоциативных запоминающих устройств [1–5], приводится логическое описание процесса поиска информации в АЗУ, однако здесь возникают определенные трудности, так как входные и выходные переменные представляются как комбинации двоичных сигналов. Еще большие возникают трудности, если некоторые сигналы в АЗУ имеют большое количество уровней (≥ 3).

В данной работе предлагается векторное описание параллельного поиска информации в АЗУ. Для этого слова и признаки представляются векторами в многомерном векторном пространстве, вводится определение конъюнктивного векторного произведения и с помощью преобразования векторов производится выделение слов, отвечающих признаку, находят признаки неоднозначности ответа и т. д. Векторное описание пригодно для описания параллельного поиска в АЗУ с двоичным представлением всех сигналов, в АЗУ с комбинированным представлением сигналов (часть сигналов двоичные, а часть с большим количеством уровней), в аналоговых АЗУ, а также в таких АЗУ, в которых одновременно с опросом производится упорядочение массива информации.

Параллельно с производимыми преобразованиями векторов показывается геометрический смысл этих преобразований. В заключение рассматриваются примеры построения и описания АЗУ.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть задан записанный в АЗУ массив информации, имеющий множество A m -разрядных двоичных слов, и множество N натуральных чисел: $1, 2, 3, \dots, i, \dots, n$. Если между множествами A и N установлено взаимно однозначное соответствие, то элементы $i \in N$ называются адресами слов $a \in A$, а количество элементов в A равно n . Заметим, что не в каждом АЗУ легко получить такое взаимно однозначное соответствие. Для осуществления ассоциативного опроса A задается признак или опрашивающее слово p . Признак p – m -разрядное слово, каждый разряд которого может принимать значение 0, 1 или \emptyset . Если данный разряд принимает значение \emptyset , то по этому разряду поиск информации не производится, пусть \emptyset имеет следующие свойства:

$$\begin{aligned} \emptyset + \emptyset = \emptyset, \emptyset * \emptyset = \emptyset, \bar{\emptyset} = \emptyset, \\ \emptyset + \alpha = \alpha, \emptyset * \alpha \cong \emptyset \end{aligned} \quad (1)$$

где α – любое действительное число.

Определение 1. Любое слово $a \in A$ называется словом, отвечающим признаку p , если значения соответствующих разрядов a и p , кроме разрядов, принимающих значение \emptyset , совпадают.

Ассоциативный опрос массива информации состоит в том, чтобы из всего множества слов A выделить подмножество слов $A_p \subset A$, отвечающих признаку p , и затем произвести считывание их в заранее определенной или в произвольной последовательности.

3. ВЕКТОРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ

Возьмем $2m$ -мерное евклидово пространство E_{2m} [6] с номерами координат, соответствующими номерам разрядов $2m$ -разрядного слова, и пусть компоненты векторов в этом пространстве принимают любые действительные значения или \emptyset . Применение символа \emptyset со свойствами (1) упростит нам в дальнейшем некоторые рассуждения и выводы. Определим для E_{2m} конъюнктивное векторное произведение.

Определение 2. Конъюнктивным векторным произведением векторов $x(x_1, \dots, x_j, \dots, x_{2m})$ и $y(y_1, \dots, y_j, \dots, y_{2m})$ называется вектор $z(z_1, \dots, z_j, \dots, z_{2m})$ с компонентами $z_j = x_j y_j$, т.е.

$$z = x \square y, \text{ где } z_j = x_j y_j \quad (2)$$

Очевидно, что сумма проекций вектора z – это скалярное произведение (xy) . Если u векторов x и y компоненты принимают только двоичные значения 0 и 1, то конъюнктивное произведение векторов соответствует многомерной конъюнкции слов $x = x_1 x_2 \dots x_{2m}$ и $y = y_1 y_2 \dots y_{2m}$.

Укажем еще, что для вектора, компоненты которого принимают значение 0, 1, \emptyset , учитывая, что $\overline{\emptyset} = \emptyset$, так же как и для двоичного слова, можно определить инверсию (для слова инверсия определяется поразрядно, а для вектора – покомпонентно).

Представим теперь каждое m -разрядное слово $a \in A$ $2m$ -мерным вектором, введем для этого в рассмотрение m -разрядное слово q , все m разрядов которого имеют значение \emptyset , и образуем из любого m -разрядного слова $a = a_1 a_2 \dots a_m$ и два $2m$ -разрядных слова:

$$\begin{aligned} a' &= a'_1 a'_2 \dots a'_{2m} \text{ и } a'' = a''_1 a''_2 \dots a''_{2m} \text{ таких, что} \\ a' &= a q, a'' = q a. \end{aligned} \quad (3)$$

Эта запись означает, что в слове a' значения старших m разрядов совпадают со значениями соответствующих разрядов слова a , а младшие m разрядов имеют значение \emptyset ; в слове a'' старшие m разрядов имеют значение \emptyset , а значения младших разрядов совпадают со значениями соответствующих разрядов слова a . Слова a' и a'' – $2m$ -разрядные, следовательно, их можно представить векторами a' и a'' в пространстве E_{2m} . Получим с помощью этих векторов вектор $b(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{2m})$:

$$b = a' + a'' \quad (4)$$

Так, например, пусть $m = 6$ и $a = 011010$, тогда

$$a' = 011010\emptyset\emptyset\emptyset\emptyset\emptyset\emptyset,$$

$$a'' = \emptyset\emptyset\emptyset\emptyset\emptyset\emptyset 011010,$$

$$\text{и } b(0, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 1).$$

Осуществив преобразования (3) и (4) для каждого слова $a \in A$, получим множество векторов $\mathfrak{B} = \{b\}$. Очевидно, что $A \sim \mathfrak{B}$. Рассмотрим некоторые свойства векторов $b \in \mathfrak{B}$. Из выражения (3) видно, что $a'_j = a_{j+m} = a_j$ при $1 \leq j \leq m$. Учитывая, что $\beta_j = a'_j + a''_j$ и $a'_{j+m} = a''_j = \emptyset$ при $1 \leq j \leq m$, получим:

$$\beta_j + \beta_{j+m} = a'_j + \overline{a'_{j+m}} = a_j + \overline{a_j} = 1. \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^{2m} \beta_j = \sum_{j=1}^m (\beta_j + \beta_{j+m}) = m \text{ и } |b| = \sqrt{m}. \quad (6)$$

Таким образом, все векторы $b \in \mathfrak{B}$ выходят из начала координат и имеют норму $|b| = \sqrt{m}$; следовательно, все они оканчиваются на поверхности сферы радиуса $r = \sqrt{m}$.

Из множества слов A мы образовали множество векторов \mathfrak{B} , образуем и из признака $p = \varrho_1 \varrho_2 \dots \varrho_m$ $2m$ -мерный вектор признака $l(\lambda_1, \dots, \lambda_{2m})$.

Пусть любые $m - k$ разрядов признака имеют значение \emptyset (иногда говорят, что эти разряды закрыты «маской»). Обозначим буквой t m -разрядное слово, имеющее значение 1 в $t - A$ $m - k$ разрядах, соответствующих разрядам признака со значением \emptyset , а в остальных разрядах значение \emptyset . Используя примененный ранее прием (3), образуем из p и t $2m$ -разрядные слова: $p' = \varrho'_1 \times \varrho'_2 \dots \varrho'_{2m}$, $q'' = \varrho''_1 \dots \varrho''_{2m}$, $t' = \tau'_1 \dots \tau'_{2m}$, $t'' = \tau''_1 \dots \tau''_{2m}$, где

$$p' = pq, p'' = qp, t' = tq, t'' = qt. \quad (7)$$

Каждое из этих слов представим соответствующим вектором $p'(\varrho'_1, \dots, \varrho'_{2m})$, $p''(\varrho''_1, \dots, \varrho''_{2m})$, $t'(\tau'_1, \dots, \tau'_{2m})$, $t''(\tau''_1, \dots, \tau''_{2m})$ и образуем вектор признака $l(\lambda_1, \dots, \lambda_{2m})$ такой, что

$$l = (\mu p' + \varphi \bar{p}' + \psi t' + \mu \bar{p}'' + \varphi \bar{p}'' + \psi t''), \quad (8)$$

где μ, φ, ψ – весовые коэффициенты, принимающие некоторые действительные значения или \emptyset . Так, например, пусть $p = 01\emptyset\emptyset\emptyset$, тогда

$$\begin{aligned} t &= \emptyset\emptyset 11\emptyset 1, p'(0, 1, \emptyset, \emptyset, 0, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset), \\ p'' &(\emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, 0, 1, \emptyset, \emptyset, 0, \emptyset), \\ t' &(\emptyset, \emptyset, 1, 1, \emptyset, 1, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset), \\ t'' &(\emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, \emptyset, 1, 1, \emptyset, 1), \\ l &(\varphi, \mu, \psi, \psi, \varphi, \psi, \mu, \varphi, \psi, \psi, \mu, \psi). \end{aligned}$$

4. АССОЦИАТИВНЫЙ ОПРОС МАССИВА

Используя конъюнктивное векторное произведение (2), образуем из векторов множества \mathfrak{D} с помощью вектора признака l новое множество векторов $\mathfrak{D} = \{d\}$, каждый элемент которого

$$d = b \boxtimes l. \quad (9)$$

Очевидно, что $\mathfrak{D} \sim A$. Найдем в общем виде норму вектора d и сумму его компонент. Для этого возьмем произвольное слово $a \in A$, некоторый признак p и построим три m -разрядных слова: $a_p = \alpha_{p,1} * \alpha_{p,2} \dots \alpha_{p,m}$, $a_{\bar{p}} = \alpha_{\bar{p},1} * \alpha_{\bar{p},2} \dots \alpha_{\bar{p},m}$ и $a_t = \alpha_{t,1} * \alpha_{t,2} \dots \alpha_{t,m}$.

В слове a_p значения разрядов $\alpha_{p,j} = \alpha_j$, если $\alpha_j = \varrho_j$ и равны \emptyset во всех остальных случаях; в слове $a_{\bar{p}}$ разрядные значения $\alpha_{\bar{p},j} = \alpha_j$, если $\bar{\alpha}_j = \varrho_j$, и равны \emptyset во всех остальных случаях; разрядные значения α_t слова a_t равны $\alpha_{t,j} = \alpha_j$ если $\varrho_j = 0$ и равны \emptyset для всех остальных разрядов.

Так, например, для $a = 011010$ и $p = 01\emptyset\emptyset\emptyset$ получим $a_p = 01\emptyset\emptyset\emptyset\emptyset$, $a_{\bar{p}} = \emptyset\emptyset\emptyset\emptyset 1\emptyset$, $a_t = \emptyset\emptyset 10\emptyset\emptyset$. образуем, как уже делали ранее, $2m$ -разрядные слова $a_p, a_{\bar{p}}, a_t, a_{\bar{p}}, a_t$ и соответствующие им векторы $a'_p, a'_{\bar{p}}, a'_t, a''_p, a''_{\bar{p}}, a''_t$; очевидно, что для произвольного слова $a \in A$ выполняются следующие равенства: $a = a_p + a_{\bar{p}} + a_t$, $a' = a'_p + a'_{\bar{p}} + a'_t$, $a'' = a''_p + a''_{\bar{p}} + a''_t$, следовательно,

$$b = a' + a'' = a'_p + a'_{\bar{p}} + a'_t + a''_p + a''_{\bar{p}} + a''_t. \quad (10)$$

Подставив в (9) вместо b и l выражения (8) и (10), получим: $d = (a'_p + \bar{a}_p'' + a'_{\bar{p}} + a'_{\bar{p}} + \bar{a}_{\bar{p}}'' + a'_t + \bar{a}_t'') \boxtimes (\mu p' + \varphi p' + \psi p' + \mu p + \varphi p + \psi t'')$. Раскрыв скобки и отбросив слагаемые, все компоненты которых принимают значения 0 или \emptyset , получим:

$$d = \mu(a'_p \boxtimes p' + \bar{a}_p'' \boxtimes \bar{p}'') + \varphi(a'_p \boxtimes p' + \bar{a}_p'' \boxtimes p'') + \psi(a'_t \boxtimes t' + \bar{a}_t'' \boxtimes t''). \quad (11)$$

Пусть k разрядов признака p принимают значение 0 или 1, а остальные $m - k$ разрядов – \emptyset , и пусть значения в h разрядах из k совпадают со значениями соответствующих разрядов слова a (т.е. в слове a_p h разрядов имеют значения, не равные \emptyset). В этом случае у вектора $\mu(a'_p \boxtimes p' + \bar{a}_p'' \boxtimes \bar{p}'')$ (11) h компонент равны μ , а остальные – 0 или \emptyset . Второй вектор $\varphi(a'_p \boxtimes p' + \bar{a}_p'' \boxtimes p'')$ имеет $k - h$ компонент, равных φ , а остальные $2m + h - k$ компонент равны 0 или \emptyset . У третьего вектора $\psi(a'_t \boxtimes t' + \bar{a}_t'' \boxtimes t'')$ $m - k$ компонент равны ψ , а остальные – 0 или \emptyset . Из самого образования слов $a_p, a_{\bar{p}}$ и a_t (10) следует, что компоненты вектора $d \in \mathcal{D}$ могут принимать только значения μ, φ и ψ , следовательно, для вектора $d \in \mathcal{D}$ имеем:

$$|d| = \sqrt{\mu^2 h + \varphi^2 (k - h) + \psi^2 (m - k)}, \quad (12)$$

$$\sigma = \sum_{j=1}^{2m} d_j = \mu h + \varphi (k - h) + \psi (m - k).$$

Из выражений (12) видно, что $|d|$ и $\sum_{j=1}^{2m} d_j$ зависят от h , и при $h = k$, когда слово отвечает признаку p (определение 1), получим

$$|d| = \sqrt{\mu^2 k + \psi^2 (m - k)}, \quad (13)$$

$$\sigma = \sum_{j=1}^{2m} d_j = \mu k + \psi (m - k).$$

Подмножество векторов, для которых справедливы выражения (13), обозначим $\mathcal{D}_p \subset \mathcal{D}$. Между множествами \mathcal{D}_p и A_p имеется взаимно однозначное соответствие, следовательно, если задано взаимно однозначное соответствие между множествами A и N , то по \mathcal{D}_p можно определить подмножество адресов N_p , соответствующих A_p .

Таким образом, сначала мы имели множество векторов \mathcal{B} , оканчивающихся на сфере радиуса $r = \sqrt{m}$, после преобразования (9) получим множество векторов \mathcal{D} с различными нормами, но этих норм не более чем k . Следовательно, векторы $d \in \mathcal{D}$ оканчиваются на поверхности одной из k возможных сфер. Чем больше некоторая сфера удалена от сферы радиуса $r = \sqrt{\mu^2 k + \psi^2 (m - k)}$, тем больше слова, из которых образованы векторы, оканчивающиеся на этой сфере, отличаются от признака.

5. УПОРЯДОЧЕННОЕ СЧИТЫВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ

Итак, можно определить A_p , выделив в соответствии с (13) $\mathcal{D}_p \subset \mathcal{D}$, Тривиальным является вывод всего A_p , и сортировка его в обычном ЗУ, если задано взаимно однозначное соответствие между множествами A и N . Если же это соответствие не задано (но мы можем получить величину, характеризующую количество элементов в \mathcal{D}_p , или хотя бы признак того, что в \mathcal{D}_p более чем один элемент), то можно выделить [1] ϑ слов, отвечающих признаку, за $2\vartheta - 1$ ассоциативных опросов. Учитывая, что для $d \in \mathcal{D}_p$, справедливо равенство (13), получим:

$$\vartheta = \frac{\sum_{\mathcal{D}_p} |d|}{\sqrt{\mu^2 k + \psi^2 (m - k)}}, \vartheta = \frac{\sum_{\mathcal{D}_p} \sum_{j=1}^{2m} d_{j=1}}{\mu k + \psi (m - k)}. \quad (14)$$

Возможны и другие более простые признаки: так, если для любого $1 \leq j \leq m$ одновременно выполняется соотношение

$$\left| \sum_{d_j \in \mathcal{D}_p} d_{i,j} \right| > 0$$

и

$$\left| \sum_{d_j \in \mathcal{D}_p} d_{i,j+m} \right| > 0, \quad (15)$$

то признаку p отвечает более чем одно слово.

На рис. 1 показан один из возможных способов построения матричного АЗУ. Горизонтальные шины являются шинами слов, а вертикальные шины – шинами разрядов. Наличие или отсутствие проводимости между горизонтальной шиной i и вертикальной шиной j соответствует тому, что у вектора b_i компонента j равна соответственно 1 или 0. Напряжения, подаваемые с регистра признака на вертикальные шины, пропорциональны компонентам вектора l ; токи, протекающие между шиной i и шинами разрядов, при открытом диоде пропорциональны компонентам вектора d , а ток, протекающий через диод, пропорционален $\sum_{j=1}^{2m} d_j$.

Если же диод закрыт, то в соответствующих проводимостях протекают токи, пропорциональные компонентам вектора \check{d} , где

$$\check{d} = b \square l - \frac{1}{m} (bl)b. \quad (16)$$

Пусть $\varphi \geq m\mu$ и $\psi = 0$, тогда для векторов $d \in \mathcal{D}_p$ $\sigma < 0$, диоды открыты и напряжения равны нулю. Если $d \in \bar{\mathcal{D}}_p$, то $\sigma > 0$, диоды закрыты, на шинах возникают положительные напряжения и токи в проводимостях пропорциональны компонентам \check{d} . Элементы выходного регистра считывают величины $\sum_{\mathcal{D}_p} \check{d}_j$. Ток l_σ в дополнительной разрядной шине, подключенной справа, пропорционален $\frac{1}{m+1} \sum_{\mathcal{D}_p} \sum_{j=1}^{2m} d_j$, т.е., $l_\sigma = k\sigma$, и мы можем определить σ . Справедлив здесь и признак неоднозначности (15), если вместо d подставить \check{d} . Расширяя признак p , добиваются того, чтобы $l_\sigma \approx k$, или чтобы не выполнялось условие (15). Это значит, что мы выделим всего один вектор, тогда для каждого разряда $\sum_{\mathcal{D}_p} d_j = d_j$, следовательно, считывающие устройства считывают компоненты только одного вектора $d \in \mathcal{D}_p$. Аналогично выделяют все $d \in \mathcal{D}_p$.

6. АССОЦИАТИВНЫЙ ОПРОС С ОДНОВРЕМЕННЫМ УПОРЯДОЧЕНИЕМ ИНФОРМАЦИИ

Рассматривая выражения (12) и (13), легко заметить, что чем больше число несовпадающих разрядов $k - h$, тем больше величины (12) отличаются от (13). Таким образом, величины (12) могут служить мерой совпадения слова a и признака p . В рассмотренном случае весовые коэффициенты μ , φ и ψ были одинаковыми во всех разрядах.

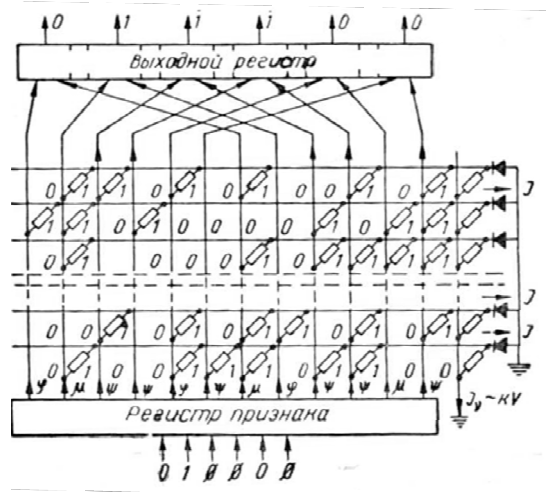


Рис. 1

Если спроектировать $|d|$ и σ для всех $d \in \mathcal{D}$ на числовую ось, то получим ряд точек, причем число их для данного признака будет не более чем k , следовательно, несколько различных векторов будут иметь одинаковые значения $|d|$ и σ по ним невозможно однозначно определить векторы d . Чтобы можно было по каждому $|d|$ или σ однозначно определить d , в качестве весовых коэффициентов $\pi_i (i = 1, 2, \dots)$ следует выбирать элементы ряда $\pi_i = s^i$ (где $s \geq 2$) или какие-либо другие специально подобранные числа. Каждому разряду может присваиваться любой весовой коэффициент выбранного ряда, но никакие два или более разрядов не должны принимать одинаковых весовых коэффициентов. Это ограничение не касается разрядов, не принимающих участия в упорядочении информации; таким разрядам присваивается значение \emptyset . Построим слово $f = \psi_1 * \psi_2 \dots \psi_{2m}$ в алфавите, символами которого являются весовые коэффициенты π_i и \emptyset . Как и раньше образуем вектор f , теперь в более общем виде выражения (8) и (10) будут иметь вид:

$$l = (\mu p' + \varphi \bar{p}' + \mu \bar{p}'' + \varphi p'' + \psi f),$$

$$d = \mu(a'_p \boxtimes p' + \bar{a}_p'' \boxtimes \bar{p}'') + \varphi(\bar{a}'_p \boxtimes \bar{p}' + a'_p \boxtimes p'') + f \boxtimes (a'_t + a''_t).$$

По аналогии с рассмотренной принципиальной схемой АЗУ (рис. 1), можно построить схемы работы АЗУ для рассмотренного случая (рис. 2) и для многих других случаев. Пусть, например, заданы ряд весов $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_i, \dots, \mu = 0$ и $\varphi > \pi_{max}$, образуем слово весов $f = \emptyset \emptyset \pi_4 \pi_1 \emptyset \pi_5 \emptyset \emptyset \pi_2 \pi_7 \emptyset \pi_3$, $\varphi \geq \pi_8$. На регистр признака подаются слова p и f , а с регистра на шины подаются напряжения, пропорциональные компоненты вектора 1. Нуль-органы (НО) имеют маленькое входное сопротивление, поэтому токи, протекающие в них, пропорциональны 0. На НО подается линейно возрастающий ток $I_{л}$. Последовательность переключения НО определяет необходимую последовательность считывания слов $a \in A_p$, которое можно осуществить с помощью обычного адресного устройства.



Рис. 2

Мы применили векторное описание для двух АЗУ, аналогично его можно применять и для других видов АЗУ, в том числе и для аналоговых [4].

В заключение автор выражает искреннюю благодарность Г. Е. Пухову, А. Н. Чеботареву и А. И. Шолмову за ряд советов и замечаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. H. Lewin Retrieval of Ordered Lists from a Content – addressed Memory. RCA Review, v. 23, N 3, 1962.
2. R.R. Seeber, A.B. Landguist Associative Memory with Ordered Retrieval. IBM Journal Res. Ana Dev. V. 6, N 1, 1962.
3. M.H. Lewin, H.R. Beelitz, J. Guarracini Fixed Resistor-card Memory, IEEE Transactions on Electronic computers, v. EC 14, N 3, 1965.
4. К. Штейнбух Обучающиеся матрицы для дискретных (двоичный код) и непрерывных сигналов, Труды Международного симпозиума по самонастраивающимся и оптимальным системам автоматического управления, изд-во «Наука», М., 1964.
5. Tsui Frank F. Der Assoziative Speicher – Anwendung und Realisierungsmoglichekeiten. "Frequenz", 20, N 3, 69 – 82, 1966.
6. Г. Е. Шолов Введение в теорию линейных пространств, Гостехиздат, М., 1952.

Ассоциативное запоминающее устройство

В. В. Петров

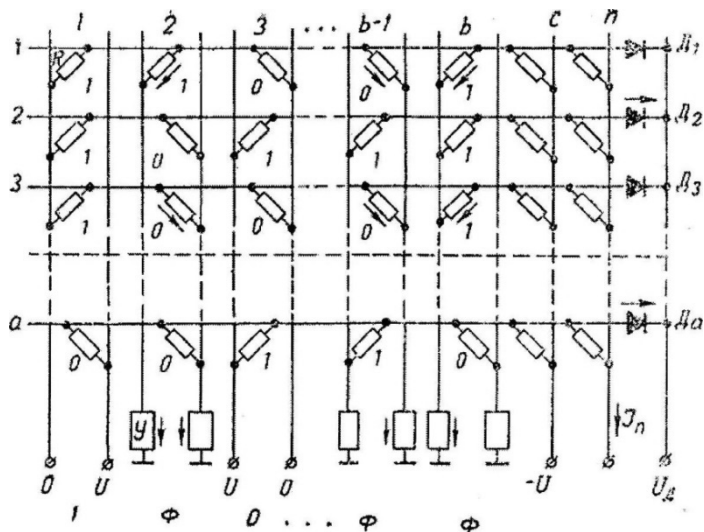
Авторское свидетельство СССР № 220316 МПК H03к Опубликовано 28.06.1968. Бюллетень № 20. Заявитель Институт кибернетики АН УССР.

Изобретение относится к вычислительной технике и может быть использовано для электронных цифровых вычислительных машин. Известны ассоциативные запоминающие устройства, содержащие матрицу резисторов с двумя шинами на разряд, диоды, подключенные к шинам слов, и считывающие усилители.

Предлагаемое устройство отличается тем, что для увеличения быстродействия и уменьшения мощности, выделяемой в матрице за одно обращение, в него введена дополнительная разрядная шина, соединенная одинаковыми резисторами со всеми шинами слов и подключенная к источнику напряжения, равного по амплитуде и противоположного по знаку напряжению, подаваемому при опросе на остальные разрядные шины, причем полярность подключения диодов противоположна полярности источника напряжения, подключенного к дополнительной шине.

Кроме того, для определения количества слов, одновременно отвечающих ассоциативному признаку, устройство содержит вторую дополнительную разрядную шину, соединенную одинаковыми резисторами со всеми шинами слов и с землей.

На чертеже показано предлагаемое устройство.



Горизонтальные шины матрицы (резисторов) являются шинами слов, вертикальные – шинами разрядов. Каждый разряд имеет две шины – левую и правую.

Резисторы R в матрице могут быть изменяемыми (фотосопротивления, химотромы и т. д.) или неизменяемыми. Подключение резистора к левой разрядной шине соответствует записи «1», а к правой – записи «0». Код признака подается в виде комбинации напряжений U и 0 на разрядные шины. Код «1» соответствует подаче на

правую разрядную шину напряжения U и на левую напряжения 0 (шина заземляется), код «0» – подаче напряжения U на левую разрядную шину и напряжения 0 – на правую (например, на 1-й разряд подается код «1», а на 3-й – код «0»), Разряд, на который не подается код признака (закрытый «маской»), обозначен Φ , обе шины этого разряда заземляются (например, разряды $2, b-1, b$). На чертеже обозначены: D – диоды, U_d – напряжение, компенсирующее падение напряжения на диодах, a – количество слов, b – количество разрядов в слове. На чертеже изображены еще две дополнительные разрядные шины c и n , соединенные резисторами R со всеми горизонтальными шинами.

Устройство работает следующим образом. Если код слова во всех разрядах, кроме разрядов закрытых в признаке маской, совпадает с кодом признака, то на шине этого слова возникает отрицательное напряжение $\approx U/(b+2)$, на шине слова, у которого имеется несовпадение хотя бы в одном разряде – 0 , а на шинах слов, несовпадающих более чем в одном разряде, возникает напряжение тока равное пулю, так как положительный ток опирает диоды и на них возникает напряжение примерно равное и противоположное U_d . В результате оказывается, что только на шинах слов, коды которых совпадают с кодами признака, появляются отрицательные напряжения, которые создают токи I , считываемые потенциальными или импульсными усилителями 1 , обладающими малым входным сопротивлением. Очевидно, что ток I_n в шине n пропорционален количеству слов, одновременно отвечающих ассоциативному признаку.

Предмет изобретения

1. Ассоциативное запоминающее устройство, содержащее матрицу резисторов с двумя шинами на разряд, диоды, подключенные к шинам слов, и считывающие усилители, отличающееся тем, что, с целью увеличения быстродействия и уменьшения мощности, выделяемой в матрице за одно обращение, в него введена дополнительная разрядная шина, соединенная одинаковыми резисторами со всеми шинами слов и подключенная к источнику напряжения, равного по амплитуде и противоположного по знаку напряжению, подаваемому при опросе на остальные разрядные шины, причем полярность подключения диодов противоположна полярности источника, подключенного к дополнительной шине.

2. Ассоциативное запоминающее устройство по п.1, отличающееся тем, что, с целью определения количества слов, одновременно отвечающих ассоциативному признаку, устройство содержит вторую дополнительную разрядную шину, соединенную одинаковыми резисторами со всеми шинами слов и с землей.

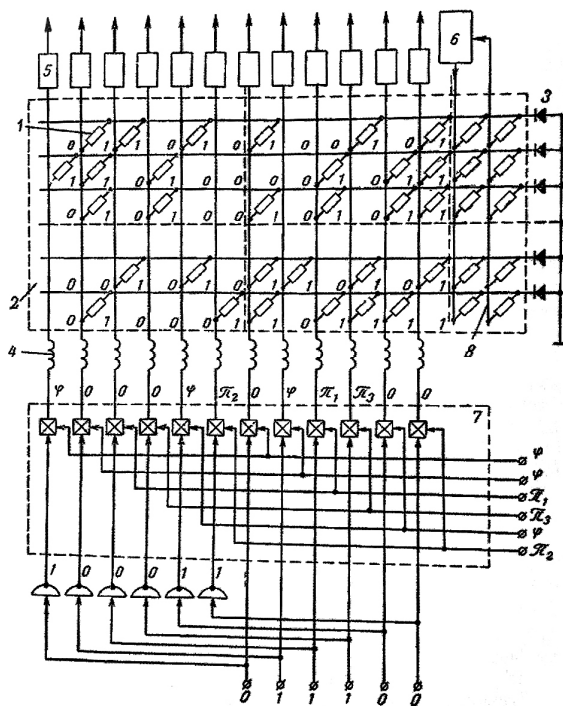
Ассоциативное запоминающее устройство

В. В. Петров

Авторское свидетельство СССР № 220317 МПК Н 03к. Опубликовано 28.06.1968. Бюллетень № 20. Заявитель Институт кибернетики АН УССР.

Известны ассоциативные запоминающие устройства, содержащие матрицу резисторов с прямыми и обратными кодами слов и дополнительной разрядной шиной, соединенной одинаковыми резисторами со всеми шинами слов.

Предлагаемое устройство отличается тем, что для упорядочения вывода слов оно содержит устройство умножения прямого обратного кода признака на весовые коэффициенты, подсоединенное через дроссели к разрядным шинам матрицы. К числовым шинам слов матрицы подключены пороговые элементы, например туннельные диоды, а к дополнительной разрядной шине подсоединен источник линейно возрастающего напряжения, снабженный синхронизатором, прерывающим возрастание напряжения источника на время считывания очередного слова.



Фиг. 1

3 – туннельные диоды, 4 – разделительные высокочастотные дроссели, 5 – дифференциальные усилители, 6 – генератор линейно возрастающего напряжения, 7 – устройство взвешивания.

Слово называется отвечающим признаку, если его код совпадает с кодом признака во всех разрядах, кроме разрядов, закрытых в признаке «маской». Упорядоченная

На фиг. 1 показана принципиальная схема построения ассоциативного запоминающего устройства АЗУ с прямым упорядоченным выводом информации; на фиг. 2 – временная диаграмма работы устройства; на фиг. 3 – характеристика туннельного диода.

В качестве элементов 1 матрицы 2 могут быть любые изменяемые или неизменяемые сопротивления – фотосопротивления, термосопротивления, полевые транзисторы, резисторы и т. д. Наличие элементов в узле матрицы соответствует записи информации «1», отсутствие элемента – записи «0». Так в первом слове в первых шести разрядах (в данном случае шестиразрядные слова) записано слово 011010, а во вторых шести разрядах то же 5 слово, но в обратном коде – 100101.

На фиг. 1: 3 – туннельные диоды, 4 – разделительные высокочастотные дроссели, 5 – дифференциальные усилители, 6 – генератор линейно возрастающего напряжения, 7 – устройство взвешивания.

выборка информации состоит в том, чтобы выбрать в определенном порядке все слова, отвечающие признаку. Сужая признак, можно выбирать в определенном порядке все слова, близкие к заданному признаку.

Устройство работает следующим образом. На устройство взвешивания подается код признака, в котором разряды, закрытые «маской», обозначены Θ , и слово разрядных весовых коэффициентов, значения которого являются определенными элементами какого-либо ряда весовых коэффициентов, например,

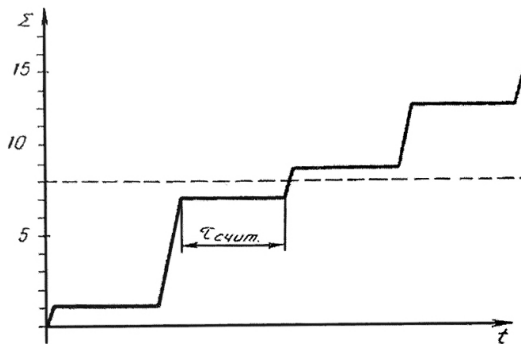
$$\pi_j = K + \sum_{i=1}^{i=j-1} \pi_i,$$

где K – дискретность шкалы. Весовые коэффициенты могут подаваться на взвешивающее устройство как в аналоговой, так и в двоичной форме.левой половине разрядов матрицы соответствует обратный код признака, а правой половине – прямой код признака. Разрядам прямого и обратного кодов признака, закрытым в признаке «маской» в соответствии с их значимостью, присваивают весовые коэффициенты из выбранного ряда, причем большей значимости информации соответствует меньшее значение коэффициента. Весовые коэффициенты следует выбирать так, чтобы они все были различны. Разрядам прямого и обратного кода, не закрытым «маской», присваивают вес φ , который должен быть наибольшим весовым коэффициентом.

Устройство 7 осуществляет умножение прямого и обратного кода каждого разряда на весовой коэффициент данного разряда, напряжения с его выхода подаются через дроссели 4 на разрядные шины матрицы сопротивлений. При этом сумма разрядных токов является величиной, характеризующей степень совпадения признака и данного слова. Чем больше сумма разрядных токов, тем больше слово отличается от признака. Таким образом, при считывании слов в порядке возрастания сумм разрядных токов будет осуществляться упорядоченный вывод информации.

Так как туннельные диоды обладают относительно малыми входными сопротивлениями, то токи, протекающие по ним, будут пропорциональны суммам поразрядных произведений и будут отличаться друг от друга на величины, пропорциональные числу K .

Для осуществления упорядоченного вывода информации элемент генерирует линейно возрастающее отрицательное напряжение, при его увеличении рабочие точки туннельных диодов перемещаются, как показано на фиг. 3. В момент переключения любого туннельного диода на горизонтальных шинах и благодаря наличию дросселей 4 на вертикальных шинах возникают импульсы напряжения с крутыми фронтами, которые считываются дифференцирующими усилителями, срабатывающими на импульсы с весьма крутыми фронтами.



Фиг. 2

В момент переключения очередного диода на шине 8 возникает синхронизирующий импульс, приостанавливающий возрастание напряжения U на время, необходимое для считывания очередного кода и для затухания переходных процессов (фиг. 2). Таким образом, происходит прямой упорядоченный вывод информации.

Расширяя или сужая признак, изменяя веса, можно и при малой

разрешающей способности нуль-органов вывести любую группу слов в любом заданном порядке, произвести вывод слов за несколько этапов и т. д.

Пусть, например, задан ряд весовых коэффициентов π_j при $K = 1$, тогда получим весовые коэффициенты $\pi_1 = 1, \pi_2 = 2, \pi_3 = 4, \pi_4 = 8, \pi_5 = 16$ и т. д.

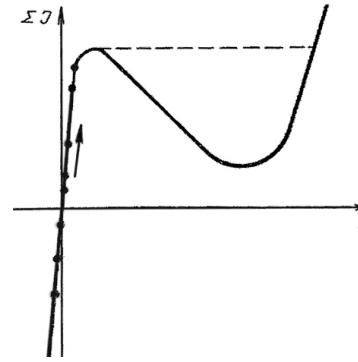
Если, как показано на фиг. 1, задан признак $01 \Theta \Theta 0 \Theta$ и задано старшинство разрядов: третий, шестой, четвертый, тогда получим для третьего разряда вес π_1 , для шестого — π_2 , для четвертого — π_3 , $\varphi \geq \pi_4$.

Задав вместе со старшинством разрядов, закрытых маской в признаке, еще и значение этих разрядов, получим для слов, показанных на фиг. 1, ряд сумм. Так, если задать третьему разряду значение 1, шестому 0, а четвертому 1, получим следующий ряд сумм: 12, 9, 1, ..., 20, 7. Слово отвечает признаку, если сумма $\leq \varphi$ и если взять $\varphi = 8$; такими словами являются третье и последнее. Сначала произойдет считывание третьего слова, а затем последнего, все остальные слова не отвечают признаку.

Выбор коэффициентов и способ взвешивания может быть любой при условии, что токи, протекающие по нуль-органам, должны отличаться друг от друга на некоторую величину K , большую или равную разрешающей способности нуль-органов.

Предмет изобретения

Ассоциативное запоминающее устройство, содержащее матрицу резисторов с прямыми и обратными кодами слов и дополнительной разрядной шиной, соединенной одинаковыми резисторами со всеми шинами слов, отличающееся тем, что, с целью упорядочения вывода слов, оно содержит устройство умножения прямого и обратного кода признака на весовые коэффициенты, подсоединенное через дроссели к разрядным шинам матрицы, к числовым шинам слов которой подключены пороговые элементы, например туннельные диоды, а к дополнительной разрядной шине подсоединен источник линейно возрастающего напряжения, снабженный синхронизатором, прерывающим возрастание напряжения источника на время считывания очередного слова.



Фиг. 3

Запоминающее устройство

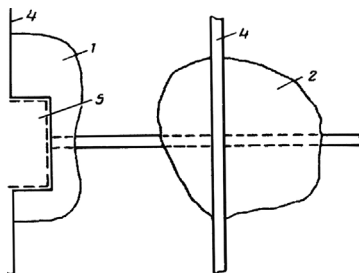
М. Т. Костышин, Е. В. Михайловская,
В. В. Петров, П. Ф. Романенко

Авторское свидетельство СССР 258387 МПК G 11с Опубликовано 03.12.1969. Бюллетень № 1 за 1970 г. Заявитель Институт кибернетики АН УССР.

Изобретение относится к области вычислительной техники, в частности к запоминающим устройствам цифровых вычислительных машин. Известно запоминающее устройство, содержащее систему взаимно перпендикулярных шин с расширениями шин в местах их пересечения при записи кода «1».

Недостатком известного устройства является низкое быстродействие и малая плотность упаковки из-за наличия взаимного влияния соседних ячеек. В предложенном устройстве с целью повышения быстродействия и плотности упаковки между шинами расположен слой полупроводникового материала. На чертеже показано запоминающее устройство.

Оно содержит две ячейки памяти 1 и 2. Ячейка состоит из взаимно перпендикулярных шин 3 и 4 с расширениями 5 в местах их пересечения при записи кода «1» и без расширений в местах пересечения шин при записи кода «0» (ячейка 2). Между шинами 3 и 4 расположен слой полупроводникового материала, который может быть сплошным или нанесен только в местах пересечения шин.



Предмет изобретения

Запоминающее устройство, содержащее систему взаимно перпендикулярных шин с расширениями шин в местах их пересечения при записи кода «1», отличающееся тем, что с целью повышения быстродействия и плотности упаковки между шинами расположен слой полупроводникового материала.

Розділ 2

НЕОРГАНІЧНА ЛІТОГРАФІЯ. РЕЄСТРУВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ОПТИЧНОГО ЗАПИСУ ІНФОРМАЦІ

У піонерських роботах В. В. Петров довів можливість реєстрації інформації зі щільністю запису, яка на той час не могла бути досягнута іншими методами, на неорганічних світлочутливих матеріалах на основі халькогенідних напівпровідників. Такі матеріали були запропоновані, розроблені та досліджені в Інституті кібернетики АН УРСР та Інституті напівпровідників АН УРСР. В. В. Петров разом з колегами показав можливість запису на цих матеріалах проєкційним оптичним методом із використанням імерсії елементів із субмікронними розмірами 0,2–0,3 мкм та електронно-променевим експонуванням – 0,07–0,08 мкм.

Ці дослідження стали основою технології неорганічної літографії. Були розроблені методи створення рельєфних мікроструктур з використанням fotocутливої системи напівпровідник-метал, а також оригінальні селективні травники для формування мікрорельєфних структур із субмікронними розмірами та показана можливість створення елементів кріотронних схем. Оригінальність технології підтверджена патентами США, Франції і багатьма авторськими свідоцтвами СРСР. За цикл робіт з розробки новітніх технологій отримання субмікронних структур для мікроелектроніки В. В. Петров отримав премію Президії АН СРСР за фундаментальні дослідження в галузі мікроелектроніки (1973).

В. В. Петров запропонував використати розроблену технологію неорганічної фотолітографії для створення оптичних запам'ятовувачих пристроїв. З'ясовано можливість запису інформації на халькогенідних напівпровідниках короткими імпульсами лазерного випромінювання (порядку 100 нс) за рахунок збільшення їхньої fotocутливості при експонуванні такими імпульсами. Дослідження процесів фотохімічних перетворень у fotocутливій системі напівпровідник-метал дозволило за допомогою оригінального методу, заснованого на

використанні кварцового резонатору, встановити склад халькогенідного напівпровідника, який забезпечує максимальні стабільність і роздільну здатність fotocутливого матеріалу. Для створення оптичних носіїв інформації на основі fotocутливих матеріалів напівпровідник-метал, які би мали порогову експозиційну характеристику, необхідну для надійного зберігання інформації, було запропоновано матеріали з фотоелектричним пробом бар'єрного шару. Оригінальність цієї розробки підтверджена патентами США.

Значну увагу було приділено створенню оптичних носіїв з перезаписом інформації. Запропоновано та досліджено оригінальну технологію регенерації реєструвального середовища за рахунок збудження електричного розряду в середині герметичного носія заповненого інертним газом. Оригінальність цієї розробки підтверджено патентами США та авторськими свідоцтвами СРСР. Оригінальні результати зі створення оптичних реверсивних носіїв інформації, отримано при використанні ефекту фотолюмінесценції в оксидах рідкоземельних металів. Показано можливість створення на основі оксидів рідкоземельних металів багатшарових носіїв і високоефективних дисплеїв.

Значний обсяг досліджень присвячено вдосконаленню технології виготовлення штампів для тиражування компакт-дисків, а саме досліджено вплив режимів термічної обробки шару фоторезисту на процес формування зображень на поверхні дисків-оригіналів, запропоновано використання підкладок дисків-оригіналів з монокристалічного кремнію для підвищення якості нікелевих штампів. З використанням технології неорганічної фотолітографії було розроблено способи виготовлення штампів для тиражування компакт-дисків і показано можливість реалізації прямого мастерінгу без виготовлення нікелевих штампів, що дозволяє значно підвищити швидкість виготовлення штампів.

Показано, що тонкі плівки халькогенідних напівпровідників можуть бути використані для запису мікро- та нанорельєфних структур. При експонуванні плівок халькогенідних склоподібних напівпровідників оптичним випромінюванням, яке сфокусовано дифракційно обмеженими оптичними системами, відбитки, розміри яких значно менші дифракційної межі, можуть бути отримані при використанні нелінійності експозиційної характеристики fotocутливих матеріалів. Запис нанорозмірних структур може здійснюватися ближньопольовими та електронно-променевими фокусувальними системами. Серед оптичних методів формування нанорозмірних структур представляє інтерес метод, в якому використовується ближнє світлове поле наночастинок благородних металів, інтегрованих з тонкою плівкою халькогенідного напівпровідника.

Результати досліджень використані для створення оптичного диска ЄС 5153 для супер ЕОМ та оптичного циліндричного носія ЄС5353.

Способ изготовления многослойной тонкопленочной структуры

М. Т. Костышин, Е. П. Красноженов, Е. В. Михайловская,
В. В. Петров, П. Ф. Романенко

Авторское свидетельство СССР 253197 МПК Н 05к. Заявлено 13.05.1969.
Заявители Институт кибернетики Академии наук Украинской ССР и Инсти-
тут полупроводников Академии наук Украинской ССР.

Настоящее изобретение относится к области микроэлектроники, а именно, к способу изготовления многослойных тонкопленочных структур.

Известен способ изготовления тонкопленочных многослойных структур, в соответствии с которым на каждый токопроводящий слой наносят диэлектрический слой, имеющий толщину несколько меньше расчетной, обрабатывают токопроводящий слой травителем, не воздействующим на материал диэлектрического слоя, доводят толщину диэлектрика до расчетной, наносят второй токопроводящий слой и производят выжигание контактных мостиков электрическим током.

Однако при использовании известного способа образуется большое число токопроводящих мостиков, удаление которых затруднено.

Целью настоящего изобретения является уменьшение количества токопроводящих мостиков, улучшение параметров тонкопленочной структуры и упрощение технологии изготовления структуры.

Для этого на слой металла, служащий токопроводом, через маску наносят диэлектрический слой, имеющий толщину несколько меньше расчетной. Затем через эту же маску напыляют слой активного вещества, способного вступать с металлом в химическую реакцию под действием излучения. Это активное вещество находится в непосредственном соприкосновении с металлом токопроводящего слоя только в тех местах, в которых слой диэлектрика имеет отверстия. Под действием излучения в тех местах, где слой активного вещества соприкасался с металлом проводящего слоя, происходят фотохимические превращения. Затем активное вещество, а если это необходимо, то и продукты реакции растворяют или удаляют каким-либо другим образом, доводят толщину диэлектрика до расчетной, напыляют второй токопроводящий слой и проводят выжигание контактных мостиков электрическим током.

Применение описанного способа изготовления многослойных тонкопленочных структур устраняет необходимость защищать материал токопроводов, не закрытых диэлектрическими слоями.

В случае использования в качестве материалов токопроводов меди, серебра, золота и других металлов, в качестве активного вещества можно применять легко напыляемые соединения As_2S_3 , As_2S_5 , PbI_2 и другие вещества, вступающие в химическую реакцию с указанными материалами токопроводов только под действием света.

Предмет изобретения

Способ изготовления многослойной тонкопленочной структуры, состоящей из чередующихся токопроводящих и разделяющих их слоев диэлектрика, основанный на

последовательном нанесении указанных слоев и последовательной доводке толщины каждого диэлектрического слоя до номинального значения, производимой после удаления токопроводящего материала с дефектных участков диэлектрического слоя, имеющего толщину несколько меньше расчетной, и выжигания электротокком межслойных контактных мостиков с токопроводящей поверхности, *отличающийся* тем, что, с целью уменьшения количества межслойных токопроводящих мостиков и упрощения процесса удаления их, на каждый диэлектрический слой через маску, которая применялась для напыления диэлектрика, наносят светочувствительный материал, который под действием света или какого-либо облучения вступает в химическую реакцию с токопроводящим материалом, находящимся в порах диэлектрического слоя, после чего слой светочувствительного материала и, если это нужно, продукты реакции удаляют.

О применении неорганических фоточувствительных материалов для изготовления фотошаблонов

В. В. Петров, И. И. Карпиков

Гибридная вычислительная техника и электроника. Киев. Наукова думка, 1972. С. 471–490.

Фотошаблон – маска, используемая в фотолитографии для экспонирования фоторезиста. Фотолитография – это основной технологический процесс изготовления активных и пассивных элементов интегральных схем, точность изготовления фотошаблонов и разрешающая способность процесса фотолитографии определяют точность изготовления элементов интегральных схем или их составных частей.

Требования к точности изготовления фотошаблонов все более возрастают. Достаточно сказать, что при изготовлении интегральных схем методом фотолитографии уже сейчас стоит вопрос, как получить элементы размерами 1-2 мкм, а в ближайшее время возникнет необходимость в изготовлении элементов с субмикронными размерами, ибо существует целый ряд задач, которые принципиально не могут быть решены без создания таких элементов, – это приборы с переносом заряда, сверхвысокочастотные планарные схемы и т.д.

Для изготовления фотошаблонов с элементами микронных и субмикронных размеров необходимы светочувствительные материалы, способные воспроизводить столь малые линии. В настоящее время наиболее распространены коллоидные светочувствительные материалы [1, 2]. На рис. 1 схематически показан коллоидный светочувствительный материал, у которого светочувствительные кристаллы (галогенид серебра) распределены в объеме слоя «а», который нанесен на подложку «б».

При изготовлении фотошаблонов с микронными и субмикронными размерами ограничивающим фактором становится толщина коллоидного слоя, которая не может быть менее 1–3 мкм ввиду уменьшения коэффициента контрастности изображения. В связи с этим в настоящее время на коллоидных светочувствительных материалах не удается изготовить фотошаблоны с элементами менее 0,7–1,5 мкм.

Аналогичным недостатком обладают светочувствительные слои на основе органических фотополимеров (фоторезистов). Толщина слоя «а» (рис. 2) не может быть менее 0,3–0,6 мкм ввиду неоднородности нанесения фоторезиста, появления дырок и увеличения неоднородности его физико-химических свойств [3].

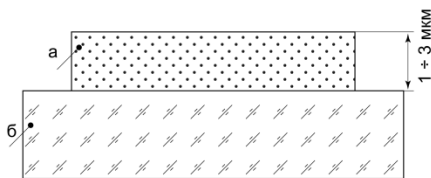


Рис. 1

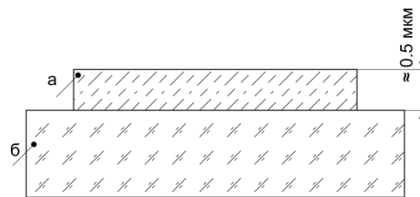


Рис. 2

Кроме этого, фоторезисты обладают малой светочувствительностью и имеют максимум спектральной чувствительности в ультрафиолетовой области, в то время как лучшие объективы рассчитаны на видимую область света.

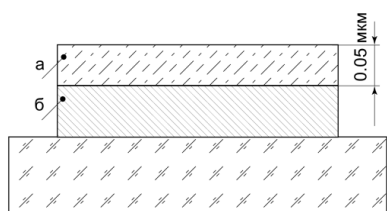


Рис. 3

В обоих типах используемых в настоящее время светочувствительных материалов изображение образуется во всей толщине светочувствительного слоя и по своей природе является объемным. Принципиально иным будет формирование изображения, если светочувствительный слой многослоен и использует взаимодействие некоторых веществ (например, вещества слоев «а» и «б» (рис. 3) на границе их раздела). Если вещество «а»

хотя бы частично пропускает свет, то вещества «а» и «б» будут вступать во взаимодействие только в области их контакта и толщина их не будет накладывать ограничения на разрешающую способность.

Взаимодействие твердых тел на границе их раздела изучается давно. В 1934–1935 гг. [4, 5] было обнаружено, что ряд материалов (пирит, арсено-пирит, свинцовый блеск, ковелин и др.), нанесённых в порошкообразном виде, дают четкое окрашивание через сутки после их нанесения.

Позднее было показано, что ряд полупроводниковых соединений [6, 7], нанесенных на диэлектрическую подложку, обладают фотографической чувствительностью. М. Т. Костышин и др. показали, что при нанесении полупроводниковых слоев на металлическую подложку чувствительность полупроводниковых слоев может быть существенно увеличена, впервые реализовали идею создания светочувствительной системы, использующей взаимодействие веществ на границе. Такие светочувствительные системы получили название светочувствительных систем полупроводник – металл.

В данной работе была поставлена цель использовать в качестве светочувствительного слоя в в фотолитографическом процесс систему полупроводник – металл для изготовления фотошаблонов и рассмотреть возможные варианты использования таких систем.

В результате экспонирования светочувствительной системы резко изменяется коэффициент ее отражения. Однако коэффициент пропускания ее в диапазоне от 360 до 800 нм изменяется всего на 10–20 %, а этого явно недостаточно для использования таких изображений в качестве фотошаблонов. Увеличение контраста изображения, получаемого с помощью светочувствительной системы полупроводник–металл можно осуществить за счет изменения химических свойств полупроводника в результате экспонирования. Экспериментально было обнаружено, что ряд полупроводников, нанесенных на металлическую подложку, резко изменяют свою растворимость в щелочах, воде и в других растворителя. В результате появляется возможность увеличить контраст изображения путем использования различия в химических свойствах экспонированных и неэкспонированных участков полупроводника.

1. СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЗИТИВНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

На прозрачную подложку 1 (рис. 4) из стекла, кварца, пластмассы или другого материала вакуумным напылением, химическим осаждением или иным способом наносится тонкий слой металла 2 толщиной 0,02–0,1 мкм, имеющий коэффициент пропускания от 2 до 50 %.

На этот слой металла вакуумным напылением или иным способом наносится слой 3 галогенида, халькогенида или какого-нибудь другого полупроводникового соединения толщиной 0,05–0,5 мкм. В результате получается светочувствительная система полупроводник – металл.

В процессе экспонирования на границе слоев металла и полупроводника образуется продукт реакции, имеющий другой цвет. В результате без операции проявления появляется видимое негативное изображение.

Толщина продуктов реакции 4 (рис. 5) зависит от количества световой энергии. В результате экспонирования одновременно с изменением толщины продукта реакции изменяется и толщина слоя металла. Если выбрать достаточно тонкий слой металла, имеющий коэффициент пропускания 2–50 %, то благодаря изменению толщины металлического слоя значительно изменятся, причем в местах максимального освещения толщина металла становится минимальной или даже металл полностью вступает в реакцию.

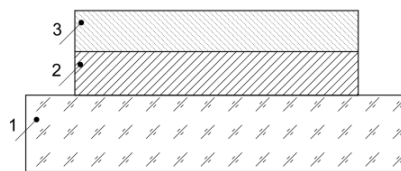


Рис. 4

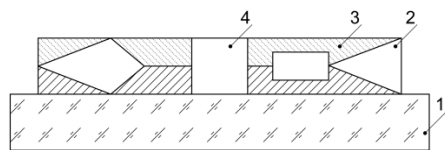


Рис. 5

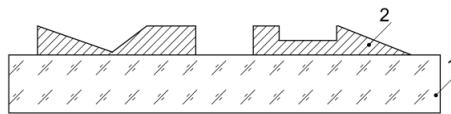


Рис. 6

Далее для получения позитивного изображения необходимо удалить непрореагировавшее вещество слоя 3 (рис. 5) и образовавшиеся продукты реакции 4 химическим травлением, сублимацией или каким-либо иным образом (рис. 6).

2. СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕГАТИВНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Этот способ противоположен предыдущему по последовательности обработки слоев. Опишем его.

Если на прозрачную подложку 1 нанести слой металла 2 толщиной 0,02–0,1 мкм, а на него – слой полупроводника 3 примерно такой же толщины и проэкспонировать с помощью света, электронного пучка или какого-нибудь другого излучения, то получим продукт реакции 4 (рис. 7).

Удаляя с помощью соответствующих растворителей вещества слоев 2 и 3, получаем слой вновь образовавшегося вещества, который является негативным изображением по отношению к изображению фотошаблона, использовавшегося при экспонировании.

В другом варианте этого способа слой 2 (рис. 8) может быть взят настолько толстым, что в тех местах, где вещество слоя 3 полностью вступило в реакцию, вещество слоя 2 прореагировало не на всю толщину.

Если теперь растворителем или с помощью какого-либо другого метода убрать только слой 3, то в местах, подвергавшийся экспонированию, слой 2 будет покрыт продуктом реакции 4 (рис. 9). При соответствующим выборе компонент светочувствительного слоя продукт реакции может служить в качестве защитной плёнки при травлении слоя 2. Если компоненты светочувствительной системы подобраны таким

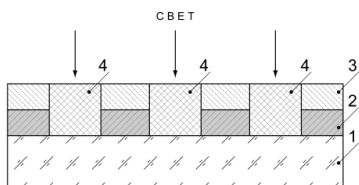


Рис. 7

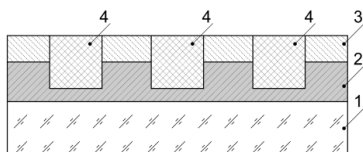


Рис. 8

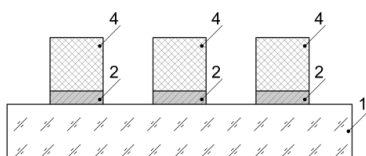


Рис. 9

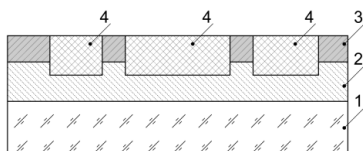


Рис. 10

образом, то растворяя вещество слоя 2 (рис. 9), получим негативное изображение с двухслойным покрытием.

Если необходимо получить однослойное изображение (например, токопроводящие дорожки), плёнку продукта реакции можно растворить и получить однослойное изображение.

3. СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОТОШАБЛОНОВ, ПРОЗРАЧНЫХ В ВИДИМОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

Конечная цель изложенных выше двух способов – изготовление металлизированных изображений. Однако специфика использования фотошаблонов заключается в том, что при очередном экспонировании фоторезиста рисунок фотошаблона необходимо совмещать с рисунком на кремниевой пластине.

При использовании металлизированных фотошаблонов осуществляется совмещение по реперным меткам, однако контуры основных изображений, которые необходимо совмещать, остаются невидимыми под металлической пленкой фотошаблона. В настоящее время предпринимаются попытки создать фотошаблоны, прозрачные в видимой области спектра и непрозрачные в ультрафиолетовой области, в которой осуществляется экспонирование фоторезиста. В этом случае контуры рисунка на кремниевой пластине видны на всей плоскости и благодаря этому можно более точно осуществ

ствить совмещение изображений наиболее важных участков.

С помощью системы полупроводник–металл также можно создавать такие фотошаблоны благодаря тому, что халькогенидные стекла прозрачны в желтой и далее в длинноволновой области спектра и непрозрачны в ультрафиолетовой области спектра.

В этом случае способ изготовления фотошаблонов заключается в следующем. На прозрачную подложку 1 наносится слой полупроводника 2 толщиной 0,02–0,05 мкм, на который напыляется слой металла с толщиной 0,01–0,1 мкм.

В результате экспонирования на границе слоев 2 и 3 образуется продукт реакции 4 (рис. 10), который по своим химическим свойствам отличается от полупроводника слоя 2 и металла слоя 3.

Удаляя непрореагировавший металл слоя 3, получим слой полупроводника с защитной пленкой продукта реакции. Растворив слой полупроводника с незащищенных участков, получим фотошаблон с двухслойным изображением.

Чтобы получить более прозрачное изображение в видимой области продукт реакции чаще всего приходится удалять, так как он имеет значительное поглощение в видимой области спектра.

4. СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОТОШАБЛОНОВ С ТРЕХСЛОЙНЫМ ПОКРЫТИЕМ

Способы, рассмотренные выше, дают возможность изготавливать фотошаблоны, однако, чтобы получать покрытия с высокой оптической плотностью, необходимо травление слоя металла или полупроводника толщиной 0,1 мкм и более. Это может привести к растравлению пленок по краям и, следовательно, к некоторому уменьшению точности изготовления фотошаблонов.

Способ, рассматриваемый в данном разделе, предполагает использование трех пленок толщиной 0,01–0,05 мкм, образующих двойную систему полупроводник–металл, что позволит увеличить точность изготовления фотошаблонов при сохранении большой оптической плотности.

На рис. 11 показан порядок нанесения слоев. На подложку 1 наносят металлический слой 2, на него слой полупроводника 3, которые образуют светочувствительную систему полупроводник–металл. Если на слой полупроводника нанести еще один слой металла 5, то слои 4 и 5 также образуют светочувствительную систему полупроводник–металл.

В результате экспонирования такой многослойной светочувствительной системы образуется значительно более толстый распределенный по двум уровням продукт реакции, обладающий большей химической стойкостью, чем продукт реакции в двухслойной системе. Удаляя непрореагировавшие вещества, получаем контрастное изображение, имеющее резкий край.

Чтобы получить защитные слои с более высокой плотностью, толщину слоя 3 можно увеличить; при этом точность воспроизведения края будет примерно в два раза выше, чем точность воспроизведения края в способах, изготовления фотошаблонов, использующих одну светочувствительную систему полупроводник–металл.

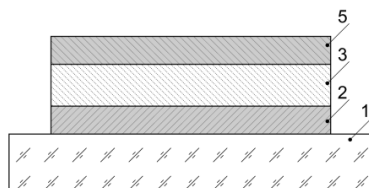


Рис. 11

5. СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОТОШАБЛОНОВ С ДВУХСЛОЙНЫМ ПОКРЫТИЕМ

Применяя первый способ, описанный выше, можно изготовить фотошаблоны с однослойной металлической пленкой. Ввиду того, что в качестве металла в светочувствительной системе чаще всего используются серебро и другие благородные металлы, которые обладают высокой химической стойкостью в ряде травителей, для других металлов можно осуществить способ изготовления фотошаблонов из материалов, которые сами не образуют с другими материалами светочувствительных систем.

Способ изготовления таких фотошаблонов может выглядеть так. На подложку 1 (рис. 12) наносится слой металла 2, который будет использоваться для изготовления изображения фотошаблона.

Далее по описанной методике наносится слой металла 3 и полупроводника 4 для образования светочувствительной системы. Светочувствительная система экспонируется до тех пор, пока в месте экспонирования металлический слой 3 не прореагирует на всю толщину. Затем удаляют продукт реакции и, используя защитные свойства металла слоя 3, растворяют пленку вещества слоя 2 с открытых участков и получают

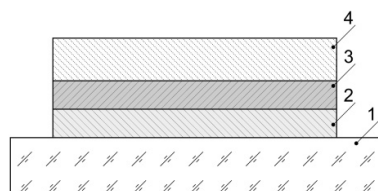


Рис. 12

фотошаблон с двухслойным покрытием. В случае необходимости вещество слоя 3 может быть удалено и получен фотошаблон с веществом слоя 2. В качестве вещества слоя 2 можно ваять любое вещество, пригодное для изготовления фотошаблона (хром, сульфид железа, окись железа и т.п.) имеющее хорошую адгезию и заданные оптические свойства. Порядок нанесения слоев 3 и 4 можно изменить. Тогда в качестве защитного слоя при травлении слоя 2 будет выступать слой полупроводника, который также стоек к большому количеству химических реактивов (кислоты, растворы солей и т. п.).

6. СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ФОТОШАБЛОНОВ С НЕГАТИВНЫМ РИСУНКОМ

По аналогии с предыдущим может быть использован способ изготовления фотошаблонов, использующий в качестве защитного покрытия двухслойную пленку, получающуюся по способу изготовления негативных, металлических изображений (см. п.2). Двухслойная металлическая пленка, получающаяся по этому способу и состоящая из слоя серебра и слоя продукта реакции, обладает высокой химической стойкостью к большому количеству агрессивных травителей и может быть использована в качестве защитного покрытия при травлении пленок из самых различных материалов.

После травления выбранного материала получается фотошаблон, состоящий из трехслойной пленки (выбранное вещество, металл, продукт реакции). Если необходимо получить фотошаблон из однослойной пленки заданного вещества, то пленки серебра и продукта реакции могут быть удалены. В качестве такого вещества можно выбрать металлы, улучшающие адгезию серебра, вещества, обладающие заданными оптическими свойствами, и т. д. В данном способе светочувствительная система используется как негативный фоторезист, а в предыдущем – как позитивный.

Ниже будет рассмотрен еще ряд способов изготовления фотошаблонов, использующих светочувствительные системы полупроводник–металл, в сочетании с гальваническим осаждением или растворением металлов. Гальваническое осаждение металла обеспечивает более точное воспроизведение размеров, чем химическое травление. Предполагаемый способ изготовления металлических пленок состоит в следующем. На стекло 1 (рис. 13) при изготовлении металлических фотошаблонов напыляется слой металла 2 минимальной толщины, при которой он уже является сплошным (для большинства металлов эта толщина лежит в пределах 50–200 Å).

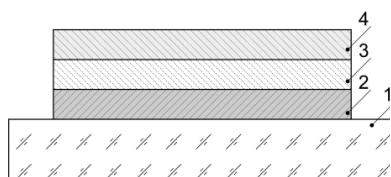


Рис. 13

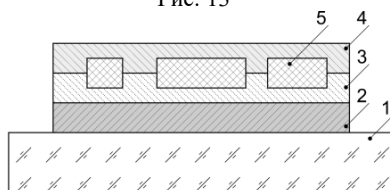


Рис. 14

Чтобы осадить слой металла требуемой конфигурации, необходимо металлический слой 2 защитить в заданных местах слоем диэлектрика. В качестве защитной пленки могут быть компоненты светочувствительной системы полупроводник–металл. Для этого на слой 2 в вакууме напыляется слой 3 сульфида мышьяка, селенида мышьяка или какого-нибудь другого стеклообразного полупроводника толщиной 300–1000 Å, на него напыляется полупрозрачный слой металла 4, вступающего со слоем 3 в химическую реакцию под действием света, электронного пучка или иного излучения.

Полученную светочувствительную систему экспонируют, в результате чего в местах экспонирования получается продукт реакции 5 (рис. 14).

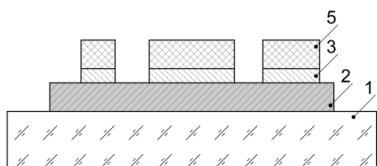


Рис. 15

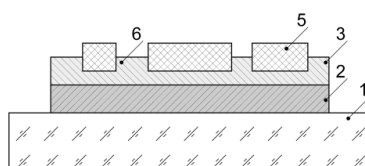


Рис. 16

После этого удаляют непрореагировавшее вещество слоя 4 селективным травлением удаляют вещество слоя 3 с участков, незащищенным продуктом реакции 5, и получают требуемую конфигурацию вещества 3, на которой расположен продукт реакции 5 (рис. 15). В случае необходимости можно удалить продукт реакции 5 и получить защитный слой вещества 3. После этого в окна слоя 3 гальванически осаждают металл на поверхность слоя 2 (рис. 16).

Если для гальванически осаждаемого слоя и первичного сплошного слоя использовался один и тот же металл, то химическим или гальваническим травлением травят полученную систему пленок на глубину от 50–200 Å, чтобы удалить полностью (если это необходимо) нижний металлический слой на тех участках, где не происходит гальванического осаждения металла.

Если осаждается другой металл, то селективным травлением удаляют нижний слой металла. В результате получается металлический рельеф с заданной конфигурацией. Этот способ можно использовать для изготовления фотошаблона и для других целей при изготовлении микроэлектронных схем.

Возможен и другой вариант этого способа, когда вместо металлического слоя наносится прозрачный проводящий слой из окиси олова, окиси свинца или другого вещества. В этом случае можно получить однородную металлическую пленку.

7. СПОСОБЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОТОШАБЛОНОВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ТРАВЛЕНИЕ

Гальваническое травление по сравнению с химическим обеспечивает возможность в больших пределах изменять скорость травления, прорабатывать отдельные участки, использовать больше металлов для изготовления фотошаблонов.

По аналогии со способами, изложенными в п. 5 и 6, можно использовать различные варианты светочувствительной системы полупроводник–металл для изготовления защитного слоя при гальваническом травлении различных металлов, однако для этого необходимо использовать проводящее стекло в качестве подложки или наносить проводящие пленки.

ВЫВОДЫ

1. С помощью светочувствительных систем полупроводник–металл можно изготовить фотошаблоны с позитивным и негативным изображением.
2. Компоненты светочувствительных систем полупроводник–металл могут использоваться в качестве защитных слоев при изготовлении фотошаблонов из материалов, не образующих светочувствительных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. K. D. Clark, R. C. Turner J. Photogr. Sci., т.7, № 4. 1969.
2. Берзин Зарубежная электронная техника, №12, 1970.
3. Ф. П. Пресс Фотолитография в производстве полупроводниковых приборов, изд-во «Энергия», М., 1968.
4. Chemisches Zentralblatt, ч.11, т.126, 1934.
5. Periodica mineral, 6, 1935.
6. W.J.Turner, W.E.Reese J. Appl. Phys, т.35, 1964.
7. J.J.Pankeve Phys. Rev., т.140, 1965.

Использование неорганических светочувствительных материалов для изготовления фотошаблонов

В. В. Петров, И. И. Карпиков, С. С. Лысенко, А. Д. Кравченко

Гибридная вычислительная техника и электроника. Киев. Наукова думка, 1972. С. 491–503.

Известно, что полупроводниковая пленка, нанесенная на металлическую подложку, обладает светочувствительностью [1, 2], то есть образует светочувствительную систему полупроводник–металл. В отличие от коллоидных светочувствительных материалов и фоторезистов все компоненты такой светочувствительной системы являются неорганическими материалами и допускают нанесение на подложку вакуумным испарением. Светочувствительные системы имеют чувствительность в видимой области спектра и высокую разрешающую способность. Это позволяет надеяться на возможность использования неорганических светочувствительных материалов (светочувствительных систем полупроводник–металл) для изготовления фотошаблонов.

Цель нашей работы – изучить особенности использования неорганических светочувствительных материалов для изготовления фотошаблонов и возможности изготовления элементов с микронными и субмикронными размерами.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОТОШАБЛОНОВ

Для изготовления фотошаблонов была выбрана светочувствительная система, состоящая из пленки серебра толщиной 0,1–0,2 мкм и пленки халькогенида мышьяка толщиной 0,03–0,04 мкм.

В качестве подложек для изготовления фотошаблонов использовались шлифованные силикатные стекла. Пленки металла и полупроводника наносились методом термического испарения в вакууме при давлении порядка 10^{-5} тор. Изображения на приготовленных светочувствительных системах получали методом контактной печати с эталонных эмульсионных и хромовых фотошаблонов, имеющих размеры элементов до 5 мкм. В виду того, что светочувствительные системы имеют максимум чувствительности в видимой области, для экспонирования применяли коллимированные источники света с лампами накаливания.

В результате экспонирования светочувствительной системы получается видимое на отражение высококонтрастное изображение, которое, однако, имеет малый коэффициент контрастности на просвет. Контраст изображения получается в результате фотохимических превращений между слоем серебра и полупроводниковой пленки в местах экспонирования. При этом цвет пленки изменяется от светло-золотистого до синего. При использовании изображения в качестве фотошаблона коэффициент контрастности на просвет должен быть не менее 2 в связи с этим непосредственное использование экспонированных светочувствительных систем в качестве фотошаблонов не представляется возможным.

Использование химических свойств компонент светочувствительной системы показало, что в результате экспонирования слоя полупроводника растворимость его в щелочах резко уменьшается и он становится стойким в ряде травителей для серебра. Это обстоятельство дает возможность использовать экспонированные участки полупроводника в качестве защитного слоя при травлении серебряной пленки.

На неэкспонированных участках полупроводниковая пленка легко растворяется в 10 %-ом растворе любой щелочи (например, едкого натра). Для травления серебра в окнах использовали концентрированный раствор тиомочевины с добавлением серной кислоты и окиси хрома в качестве окислителя [3].

Использование такого травления дает возможность вытравить серебро на открытых участках, не повредив защитной пленки экспонированного полупроводника светочувствительной системы (продукта реакции). В результате было получено зеркальное, видимое на просвет, высококонтрастное изображение эталонного фотошаблона.

Защитная пленка 4 (рис. 1) представляет собой продукт реакции металла 2 и полупроводника 3, нанесенных на стеклянную подложку 1 и имеет весьма высокую адгезию к серебру.

Для ее удаления использовали реакцию электрохимического восстановления.

По описанной выше методике можно получить серебряные изображения на стеклянной или какой-либо иной поверхности. Однако серебро имеет плохую адгезию к стеклу и малую стойкость на истирание. Одним из наиболее широко используемых в настоящее время материалов для изготовления фотошаблонов является хром, который имеет весьма высокую адгезию к подложкам и устойчивость на истирание.

Благодаря тому, что серебро стойко в большом количестве агрессивных травителей (в том числе и к соляной кислоте, являющейся хорошим травителем хрома), можно использовать полученное серебряное изображение в качестве защитного слоя при травлении нижележащих слоев хрома. Для проверки этого способа были приготовлены образцы с пленками толщиной 0,1–0,3 мкм, нанесенные на стеклянную подложку. На пленку хрома без разгерметизации вакуумной камеры наносили пленку серебра, а затем для образования светочувствительной системы напыляли пленку полупроводника. По описанной выше методике получили защитные пленки серебра, после чего производили травление пленки хрома. В результате получался фотошаблон с двухслойным металлическим покрытием. Если необходимо получить однослойный хромовый фотошаблон, серебряную пленку легко удаляли любым из известных травителей для серебра. Надо отметить, что травление хрома в данном случае проходит значительно легче, чем при использовании фоторезиста, так как напыление серебра после хрома в одном цикле без разгерметизации вакуумной камеры полностью устраняет образование окисного слоя на хrome. При использовании светочувствительной системы полупроводник–металл для изготовления фотошаблонов было замечено существенное влияние некоторых технологических факторов на качество светочувствительной системы. Так, при удалении слоя полупроводника на неэкспонированных участках в некоторых случаях на поверхности серебряной пленки оставалась тонкая (порядка 1–2 мкм) «вуалевая» пленка, которая затрудняла травление серебра, а в некоторых случаях и вовсе препятствовала ему. Это, очевидно, связано с тем, что при напылении халькогенидов мышьяка первыми начинают лететь сера и селен, как наиболее летучие компоненты, а при воздействии их паров на серебро образуются халькогениды серебра [4]. При образовании халькогенидов серебра существенно влияет состояние поверхности серебра. Так, оказалось, что наиболее сильная «вуалевая»

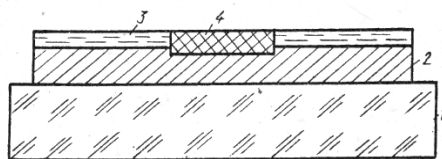


Рис. 1. Структура светочувствительной системы полупроводник–металл:

1 – подложка; 2 – слой серебра; 3 – слой полупроводника; 4 – экспонированный участок (продукт реакции)

пленка образуется при напылении полупроводникового слоя на свеженапыленное серебро, она не наблюдается для пленок серебра, прошедших процесс «старения» в атмосферной среде в течение 10–15 часов. Пленки халькогенидов серебра могут быть легко удалены в ряде травителей, однако их химические свойства близки к химическим свойствам продукта реакции и удаление их приводит к ухудшению защитных свойств продукта реакции. В связи с этим были предприняты меры по устранению причин образования «вуали». Процесс «старения» технологически не удобен. Было обнаружено, что напыление тонкого (порядка 10–15 мкм) слоя монооксида кремния на поверхность серебра дает положительные результаты и сводит к минимуму образование «вуалевого» пленки.

Толщина слоя, Å	Время экспонирования, мин	Наличие «вуали»	Защитные свойства
5	2	сильная	хорошие
10	2,5	чуть заметная	«
15	3	нет	«
20	6	нет	плохие
25	10	нет	«

В виду того, что защитная пленка представляет собой продукт реакции между серебром и полупроводниковым слоем, то напыление слоя монооксида кремния, очевидно, будет влиять на скорость образования

продукта реакции и защитные свойства. Из толщины видно, что с увеличением толщины слоя SiO увеличивается время экспонирования светочувствительной системы и ухудшаются защитные свойства продукта реакции. Оптимальная толщина слоя SiO 10–15 Å. При больших толщинах слой SiO служит границей раздела двух поверхностей (серебра и халькогенидного стекла) и затрудняет взаимную диффузию при фотохимических превращениях. Ухудшение защитных свойств при больших толщинах слоя SiO проявляется в том, что при проявлении в растворе щелочи защитный слой снимается.

Таким образом, на основе трехслойной светочувствительной системы полупроводник–металл возможно создание фотошаблонов.

Очевидно, что нанесение полупроводникового слоя в вакуумной камере выгодно отличается от известных способов нанесения фоторезиста и создает на поверхности металла бездефектную, не зависящую от внешних условий (температуры, вакуумной гигиены и т. п.) светочувствительную пленку. Простота технологии изготовления светочувствительной системы и недефицитность используемых материалов, чувствительность системы в видимой области спектра, легкость получения рельефного (протравленного) изображения, а также возможность совмещения напыления металла и полупроводника в одной камере – вот те положительные стороны, которые несут в себе метод получения фотошаблонов с помощью светочувствительной системы полупроводник–металл.

РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОЛУПРОВОДНИК–МЕТАЛЛ

Перспективы использования новой технологии получения фотошаблонов создают ряд преимуществ перед известными методами фотолитографии. В настоящее время методами фотолитографии удается изготавливать элементы с минимальными размерами 2–3 мкм [5]. Однако для создания целого ряда микронных структур необходимо изготовление элементов субмикронных размеров с высокой точностью.

Одним из путей увеличения точности изготовления элементов и уменьшения их размеров является использование методов электронной литографии [8]. Однако метод

электронной литографии малопроизводителен из-за малой скорости экспонирования. Так, для полного экспонирования резиста на поверхности 1 см^2 электронным пучком диаметром $0,1 \text{ мкм}$ при плотности тока $0,1\text{--}1,0 \text{ А/см}^2$ [8] необходимо время $1,6 \cdot 10^2 \text{--} 1,6 \cdot 10^3 \text{ ч}$. В результате этого целесообразно использовать электронную литографию лишь для приборов, в которых процент экспонируемой поверхности чрезвычайно мал и необходима высокая точность изготовления рисунка (например, получение гребенчатой структуры акустического преобразователя и т.д.). Использование электронной литографии в технологическом процессе массового изготовления интегральных схем не представляет возможным из-за его малой производительности.

Таким образом, фотолитография на ближайшие годы будет оставаться основным технологическим процессом изготовления интегральных схем и разрешающая способность этого процесса будет определять предельные параметры элементов. Процесс фотолитографии многоступенчатый, разрешающая способность которого зависит как от разрешающей способности светочувствительных материалов (фоторезистов), так и от разрешающей способности оптики. Использование совершенных микрообъективов позволяет получать изображения с размерами до $0,2\text{--}0,4 \text{ мкм}$. Используемые в настоящее время фоторезисты являются органическими полимерами, полимеризация которых используется для получения защитного слоя на поверхности материала. Как было показано выше, толщина светочувствительного слоя системы металл-полупроводник определяется толщиной полупроводниковой пленки ($0,03\text{--}0,04 \text{ мкм}$).

Благодаря малой толщине светочувствительного слоя таких систем в меньшей степени сказываются явления дифракции и интерференции при контактной перепечатке изображения. Проведенные эксперименты показали, что с помощью таких светочувствительных материалов можно получить методом контактной печати элементы с микронными размерами с четкостью края эталонного фотошаблона. Чтобы получить элементы с субмикронными размерами, использовался метод проекционной печати. Проекционная установка собрана на основе большого горизонтального металлографического микроскопа «НЕОФОТ». Оптическая схема установки представлена на рис. 2.

При рассматривании поверхности образца, наводке на резкость используется обычное освещение объектива в микроскопе с помощью осветительной системы, выполненной по принципу Кеплера. Чтобы исключить засвечивание образца; в ход лучей вводился красный фильтр.

Источник 1 проектируется коллекторной линзой 2 в плоскости ирисовой апертурной диафрагмы 3. Линзы 4, 5, 7 и светоделительная пластина 8 проектируют апертурную диафрагму и изображение в ней источника света в плоскость выходного зрачка сменного объектива 9.

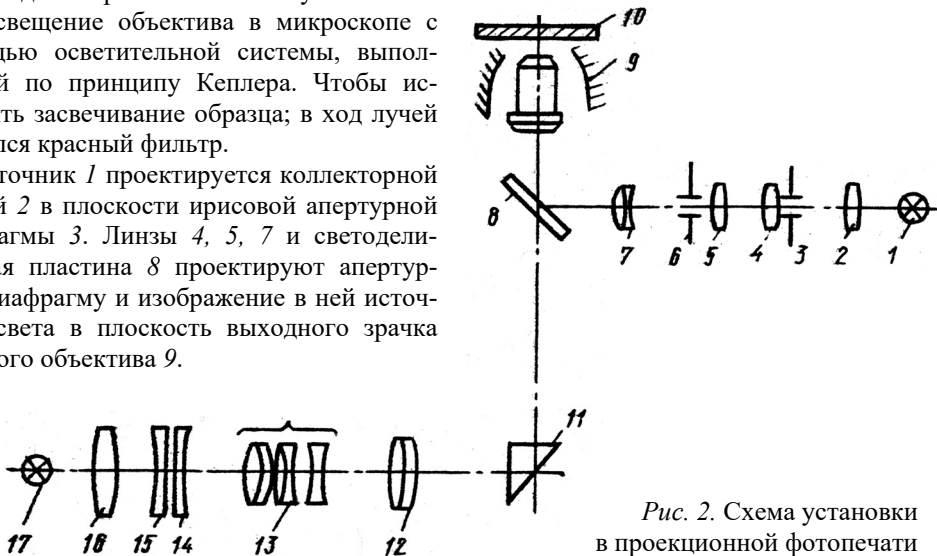


Рис. 2. Схема установки в проекционной фотопечати

Полевая диафрагма 6 расположена в фокальной плоскости линзы 7 и проецируется ею на бесконечность и затем с помощью объектива 9 – в плоскость объектива 10. Изображение объектива на фотопленке получается с помощью объектива 9, призмы 11, линзы 12, гомала 13.

Чтобы получить субмикронные линии, в плоскость фотопластины 14 помещали специально изготовленный шаблон с линиями различной ширины (450–500 мкм). Шаблон равномерно освещался источником 17 – мощной лампой накаливания ПЖ-20 с матовым стеклом. Для увеличения разрешающей способности объектива и соответственно шаблона засветка светочувствительного полупроводникового слоя проводилась монохромическим светом с длиной волны 450 нм, который выделялся с помощью светофильтра 15.

В ходе измерений для получения субмикронных размеров использовались объективы – апохроматы формы «Цейс»: 30^x, 60^x, 90^x. С помощью этих объективов получали линии на фотошаблоне, ширина которых ограничивалась разрешающей способностью объектива для данной длины волны. Поскольку светочувствительная система полупроводник-металл допускает использование иммерсионных объективов, линии минимальной ширины мы получили с помощью объектива-апохромата 90^x с масляной иммерсией. Числовая апертура этого объектива равна 1,30, предельная теоретическая разрешающая способность равна 0,21 мкм для длины волны 450 нм. С помощью этого объектива мы получили линии шириной 0,25 мкм.

Таким образом, ограничения, накладываемые на разрешающую способность светочувствительной системы полупроводник-металл, определяются ограничениями оптических систем и в связи с этим разрешающая способность светочувствительных систем может быть оценена более 2000 линий/мм.

ВЫВОДЫ

1. Светочувствительная система полупроводник-металл обладает разрешающей способностью свыше 2000 линий/мм.

2. Широкая область спектральной чувствительности светочувствительных систем позволяет использовать для изготовления элементов с микронными и субмикронными размерами высококачественные стеклянные микрообъективы.

ЛИТЕРАТУРА

1. K.G.Clark, R.C.Turner. J. Photogr. Sci. N 4, 7, 1969.
2. В.В. Петров, И.И. Карников. О применении неорганических фоточувствительных материалов для изготовления фотошаблонов / Гибридная вычислительная техника и электроника. К.: Наук. думка, 1972. С. 471-490.
3. М.Т. Костышин, П.Ф. Романенко. УФЖ. 17, № 2. 1972.
4. Г. Роусовн. Неорганическое стеклообразование системы. М.: Мир, 1970.
5. Shultis, Sellak. G. Ann. Phys. Chem, 139, 182, 1970.
6. Freriks J. Opt. Sos. Am., 43, 1153, 1953.
7. Freser W.A. J. Opt. Sos. Am., 43, 823, 1953.
8. S.S. Flashen, A.D. Pearson, W.R. Northover. J. Am. Ceram. 42, 450, 1959.
9. S.S. Flashen, A.D. Pearson, W.R. Northover. J. Am. Ceram. 43, 274, 1960.
10. А.А. Войполинг, Е.А. Порай-Кошиц. ФТТ. 2, 1959 (1961).
11. А.А. Войполинг, Е.А. Порай-Кошиц. ФТТ. 5, 246, 1963.
12. А.А. Войполинг, Е.А. Порай-Кошиц. ФТТ. 5, 256, 1963.
13. А.А. Войполинг, Е.А. Порай-Кошиц. ФТТ. 5, 497, 1963.
14. Н.А. Горюнова, Б.Т. Коломиец, В.П. Шило. ФТТ. 2, 280, 1960.
15. Р.Л. Мюллер, З.У. Борисова, И.И. Гребенчиков. ЖПХ. Т. 34, № 34, 1961.
16. Р.Л. Мюллер, З.У. Борисова, О.В. Ильин. ЖПХ. Т. 34, № 34, 1961.
17. Грейвер. Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. № 5, 1967.
18. Г.В. Самсонов. Физико-химические свойства элементов. К.: Наук. думка, 1965.
19. Ф.Тодт. Коррозия и защита от коррозии. Изд-во «Химия», 1966.
20. Справочник химика. Т. 2, 1964.

Способ изготовления криотронных схем

И. Д. Войтович, М. Т. Костышин, В. В. Михайловская,
В. В. Петров, И. Ф. Романенко

Авторское свидетельство СССР 305832 М. Кл. Н 05к 3/00 Опубликовано 26.X.1973, Бюллетень № 43 Заявители Институт кибернетики АН УССР и Институт полупроводников АН УССР.

Изобретение относится к области микроэлектроники и может использоваться для построения многослойных криотронных схем с элементами микронных и субмикронных размеров.

Известный способ изготовления криотронных схем состоит в том, что сверхпроводящие и изолирующие материалы напыляют в вакууме через механические маски. Этот способ прост, но не позволяет изготавливать криотронные элементы малых размеров. Известен также способ изготовления криотронов малых размеров с применением фоторезиста. В этом случае на подложку напыляют равномерный слой металла (например олова или свинца), наносят на нее фоторезист, который экспонируют через трафарет, и после удаления неполимеризовавшихся участков получают окна в фоторезисте. Травлением металла через окна получают пленки необходимой конфигурации, после чего фоторезист удаляют. С помощью фотолитографии изготавливают криотроны малых размеров, но для этого требуется большое количество технологических операций.

Цель изобретения – повысить точность изготовления схем.

Достигается это тем, что на слой сверхпроводящего материала требуемой толщины напыляют тонкий защитный слой металла (золото или серебро), на него наносят тонкий слой активного материала (например PbI_2 , As_2S_3 и др.), вступающего в химическую реакцию со слоем защитного металла только под действием света или какого-либо иного излучения, облучают полученную систему, затем удаляют травлением или каким-либо иным образом слой активного материала и продукты реакции, селективным травителем удаляют незащищенные участки сверхпроводящего материала и, если это необходимо, слой защитного металла, после чего наносят изолирующий и следующий слой сверхпроводящего материала.

На подложку или промежуточный слой нанесен слой сверхпроводящего материала (например, олова или свинца). На этот слой напыляется тонкий защитный слой из малоактивного материала, например, золота или серебра, толщиной 30–150 нм, а на него – слой активного материала, например, PbI_2 , или As_2S_3 , или вступающего в химическую реакцию с защитным слоем только под действием какого-либо излучения, например рентгеновского, или потока электронов. После облучения системы рентгеновским излучением и потоком электронов защитный слой и слой активного материала вступают в химическую реакцию в местах облучения. Удаляют травлением, сублимированием или каким-либо иным способом материал слоя активного материала и продукты реакции в местах облучения, получают защитный слой необходимой конфигурации. С помощью селективного растворителя через окна в защитном слое вытравливают незащищенные участки сверхпроводящего материала. После этого при необходимости удаляют слой защитного материала.

Предмет изобретения

Способ изготовления криотронных схем, основанный на покрытии слоя сверхпроводящего материала защитным слоем требуемой конфигурации, травлении свободных от защитного слоя участков сверхпроводящего материала и удалении защитного слоя, отличающийся тем, что, с целью повышения точности изготовления схем, защитный слой получают нанесением на сверхпроводящий материал пленки малоактивного материала, например золота или серебра, покрытием указанной пленки слоем активного материала, например PbI_2 или As_2S_3 , вступающим в химическую реакцию с малоактивным материалом под действием излучения, например рентгеновского, или потока электронов, облучают активный материал через маску и удаляют, например, травлением слой активного вещества и продукты реакции с участков, подвергнутых облучению.

Method for the Production of Films Having the Desired Configuration

I. D. Voitovich, M. T. Kostyshin, E. V. Mikhailovskaya,
V. V. Petrov, P. F. Romanenko, V. P. Skuridin

United States Patent 4042450 Int. Cl. C23F1/02 Dec. 7, 1973.

A method for the production of films having the desired geometrical form (configuration) comprising depositing an electromagnetic radiation-sensitive system, which consists of a metal layer and an inorganic compound layer capable of reacting with said metal layer and forming interaction products under the effect of electromagnetic radiation, onto a film made from a material which does not react, on being irradiated, with the layer of said system that adjoins said film; subjecting said system to selective irradiation in conformity to the desired configuration, followed by carrying out the selective etching of the irradiated system so as to obtain the requisite configuration, and thereafter using said etched system as a mask for etching selectively said film in order to impart thereto the sought-for geometrical form.

This invention relates to microelectronics and, more particularly, pertains to methods for the production of films having the desired geometrical form (configuration) such as, for example, photomasks, various components of microminiature circuits, and also diverse intricately shaped elements for optical instruments.

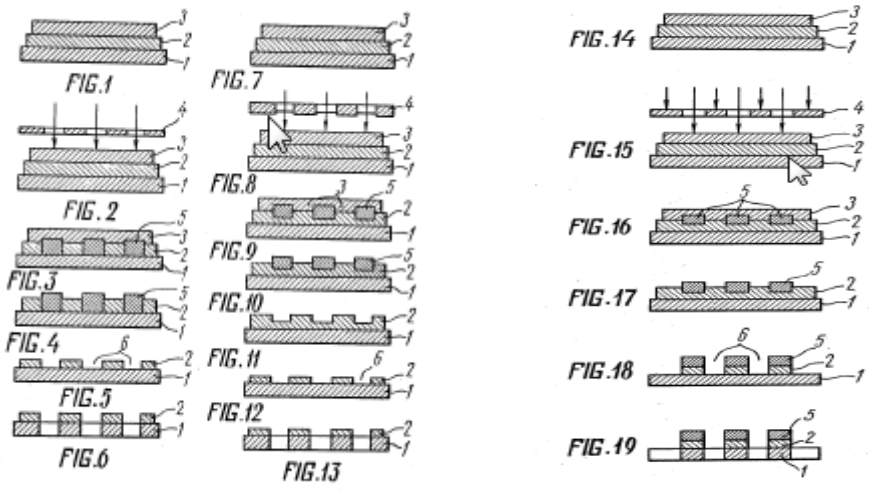
There is known a method for the production of films having the desired configuration, which comprises using an electromagnetic radiation-sensitive system consisting of a metal layer and an inorganic compound layer, said inorganic compound being capable of reacting, under the effect of irradiation, with said metal layer and forming appropriate products; subjecting said system to selective irradiation in compliance with the sought-for film configuration, and thereafter carrying out the selective etching of the irradiated system so as to obtain the desired configuration of the resultant film.

However, the known method is disadvantageous in that it makes possible to employ for making the films of desired geometrical forms only the materials that are capable of entering an active chemical reaction with one another on being irradiated, so that a wide range of materials, e.g. chromium, germanium, quartz (SiO_2) and the like, which are eminently suited for manufacturing films of the desired configuration, cannot be used for making said films by the known method, inasmuch as said materials do not react with one another under the effect of irradiation.

It is an object of the present invention to provide a method for the production of films having the desired configuration from an electromagnetic radiation-sensitive "metal-inorganic compound" system which will make it possible to obtain said films from any materials.

This object is achieved in that, according to the method of the present invention, a film (substrate), which is in a free state or securely attached to another substrate, is coated with a system sensitive to electromagnetic radiation which consists of a layer of metal and a layer of non-organic substance capable of entering into a chemical reaction with said metal under the effect of electromagnetic radiation. The resultant system is selectively irradiated in accordance with the desired configuration, the layer of non-organic substance which has not

entered into a chemical reaction with the layer of metal is removed by etching, etching is then used to remove the reaction products, and the film (substrate) is etched to obtain a useful product. Alternatively, the metal layer is etched throughout its depth below the reaction products, after the layer of the non-organic substance which has not entered into reaction with the metal and the reaction products have been removed by etching, and then the film (substrate) is etched so as to yield a useful product. In another embodiment, the etched layer of metal is removed from areas that were not irradiated, after the layer of non-organic substance which has not entered into reaction with the metal layer is removed, and the film (substrate) is etched to obtain a useful product. In other words, a system sensitive to electromagnetic radiation and consisting of a layer of metal and a layer of non-organic substance is used, according to the present method, so as to provide a protective mask as is required for etching a film (substrate), from which a useful product is manufactured. The film (substrate) may be etched throughout, or only partially, with its depth depending upon the desired depth for the relief. To manufacture microminiature circuit components, it is expedient to employ metal films. For cryotron circuits, it is preferable to use films made from superconductors. Dielectric films are preferred for making insulating layers of microminiature circuits. Semiconductor films are useful for the fabrication of microminiature circuits incorporating semiconductor components.



The method of the invention is illustrated herein below by the description of exemplary embodiments thereof with reference to the accompanying drawings, wherein FIGS. 1,2,3,4,5, and 6 illustrate a method of producing films having the desired configuration, according to the invention; FIGS. 7,8,9,10,11,12, and 13 illustrate a modification of the method of producing films having the desired configuration, according to the invention, and FIGS. 14,15,16,17,18 and 19 illustrate one more modification of the method of producing films having the desired configuration, according to the invention.

One form of the present method consists in depositing onto a film made from a suitable material, such as a metal, a semiconductor, or a dielectric, an electromagnetic radiation-sensitive system comprising a metal layer and an inorganic compound layer, said system components being capable of entering a chemical reaction with each other. Onto said film there may be deposited first a metal layer and then an inorganic compound layer, or vice versa.

In a specific example of this form of the present method, onto a metal film 1 (FIG. 1), which is free or supported on a rigid substrate, e.g. a film obtained on a dielectric substrate by vacuum evaporation, is deposited a metal layer 2, such as a silver or copper layer, and then an inorganic compound layer 3, such as an arsenic trisulphide or a lead iodide layer. To deposit the metal layer 2 and the inorganic compound layer 3 onto the film 1, use may be made of the vacuum evaporation technique. When said metal-inorganic compound system is subjected to irradiation through a template (mask) 4 whose shape conforms to the desired configuration of the film to be obtained (FIG. 2), on the irradiated areas there form products 5 (FIG. 3) of interaction between the metal layer 2 and the semiconducting material layer 3, the thickness of the metal layer 2 being selected so as to provide for the formation of the interaction products 5 through the entire depth of the metal layer 2. Next use is made of a suitable selective etchant, such as a 20% aqueous solution of Na_2CO_3 , to remove the semiconducting material layer 3 (FIG. 3) that has not interacted with the metal layer 2, followed by removing the interaction products 5 (FIG. 4) by means of a selective etchant. Then the film 1 is subjected to etching through ports 6 (FIG. 5) formed as a result of etching the interaction products 5. During this step, the metal layer 2 serves as a protective layer (mask) while the film 1 is being etched, thereby providing for the production of the film of the desired geometrical form (FIG. 6). If necessary, the metal layer 2, which functions as a mask at the step of etching the film 1, may subsequently be removed also by etching. In case the layer 2 that adjoins the film 1 (FIGs. 1, 2, 3,) has an arbitrary thickness, the method of the invention is altered (a second form of the invention) as follows. After the layer 3 and the interaction products 5 have been removed by etching (FIGs. 10 and 11), the layer 2 should be etched to a depth equal to the thickness of said layer under the interaction products 5 (FIG. 12). Next, the film 1 is etched through ports 6 (FIG. 13), said ports being formed as a result of etching the layer 2.

A third form of the present method for the production of films having the desired geometrical form is distinct from the first form in that the step of etching the layer 3 (FIGs. 14, 15, 16 and 17) is followed by removing not the interaction products 5, but the areas of the layer 3 (FIG. 18) which escaped irradiation. Then the film 1 is etched through the ports 6 formed as a result of etching the layer 3 (FIG. 19). If necessary, there may be removed the interaction products 5 and the areas of the layer 3 that are disposed under said interaction products.

The present method is advantageous in that it makes possible the production of films having the desired configuration by using diverse materials (metals, dielectrics, and semiconductors), particularly the materials which, on being irradiated, practically do not react with one another.

For example, by using the film 1 made from tin or lead in combination with the electromagnetic radiation-sensitive system consisting of silver (Ag) and arsenic trisulphide (As_2S_3), it is feasible to manufacture cryotron circuits having micron and submicron components. With the film consisting of chromium or nickel and pairs, such as silver-arsenic trisulphide, silver-arsenic pentasulphide and the like, constituting the electromagnetic radiation-sensitive system, metallized precision photomasks can be readily manufactured.

To manufacture microminiature circuits having micron or submicron components, it is expedient to use the film made from aluminium, copper and other metals in conjunction with the electromagnetic radiation-sensitive system comprising one of the following systems: silver-arsenic trisulphide, silver-lead iodide, and the like.

The present method makes it possible to manufacture from suitable materials diffraction gratings, infra-red polarizers, instrument scales, graticules, and other component of optical systems.

Insulating layers of the desired geometrical form can be manufactured from a dielectric film, e.g. a quartz film, etc., and an electromagnetic radiation-sensitive system comprising a semiconductor-metal pair.

Microminiature circuits incorporating semiconductor components lend themselves to manufacture from a semiconducting compound film by the present method.

We claim:

A method for the production of films of desired configuration comprising the steps: of coating a film, or substrate, with a system sensitive to electromagnetic radiation and consisting of a layer of metal and a layer of an inorganic substance capable of entering into a reaction with said layer of metal under the effect of electromagnetic radiation to form reaction products; irradiating the system in accordance with the required configuration; removing by etching the layer of inorganic substance that has not entered into reaction with said layer of metal; removing by etching the layer of metal in areas that have not been irradiated; and etching said film or substrate in areas that have not been irradiated.

A method as claimed in claim 1, said material of the film, or substrate, being a metal selected from the group consisting of copper, tin, lead, aluminum, chromium and nickel; the metal of the system sensitive to electromagnetic radiation being silver, and said inorganic substance being a compound selected from the group consisting of arsenic trisulfide, arsenic pentasulfide and lead iodide.

A method as claimed in claim 1, wherein the material of the film, or substrate, is a metal selected from the group consisting of copper and tin, and said inorganic substance is a compound selected from the group consisting of arsenic trisulfide and arsenic pentasulfide; comprising removing the layer of inorganic substance which has not entered into reaction with silver; removing the layer of silver, and etching the film in areas that have not been irradiated.

A method as claimed in claim 1, said system sensitive to electromagnetic radiation being applied to said film, or substrate, by successively coating the latter with a layer of inorganic substance and a layer of metal; selectively etching said system by successively removing by etching the layer of metal and the layer of non-organic substance in areas that have not been irradiated and etching the film or substrate in areas that have not been irradiated.

A method as claimed in claim 4, the material of the film, or substrate, being a metal selected from the group consisting of tin, lead, aluminum, chromium and nickel, the metal of the system sensitive to electromagnetic radiation being silver, and the inorganic substance being a compound selected from the group consisting of arsenic trisulfide, arsenic pentasulfide and lead iodide.

A method as claimed in claim 5, wherein the material of the film, or substrate, is aluminum, and the inorganic substance is a compound of arsenic trisulfide; comprising removing the layer of silver that has not entered into reaction with the layer of arsenic trisulfide removing the layer of arsenic trisulfide and etching the layer of aluminum in areas that have not been irradiated.

References Cited

U.S. PATENT DOCUMENTS

3,305,359	2/1967 Delmont	96/1	R
3,637,381	1/1972 Hallman et al	156/4	X
3,637,383	1/1972 Hallman et al	156/4	X
3,663,224	5/1972 Hallman et al	29/625	X
3,745,002	7/1973 Honjo et al	96/36.3	X
3,762,325	10/1973 Hallman et al	96/36	

О светочувствительности систем на основе стеклообразных халькогенидных полупроводников при высокой мощности облучения

В. В. Петров, А. А. Крючин

Квантовая электроника. 1974. № 12. С. 2618–2620.

При экспонировании светочувствительных материалов интенсивным лазерным излучением их светочувствительность при малых временах облучения может изменяться.

Рис. 1. Схема установки для измерения светочувствительности: 1 – лазер; 2 – затвор; 3 – ступенчатый ослабитель; 4 – ФЭУ; 5 – светофильтр; 6 – источник зондирующего излучения; 7 – микрообъектив; 8 – светочувствительный слой; 9 – измеритель мощности.

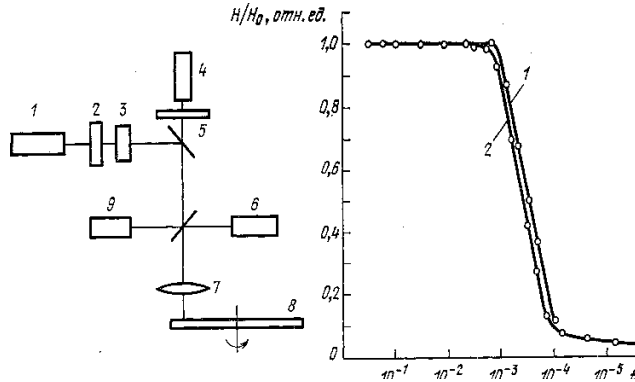


Рис. 2. Зависимость экспозиции от времени экспонирования

В последнее время большое внимание уделяется изучению светочувствительных систем на основе стеклообразных халькогенидных полупроводников [1–3]. Найдено, что для таких материалов в широком диапазоне времен экспонирования (от 10^2 до 10^{-2} с) выполняется закон взаимозаменяемости [4]. В то же время показано, что их светочувствительность сильно зависит от температуры [5]. Однако для этих систем не проводились экспериментальные исследования чувствительности и не проверялось выполнение закона взаимозаменяемости при высокой концентрации энергии.

Нами исследовано экспонирование светочувствительных систем, приготовляемых последовательным напылением на слой серебра пленки сульфида мышьяка. Для исследования взаимодействия лазерного излучения со светочувствительными системами на основе стеклообразных халькогенидных полупроводников была собрана установка, позволяющая производить измерения коэффициента отражения на разных длинах волн как непосредственно в процессе экспонирования, так и после него (рис. 1). Экспонирование осуществлялось излучением, сфокусированным микрообъективом в пятно диаметром 3 мкм, что давало возможность получить на поверхности образца максимальную плотность мощности 10^4 Вт/см² для излучения гелий-неонового лазера ($\lambda=0,6328$ мкм) и 10^5 Вт/см² для излучения аргонового лазера ($\lambda=0,4880...0,5145$ мкм).

При экспонировании излучением гелий-неонового лазера регистрация фотоиндуцированных превращений осуществлялась по изменению коэффициента отражения для длины волны экспонирующего излучения непосредственно в процессе засветки. Была получена зависимость экспозиции H , требуемой для получения определенного

изменения коэффициента отражения (коэффициент отражения изменяется от 80 до 15%), от времени экспонирования (рис. 2, кривая 1). Кривая 1 на рис. 2 построена в относительных единицах: величина экспозиции H при разных временах экспонирования t отнесена к величине экспозиции H_0 при максимальном времени экспонирования t_0 . Видно, что при временах экспонирования, больших 10^{-3} с, чувствительность слоя постоянна, т. е. выполняется закон взаимозаменяемости, что согласуется с результатами работы [4]. При временах экспонирования, меньших 10^{-3} с, светочувствительность возрастает; так при экспонировании импульсом длительностью 10^{-4} с она возрастает в 10 раз по сравнению с чувствительностью в области выполнения закона взаимозаменяемости.

Действие излучения аргонового лазера исследовалось при засветке светочувствительного слоя, перемещающегося относительно экспонирующего луча. Регистрация изменений коэффициента отражения производилась после действия экспонирующего излучения на другой длине волны ($\lambda = 0,6328$ мкм). Зависимость экспозиции, требуемой для получения определенного изменения коэффициента отражения для зондирующего излучения (от 80 до 15 %), от времени экспонирования представлена на рис. 2 (кривая 2). Кривая 2, как и кривая 1, тоже построена в относительных единицах. Отклонение от закона взаимозаменяемости начинается при времени экспонирования 10^{-3} с (это время соответствует экспонированию лучом диаметром 3 мкм светочувствительного слоя, перемещающегося со скоростью 3,0 мм/с). При времени экспонирования $7 \cdot 10^{-6}$ с чувствительность материала к излучению аргонового лазера в 30 раз выше, чем в области выполнения закона взаимозаменяемости.

Причиной отклонения от закона взаимозаменяемости при экспонировании светочувствительных систем на основе халькогенидных полупроводников при малых временах облучения может являться локальный нагрев в месте экспонирования. Изменение температуры светочувствительного слоя под действием экспонирующих импульсов лазерного излучения составляет 80...140 °С, т. е. в процессе экспонирования достигается температура, при которой светочувствительная система имеет более высокую чувствительность. В диапазоне температур 50...170 °С светочувствительность системы на основе стеклообразного сульфида мышьяка, на которой проводились исследования, увеличивается в 20 раз [5]. Кроме того, отклонение от закона взаимозаменяемости начинается при одном и том же времени экспонирования, т. е. не зависит от длины волны экспонирующего излучения, а определяется теплофизическими параметрами светочувствительной системы и мощностью излучения, поглощаемого пленкой. Таким образом, светочувствительность систем на основе стеклообразных халькогенидных полупроводников при экспонировании короткими импульсами лазерного излучения (10^{-4} ... 10^{-6} с) увеличивается в десятки раз, в то время как чувствительность галогенидосеребряных эмульсий [6] и ряда других светочувствительных материалов в этом диапазоне уменьшается.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Т. Костышин, Е. В. Михайловская, П. Ф. Романенко. ЖПС, 7, 410 (1967).
2. Y. Asahara, T. Izumitani. Japan. J. Appl. Phys., 11, 1748 (1972).
3. I. Shimizu, H. Sakuma, H. Kokado, E. Inoue. Photo. Sci. Eng., 16, 271 (1972).
4. М. Т. Костышин, П. Ф. Романенко, Е. П. Красноженов. Журнал научной и прикладной фотографии и кинематографии, 16, 199 (1971).
5. М. Т. Костышин, П. Ф. Романенко. В сб. «Оптическая и электрооптическая обработка информации». М., 1972. С. 61.
6. N. Cramenopoulos, E. D. Hartfield. Appl. Optics, 11, 2778 (1972).

Исследование защитных и химических свойств неорганических фоторезистов

В. В. Петров, В. М. Кудюмова

Материалы IV Всесоюзной конференции «Однородные вычислительные системы и среды». Киев : Наукова думка, 1975. Ч. 3. С. 115–116.

В настоящее время фотолитография является одним из основных процессов полупроводниковой технологии. Изображение на подложках получают используя, главным образом, органические светочувствительные композиции (фоторезисты). Жидкие фоторезисты различного назначения выпускаются в СССР, США, Англии, ФРГ и других странах. Фоторезисты наносятся на подложку различными способами: погружением, центрифугированием пульверизацией, накатыванием роликом и т. д. Нанесенный слой нестойк к воздействию условий окружающей среды и травителей, имеет плохую адгезию, в связи с чем требуется большое время сушки.

Перечисленные недостатки жидких фоторезистов заставили искать иные пути в развитии фотолитографии. Был предложен технологический процесс, основанный на применении светочувствительной системы полупроводник–металл. В качестве вещества с полупроводниковыми свойствами целесообразно применять халькогенидные стекла, обладающие химической стойкостью и высокими защитными свойствами в тонких слоях по отношению к ряду травителей. Компонентами такой светочувствительной системы являются неорганические материалы: пленка металла и пленка халькогенидного стекла (например, As_2S_3 , As_2Se_3 и др.). Основные преимущества неорганических светочувствительных систем (неорганических фоторезистов) состоят в следующем:

- 1) нанесение пленок производится вакуумным напылением, что исключает влияние окружающей среды;
- 2) исключается целый ряд таких трудно контролируемых технологических операций, как центрифугирование, сушка, задубливание фоторезиста и т. д.;
- 3) экспонирование производится светом в видимой области спектра и т. д.

В данной работе исследованы защитные свойства пленок неорганических фоторезистов и изменение их химических свойств в процессе экспонирования.

В результате проведенных исследований установлено, что в процессе диффузии металла в пленку халькогенидного стекла происходит уменьшение растворимости этой халькогенидной пленки в щелочных растворах, что согласуется с выводами З. У. Борисовой по отношению к массивным халькогенидным стеклам. Однако в отличие от массивных образцов в тонких пленках халькогенидных стекол может содержаться до 50 весовых процентов легирующего металла. Так, растворимость пленок халькогенидных стекол $As_2S_3Ag_x$ в растворах NaOH различной концентрации экспоненциально уменьшается, и при $x = 1,5$ тонкая пленка халькогенидного стекла практически не растворяется в щелочах любой концентрации. Аналогичные исследования проводились для халькогенидных стекол, легированных медью, никелем и другими металлами. Результаты данной работы позволяют определить оптимальные соотношения толщин металлической и халькогенидной пленок в светочувствительной системе.

Активированная светом реактивная диффузия металла в пленку сульфида мышьяка

(представлено академиком Б. Е. Патоном)

В. В. Петров, А. А. Крючин

Доклады Академии наук СССР. 1976. Т. 230, № 2. С. 326–328.

Фоторазложение в халькогенидах известно давно [1], и в виде тонких пленок они используются в качестве светочувствительных материалов [2]. Нанесение тонких халькогенидных пленок на металлические подложки или пленки приводит к увеличению их светочувствительности [3] и резкому изменению физико-химических свойств в связи с диффузией металла в халькогенидные пленки [4]. Целый ряд фактов при этом процессе: большая глубина диффузии, равномерное распределение продиффундировавшего металла указывает на необычный характер процессов диффузии металлов в халькогенидные пленки [5].

В настоящее время имеются качественные описания процессов, происходящих в рассматриваемых светочувствительных материалах [6,7] при их облучении. Для выяснения физических процессов, идущих в халькогенидных пленках в результате облучения светом и последующей диффузии металла в них, целесообразно провести количественное исследование процесса диффузии. При выборе метода исследования следует учитывать, что халькогенидные пленки чувствительны к облучению светом, рентгеновским излучением и потоком электронов, а толщина пленки, в которой происходят фотохимические превращения, мала и составляет 0,02–0,1 мкм. Поэтому нами для исследования процесса диффузии был выбран метод прямого взвешивания исследуемой пленки на кварцевых резонансных микровесах, исключающий активное воздействие на вещество пленки. В качестве подложек для исследуемых пленок использовались кварцевые резонаторы с частотой 3,4 МГц.

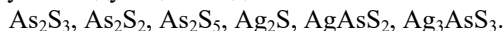
Для количественного исследования процесса диффузии были выбраны пленки As_2S_3 и Ag, так как система As–S–Ag – одна из наиболее подробно исследованных среди тройных халькогенидных систем. Количество серебра, продиффундировавшего в халькогенидную пленку, определялось следующим образом. На кварцевый резонатор наносили халькогенидную пленку и полупрозрачную пленку серебра заданной толщины. После облучения непродиффундировавшее серебро удалялось химическим травлением и по разности масс определялось количество серебра, продиффундировавшего в халькогенидную пленку. Исследования показали, что количество продиффундировавшего серебра увеличивается с увеличением времени облучения, достигая некоторого конечного значения. Такой характер диффузии может указывать на образование в результате диффузии нового химического соединения. В табл. 1 приведены усредненные конечные значения количества продиффундировавшего серебра в пленки As_2S_3 различной толщины.

Зная соотношение между компонентами в облученной системе, попытаемся сделать вывод о соединениях, образующихся в результате облучения. Проведенные ранее исследования по определению соединений, образующихся при облучении светом в системе As_2S_3 –Ag, показали, что происходит образование соединений Ag_2S и As_2S_2 [8], т. е. в этом случае количество продиффундировавшего серебра составляет 46,5 % веса пленки сульфида мышьяка.

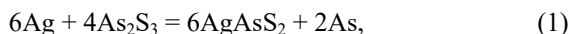
Таблица 1. Соотношения между реагирующими компонентами в светочувствительной системе

Вес напыленного сульфида мышьяка, 10^{-6} г	Вес напыленного серебра, 10^{-6} г	Вес стравленного серебра, 10^{-6} г	Количество серебра, продиффундировавшего в пленку полупроводника по отношению к ее весу, %
3,20	8,00	5,97	63,4
6,40	16,00	11,57	66,5
12,80	32,00	23,50	66,4
19,20	48,00	35,70	64,2

Так как эти исследования проводились с помощью рентгеновского микроанализатора, то система подвергалась воздействию потока электронов с высокими энергиями, что могло привести к изменению состава. Известно, что в системе As-S-Ag существуют следующие соединения:



На рис. 1 представлена диаграмма системы As-S-Ag с нанесенными на ней известными устойчивыми соединениями. Реакция в системе As_2S_3 -Ag идет по линии, соединяющей As_2S_3 и Ag. Но эта линия не пересекает ни одного из соединений, отмеченных на диаграмме, что свидетельствует об образовании нескольких соединений. Точкой A на этой прямой отмечен образовавшийся в результате облучения продукт реакции, содержащий 39,9 вес. % серебра. Наиболее близко к точке A расположена точка, соответствующая соединению AgAsS_2 , которое в кристаллическом состоянии известно под названием смитит. Если предположить, что идет следующая реакция, удовлетворяющая найденному нами процентному соотношению, с образованием соединения AgAsS_2 :



то в такой реакции должен образовываться металлический мышьяк, что согласуется с данными работы [6].

Для подтверждения предположения о том, что в результате облучения системы As_2S_3 -Ag образуется соединение AgAsS_2 , используем вместо полупроводника As_2S_3 халькогенидное стекло с таким соотношением серы и мышьяка, которое при взаимодействии с серебром образовывало бы линию реакции, пересекающую точку, соответствующую этому соединению. Как видно из диаграммы, таким стеклом должно быть халькогенидное стекло, соответствующее составу: 33 ат. % As и 67 ат. % S ($\text{As}_{33}\text{S}_{67}$). Определение процентного соотношения между реагирующими компонентами в светочувствительной системе As_2S_3 -Ag показало, что продукт фотохимической реакции содержит 42,9 вес. % серебра, т. е. соответствует соединению AgAsS_2 .

Таким образом, можно считать установленным, что в результате облучения светом пленки сульфида мышьяка происходит реактивная диффузия серебра в эту пленку с образованием соединения AgAsS_2 и металлического мышьяка. Этим объясняется

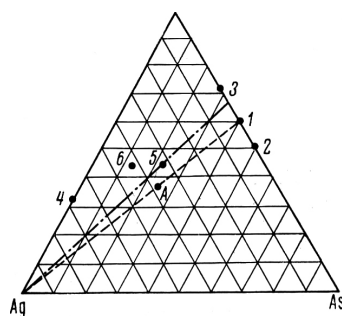


Рис. 1. Диаграмма системы As-S-Ag: 1 - As_2S_3 , 2 - As_2S_2 , 3 - As_2S_5 , 4 - Ag_2S , 5 - AgAsS_2 , 6 - Ag_3AsS_3

равномерное распределение серебра, продиффундировавшего в пленку полупроводника. Аналогичный характер имеет диффузия меди и никеля и некоторых других металлов в халькогенидные пленки в результате облучения светом или другим активным излучением.

Полученный результат позволяет также объяснить нестабильность образующейся в результате облучения халькогенидной пленки в системе As_2S_3-Ag . В соответствии с (1), в такой системе в результате экспонирования образуется металлический мышьяк, который, медленно окисляясь, изменяет физико-химические свойства этой трехкомпонентной халькогенидной пленки.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. Уклонский. ДАН. Т. 32, № 3, 210 (1941).
2. J. S. Berkes, S. W. Ing, W. J. Hillegas/ J. Appl. Phys. V. 42, № 12, 4908 (1971).
3. М. Т. Костышин, Е. В. Михайловская, П. Ф. Романенко. ФТТ. Т. 9, № 2, 571 (1966).
4. В. В. Петров, И. И. Карпиков. В сб.: Гибридная вычислительная техника и электроника. Киев : Наукова думка, 1972. С. 471.
5. I. Shimizu, H. Kokado, E. Inoue. Chem. Letters. V. 3, № 1, 15 (1973).
6. П. Ф. Романенко. Автореф. канд. дисс., Киев, 1972.
7. М. Т. Костышин и др. Квантовая электроника. Т. 2, № 9, 2033 (1975).
8. A. Matsuda, M. Kikuchi. Suppl. J. Japan. Soc. Appl. Phys. V. 42, 239 (1973).

Светочувствительный материал

В. В. Петров, А. А. Крючин, Т. П. Дорошенко

Авторское свидетельство СССР 725358 МПК С03С1/72 Заявлено
02.06.1978. Заявитель Институт электродинамики АН Украинской ССР.

Изобретение относится к светочувствительным материалам, которые используются для записи информации в оптических запоминающих устройствах.

Известен светочувствительный материал, состоящий из подложки и полупроводниковых поглощающего слоя, выполненного из Bi или In, или Sn, толщиной 100–1000 Å и просветляющего слоя, выполненного из трисульфида висмута или трисульфида сурьмы, или Se, толщиной 100–1000 Å [1].

Недостатком указанного светочувствительного материала является то, что он имеет неудовлетворительную разрешающую способность.

Целью предлагаемого изобретения является повышение разрешающей способности материала.

Поставленная цель достигается, тем, что количество пар – поглощающий слой – просветляющий слой составляет от 2 до 8, при этом толщина каждого слоя составляет 90–20 Å, поглощающий слой выполнен из As или Ge, или Ga, или Si, или Sb, или Pb, или Te, или Tl, или Bi, или In, или Sn, а просветляющий слой выполнен из окислов или халькогенидов As, или Bi, или Si, или Ga, или In, или Si, или Sn, или Pb, или Ge или Tl, или S, или Se, или метилсилоксана или этилсилоксана.

Пример 1.

На стеклянную подложку в вакууме при давлении $2 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст. методом термического испарения последовательно наносят пленку Ge толщиной 80 Å, потом на нее пленку As₂S₃ толщиной 20 Å затем продолжают наносить пары пленок Ge и As₂S₃. Всего наносят 5 пар пленок. Полученный светочувствительный материал предназначен для регистрации двоичных сигналов. Запись информации на полученном тонкопленочном светочувствительном материале осуществляют путем локального испарения слоев Ge и As₂S₃ в точке фокусировки излучения. Неровность края на сплошной дорожке со средней шириной 1,5 мкм составляет 0,2–0,3 мкм.

Примеры 2–12.

Образцы светочувствительного материала готовят и эксплуатируют аналогично материалу, описанному в примере 1, изменяя лишь качественный состав слоев, их толщину и число пар слоев. Полученные результаты даны в таблице.

Пример 13.

На стеклянную подложку в вакууме при давлении $2 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст. методом термического испарения наносят пленку Bi толщиной 50 Å а потом на нее наносят с помощью электронного облучения пленку этилсилоксана толщиной 90 Å, затем продолжают наносить пары пленок Bi и этилсилоксана. Всего наносят 6 пар пленок. Экспонирование материала осуществляют также и в примере 1. Неровность края на сплошной дорожке со средней шириной 1,5 мкм составляет 0,2 мкм.

Пример 14.

Светочувствительный материал готовят и экспонируют аналогично материалу, описанному в примере 13. Данные о составе слоев, толщине и количестве, а также результаты испытаний даны в таблице.

Как следует из таблицы, предложенный материал обладает более высокой разрешающей способностью по сравнению с прототипом.

Пример	Поглощающий слой		Просветляющий слой		Число пар	Неровность края дорожки, мкм
	Состав	Толщина Å	Состав	Толщина Å		
1	Ge	80	As ₂ S ₃	20	5	0,2-0,3
2	Te	40	SiO	50	6	0,2-0,3
3	In	50	GeO	50	4	0,2-0,3
4	Sb	30	As ₂ Se ₃	60	6	0,2-0,3
5	Tl	30	GeO	50	4	0,2
6	Ga	90	SnO	30	2	0,2
7	Sn	70	As ₂ Te ₃	30	3	0,2
8	Ge	40	As ₂ Se ₃	60	4	0,2
9	Si	50	SnO	50	5	0,2
10	Sb	40	GeO	40	5	0,2
11	As	60	PbS	50	3	0,2
12	Pb	50	As ₂ Se ₃	40	5	0,2
13	Bi	50	этил- силоксан	90	6	0,2
14	As	20	метил- силоксан	50	8	0,2
Прототип	Bi	1000		300	1	0,4-0,5

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Светочувствительный материал, состоящий из подложки, и полупроводниковых поглощающего и просветляющего слоев, отличающийся тем, что, с целью повышения разрешающей способности, количество пар поглощающего и просветляющего слоев составляет 2–8, а толщина каждого слоя составляет 90–20 Å при этом поглощающий слой выполнен из As или Ge, или Ga, или Si, или Sb, или Pb, или Te, или Tl, или Bi, или In, или Sn, а просветляющий слой выполнен из окислов или халькогенидов As, или Bi, или Si, или Ga, или In, или Si, или Sn, или Pb, или Ge или Tl, или S, или Se, или метилсилоксана, или этилсилоксана.

Источники информации, приняты во внимание при экспертизе:

1. Заявка ФРГ № 2514678 кл. G11 B7/24, опублик. 1975 (прототип).

Process for Producing Material Sensitive to Electromagnetic and Corpuscular Radiation (Abstract)

V. V. Petrov, A. A. Kryuchyn

United States Patent 4,234,625 Int. Cl. G031 5/00 Nov. 18, 1980. (Национальная заявка № 465259/18-25. Способ изготовления радиационно-чувствительного материала со слоистой структурой для регистрации и хранения информации. Заявлено 16.03.1977. Авторское свидетельство СССР3646770).

A process of producing a material sensitive to an electromagnetic and corpuscular radiation involves successively depositing, onto a transparent substrate, a layer of a semiconductor, a barrier layer inert to the semiconductor layer and a layer of a metal capable of reacting with the semiconductor layer under the effect of the electromagnetic and corpuscular radiation with the formation of the reaction products. After deposition of the metal layer, there is performed annealing at a temperature equal to or exceeding the temperature of diffusion of the material of the barrier layer into the material of the layers adjacent thereto. The annealing is conducted for a period sufficient for a partial or a complete dissolution of the barrier layer.

SUMMARY OF THE INVENTION

In accordance with the present invention, after deposition of a metal layer, annealing is conducted at a temperature equal to or exceeding the temperature of diffusion of the material of the barrier layer into the material of at least one of the adjacent layers for a period sufficient for a partial or complete dissolution of the barrier layer. To produce a material with the maximum sensitivity, it is advisable to perform the annealing to the complete dissolution of the barrier layer.

In certain cases, to obtain the desired shape of the exposure characteristic and sensitivity, it is advisable to perform the annealing to a partial dissolution of the barrier layer.

Known in the art is a process for producing a material sensitive to a corpuscular or electromagnetic irradiation consisting in the following steps: application, onto a substrate, of a metal layer, deposition of a semi-conductive substance on the metal layer; said semi-conductive substance being capable of interaction, under the influence of an actinic irradiation, with the metal layer to form the interaction products having physical and chemical properties different from physical and chemical properties of the metals layer and the layer of said semi-conducting substance.

The material produced by this process has a high contrast value within the range of from 10 to 20 (ratio of the reflection coefficient of a non-irradiated material to the reflection coefficient of the irradiated material) though only upon exposure from the semi-conductive layer side.

However, in this material the semiconductive layer is non-protected from the influence of external mechanical effects (contamination with dust particles, scratches) which results in distortion of the information recorded on the material. It is known that the effective protection of a material sensitive to an electromagnetic and corpuscular irradiation as well as of the information recorded thereon may be ensured by recording and reading-out the information through a transparent medium with a thickness substantially greater than a depth of focus of a system of the image formation. A transparent substrate can serve as such medium. In the above-described process for producing a material sensitive to a electromagnetic and

corpuseular irradiation, a metal layer is deposited, from the substrate side. The changed sequence of application of semi-conductive and metallic layers causes certain difficulties which are due to the fact that upon spraying, onto the semi-conductive layer, of a metal layer there is observed a substantial increase in the effective temperature of the semi-conductive layer resulting in diffusion of a metal into the semi-conductive layer during the material manufacture. This imposes certain restrictions on the range of semi-conductive compounds and metals employed to those having the heat of formation of new compounds exceeding the amount of heat evolved during the material manufacture. Semi-conductive compounds and alloys of the type As-S, As-Se, As-S-Se, Sb-S, Sb-S-Se, enabling the production of a material with a high sensitivity cannot be practically employed in the above-described process. Also known in the art is a process for producing a material sensitive to an electromagnetic and corpuseular irradiation comprising deposition, onto a transparent substrate, of a layer of a semi-conductive material, spraying of a barrier layer onto the semi-conductive material layer which barrier is inert in respect of the semi-conductor layer and deposition, onto said barrier layer, of a layer of a metal capable of chemically reacting, under the influence of electromagnetic or corpuseular irradiation, with the layer of semiconductor with the formation of the reaction products having chemical and physical properties differing from those of the metal layer and semiconductor layer (cf. U.S. patent application Ser. No. 651139 of Jan. 21, 1976).

This process enables the manufacture of materials sensitive to electromagnetic and corpuseular irradiation, wherein as a material for the semiconductor layer use can be made of a broad range of semiconductive substances. However, these materials possess a lowered sensitivity due to the presence of a barrier layer between the layers of a semiconductive substance and metal.

It is the principal object of the present invention to provide a process for producing a material sensitive to an electromagnetic and corpuseular irradiation which ensures that the material thus prepared simultaneously possesses a high contrast value and a high sensitivity.

It is another object of the present invention to provide a process which makes it possible to employ a wide range of semiconductive compounds for the manufacture of a material sensitive to an electromagnetic and corpuseular irradiation. Still another object of the present invention is to provide a process enabling preparation of a material with an exposure characteristic of a predetermined shape. These objects are accomplished by a process for the production of a material sensitive to an electromagnetic and corpuseular irradiation which comprises the steps of deposition, onto a transparent substrate, of a layer of a semiconductive material followed by deposition of a barrier layer which is inert with respect to the semiconductive layer onto the latter; spraying, onto said barrier layer, of a layer of a metal capable of chemically reacting with the semiconductive layer under the influence of said electromagnetic and corpuseular irradiation with the formation of the reaction products which have physical and chemical properties different from those of the metal layer and semiconductive layer. In accordance with the present invention, after deposition of a metal layer, annealing is conducted at a temperature equal to or exceeding the temperature of diffusion of the material of the barrier layer into the material of at least one of the adjacent layers for a period sufficient for a partial the barrier layer.

To produce a material with the maximum sensitivity, it is advisable to perform the annealing to the complete dissolution of the barrier layer. In certain cases, to obtain the desired shape of the exposure characteristic and sensitivity, it is advisable to perform the annealing to a partial dissolution of the barrier layer. It is also advisable, to retain the unchanged band of the spectral sensitivity of the material, to perform dissolution of the barrier layer only in the metal layer. In this case, prior to the deposition of a barrier layer, a protecting film is

applied onto the semiconductive layer which film acts as an anti-diffusion barrier between said layers. To stabilize the performances of the semiconductive layer (produce a more uniform structure of the semiconductive layer) in the case where it is produced from such materials as As-S, As-Se, Sb-S, Sb-Se, S-Se, As-S-Se, it is possible to perform annealing of the material at a temperature equal to 0.7-0.9 of the vitrification temperature of the semiconductive layer substance.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

The present invention is further illustrated by the description of its embodiments and the accompanying drawings, wherein:

FIG. 1 is a cross-sectional view, in elevation, showing a material sensitive to an electromagnetic or corpuscular irradiation in the manufacture stage prior to the annealing operation;

FIG. 2 is a cross-sectional view, in elevation, showing a material sensitive to an electromagnetic and corpuscular irradiation after annealing to a partial dissolution of the barrier layer, elevation view;

FIG. 3 is a cross-sectional view, in elevation, showing a material sensitive to an electromagnetic and corpuscular irradiation after annealing to a complete dissolution of the barrier layer, and

FIG. 4 is a cross-sectional view, in elevation, showing a material sensitive to an electromagnetic and corpuscular irradiation with a protective layer.

What is claimed is:

1. A process of producing a material sensitive to electromagnetic and corpuscular radiation comprising the following steps: depositing, onto a transparent substrate, a layer of a semiconductive material; depositing, unto said layer of the semiconductive material, a barrier layer inert to the layer of the semiconductive material; depositing, unto said barrier layer, a layer of a metal capable of chemically reacting with said semiconductive layer under the effect of said electromagnetic and corpuscular radiation with formation of reaction products having physical and chemical properties different from those of said metal layer and semiconductive layer; annealing of the resulting laminated structure at a temperature at least equal to the temperature of diffusion of the material of said barrier layer into the material of at least one of said layers adjacent thereto, said annealing step being conducted for a period of time sufficient for at least partial dissolution of said barrier layer and prior to the exposure of the material to radiation.

2. A process as claimed in claim 1, wherein said annealing step is conducted to a complete dissolution of said barrier layer.

3. A process as claimed in claim 1, wherein prior to the step of depositing said barrier layer onto said semiconductive layer, there is carried out the further step of applying a protective layer which performs the function of an antidiffusion barrier between said barrier and semiconductive layers.

4. A process as claimed in claim 1, wherein said semiconductive layer is made of a substance selected from the group consisting of As-S, As-Se, Sb-S, Sb-Se, As-S-Se, Sb-S-Se; and said annealing step is conducted at a temperature equal to 0.7-0.9 of the vitrification temperature of the substance of said semiconductive layer.

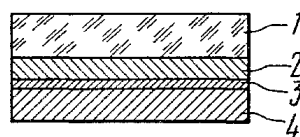


Fig. 1

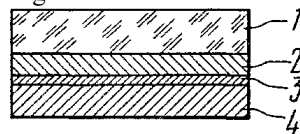


Fig. 2

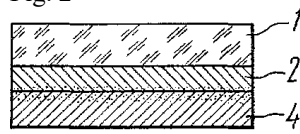


Fig. 3

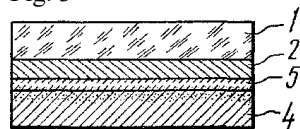


Fig. 4

Носитель информации для оптического запоминающего устройства

В. В. Петров, А. А. Крючин, Г. Ю. Юдин

Авторское свидетельство СССР № 886050 МПК G11C13/04. Опубликовано 30.11.81. Бюллетень 44. Заявители Институт электродинамики АН УССР и Опытное конструкторско-технологическое бюро Института металлофизики АН УССР.

Изобретение относится к записи и хранению информации, а именно к носителям информации для регистрации информации оптическим излучением, и может быть использовано, например, в оптических запоминающих устройствах с побитовой записью информации.

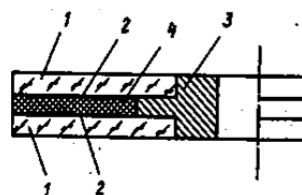
Известен носитель информации для оптического запоминающего устройства, состоящий из подложки, нанесенного на подложку регистрирующего слоя, испаряемого при записи и расположенного над регистрирующим слоем защитного прозрачного экрана, предохраняющего поверхность регистрирующего покрытия от загрязнения пылевыми частицами и не допускающего распространения паров испаряемого материала в процессе записи [1].

Недостатком такого носителя информации является снижение объемной плотности записи информации, которое становится особенно ощутимым при создании банков данных с использованием большого числа таких носителей. Известен также носитель информации оптического запоминающего устройства, состоящий из регистрирующих слоев, расположенных на двух кольцевых прозрачных подложках, обращенных друг к другу поверхностями с регистрирующими слоями. Воздушный промежуток между подложками образовался благодаря двум кольцевым прокладкам, расположенным в центре и на периферии подложек. Запись и считывание информации производится на таком носителе через прозрачную подложку [2].

Для обеспечения высокой чувствительности носителя информации в качестве материала регистрирующего слоя, испаряемого при записи, используются простые вещества, соединения и сплавы, имеющие низкие температуры плавления, такие как висмут, теллур, сурьма, сплавы теллура с германием, мышьяком, селеном и др. Такие материалы в тонкопленочном состоянии не обладают высокой механической прочностью и адгезией к подложкам, что снижает надежность хранения информации на носителе, в котором в качестве регистрирующего покрытия используются материалы с низкими температурами плавления.

Цель изобретения – повышение надежности хранения информации на носителе информации и его механической прочности.

Поставленная цель достигается тем, что в носитель информации для оптического запоминающего устройства, содержащий первую и вторую стеклянные подложки, на каждой из которых размещен регистрирующий слой, введен размещенный между регистрирующими слоями защитный слой из материала, инертного по отношению к материалу регистрирующего слоя, и имеющего температуру плавления ниже температуры плавления материала регистрирующего слоя. В качестве материала защитного слоя может использоваться воск, полистирол, полиметилакрилат, поливинилацетат.



На чертеже показан носитель информации, разрез. Носитель содержит стеклянные подложки 1, регистрирующие слои 2, кольцевую прокладку 3 и защитный слой 4.

При записи информации основная часть излучения поглощается в тонком регистрирующем слое 2 и происходит его локальное расплавление, частично расплавляется также и материал защитного слоя 4, расположенного в промежутке между подложками 1. За счет сил поверхностного натяжения и сил вязкого трения происходит частичное вытеснение материала регистрирующего слоя из зоны облучения и заполнения ее материалом защитного слоя, расположенного между подложками, что приводит к изменению коэффициента отражения в месте записи, но вместе с тем сохраняет целостность регистрирующего слоя. Тем самым повышается стабильность записанной информации, по сравнению с информацией, записанной на пленке, состоящей после записи из отдельных участков, оставшихся после локального испарения.

Дополнительным преимуществом предлагаемого носителя, по сравнению с известным является также повышение общей механической прочности носителя, что позволяет уменьшить толщину стеклянных подложек и общую высоту носителя, а следовательно, повысить объемную плотность записи информации.

Толщина прозрачных подложек, например стеклянных подложек, в предлагаемом носителе информации, обеспечивающая защиту записанной информации от влияния загрязнения пылевыми частицами, составляет 1,5–4 мм, а расстояние между подложками, при котором исключается влияние излучения при записи на другой диск и обеспечивается достаточная механическая прочность носителя информации, составляет 1–4 мм.

В качестве материала регистрирующего слоя целесообразно использовать для получения высокой чувствительности материалы с низкими температурами плавления (300–500 °С), такие как теллур, висмут, сплавы теллура с алюминием, селеном, мышьяком. Толщина регистрирующего слоя, обеспечивающая высокую чувствительность, резкое изменение коэффициента отражения (в 6–8 раз) и высокую разрешающую способность, должна составлять 200–600 Å. В качестве материала, заполняющего промежуток между прозрачными подложками, целесообразно использовать воск, поливинилацетат, полиметилакрилат, полистирол.

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

1. Носитель информации для оптического запоминающего устройства, содержащий первую и вторую стеклянные подложки, на каждой из которых размещен регистрирующий слой, отличающийся тем, что с целью повышения надежности хранения информации и механической плотности носителя, в него введен размещенный между регистрирующими слоями защитный слой из материала, инертного по отношению к материалу регистрирующего слоя, и имеющего температуру плавления ниже температуры плавления материала регистрирующего слоя.

2. Носитель по п. 1, отличающийся тем, что защитный слой выполнен из воска.

3. Носитель по п. 1, отличающийся тем, что защитный слой выполнен из полистирола.

4. Носитель по п. 1, отличающийся тем, что защитный слой выполнен из полиметилакрилата.

5. Носитель по п. 1, отличающийся тем, что защитный слой выполнен из поливинилацетата.

Источники информации, принятые во внимание при экспертизе:

Патент Франции № 2393394 кл. С 11 В 7/24, опублик. 1979.

IEEE Journ. of Quntum Electronics, 1977, Vol.13, № 9, p. 15 (прототип).

Radiation-sensitive Material and Method for Recording Information on Radiation-sensitive Material (Abstract)

V. V. Petrov, A. A. Kryuchyn

United States Patent 4,314,256 Int. Cl. G01D 15/34 Feb. 2, 1982. (Нац. заявка № 2317526/23-04. Светочувствительный материал. Заявлено 30.01.1976. Авторское свидетельство 764501).

A radiation-sensitive material comprising a metallic layer, an inorganic material layer, and a separation layer disposed between the metallic layer and the inorganic material layer and made from a material inert relative to these layers. The thickness of the separation layer is sufficient to interaction between the metallic layer and the inorganic material layer when said radiation material is exposed to actinic radiation having a power density lower than a threshold value required for causing a local breakdown of the separation layer. A method for recording information on a radiation-sensitive material of the above type, comprising irradiation of said material by pulses of electromagnetic or corpuscular radiation of a duration from 10^{-6} to 10^{-8} s with the energy density in the area exposed to radiation being not less than $5 \cdot 10^{-2}$ J/cm², said pulses being capable of producing between the metallic layer and the inorganic material layer in the exposed area of the radiation sensitive material a potential difference so as to cause an electric breakdown of the separation layer in said area.

SUMMARY OF THE INVENTION

The principal object of this invention is to provide a radiation-sensitive material enhancing the reliability of storing recorded information.

Another object of the present invention is to provide a method for recording information on the radiation-sensitive material.

Still another object of the present invention is to enhance the fidelity of reading out recorded information.

A further object of the present invention is to reduce consumption of energy required for recording information.

This and other objects of the invention are attained in a radiation-sensitive material incorporating a metallic layer made from silver, or copper, or nickel, or thallium or their alloys, an inorganic material layer made from arsenic chalcogenide, or antimony chalcogenide, or bismuth chalcogenide, and a separation layer disposed between the metallic layer and the inorganic material layer, and made from a material inert to these layers, wherein, according to the invention, the separation layer has a thickness sufficient for preventing the metallic layer from interacting with the inorganic material layer when the radiation-sensitive material is exposed to electromagnetic or corpuscular radiation having an energy density lower than a threshold value required for a local breakdown of the separation layer. The presence of the separation layer in the radiation-sensitive material for recording binary information improves the reliability of storing recorded information which is not masked by the incident radiation because the separation layer serves as a "barrier" which can be destroyed only by pulses having a sufficient energy to do so.

It is expedient that the separation layer be 50 to 300 Å thick and made from As, or Sb, or Si, or Ge, or their oxides, or metallic oxides of such metals as Al, Ti, V, Fe or polyorganosiloxane films.

An alternative embodiment of the radiation-sensitive material is also possible, wherein the separation layer is from 20 to 100 Å thick and comprises a metal of a secondary subgroup of the third group, or of a secondary subgroup of the fourth group, or of a secondary subgroup of the fifth group, or of a secondary subgroup of the sixth group of the periodic system, or one of the platinum metals, or bismuth.

This and other objects of the invention are also attained in a method for recording information on a radiation-sensitive material incorporating a metallic layer, an inorganic material layer and a separation layer disposed between said layers comprising actinic irradiation of the radiation-sensitive material, wherein according to the invention said irradiation is effected by electromagnetic or corpuscular radiation pulses of a duration from 10^{-6} to 10^{-8} sec, with the energy density in the Urea exposed to radiation being not less than $5 \cdot 10^{-2}$ J/cm² so as to produce in said area of the radiation-sensitive material between the metallic layer and the inorganic material layer a potential difference capable of causing an electric breakdown of the separation layer in said area.

Recording information by the electric breakdown of the separation layer makes it possible to utilize as information carriers such radiation-sensitive materials the separation layer of which, has a sufficient thickness to prevent the interaction between the other layers which it separates, thereby precluding distortion of the recorded information during a long-term storage thereof when the material is impinged upon by an actinic radiation having an energy density lower than a threshold value sufficient for causing a local destruction of the separation layer, i.e. by direct or incident sun light.

It is expedient that the information be recorded by pulses of electromagnetic or corpuscular radiation of a duration from 10^{-6} to 10^{-8} s, with the energy density in the area exposed to radiation being not lower than $5 \cdot 10^{-2}$ J/cm². Recording information by such pulses makes it possible to quickly and reliably record and reproduce information with a high degree of fidelity. A long-term storage of the information recorded by such pulses is also possible provided the information carrier is exposed to actinic radiation having an energy density lower than $5 \cdot 10^{-4}$ w/cm².

The proposed method of recording information on a radiation-sensitive material and the radiation-sensitive material for carrying out this method improve the reliability of storing the recorded information. The proposed technical solution also enhances the fidelity of reading out the information as well as reduces energy consumption for recording.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWING

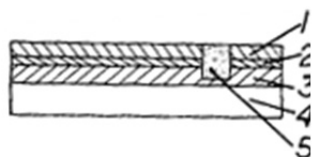


FIG. is a cross-sectional view of a radiation-sensitive material according to the invention.

For carrying out the proposed method of recording information there was utilized a material comprising a support backing 4, a metallic layer 1, a separation layer 2 and an inorganic material layer 3. Breakdown of the

separation layer 2 creates conditions for interaction between the metallic layer 3 and the inorganic material layer 1, resulting, in the formation of an interaction product 5 between said layers, said interaction product having physical and chemical properties different from those of the metallic layer and of the inorganic material layer, which causes the reflection factor of the exposed area of the material to change.

We claim:

1. A method for recording information on a radiation-sensitive material comprising a metallic layer made of a metal selected from the group consisting of silver, copper, nickel, thallium and their alloys, an inorganic material layer made of material selected from the

group consisting of arsenic chalcogenide, antimony chalcogenide, and bismuth chalcogenide, and a separation layer disposed between said metallic layer and said inorganic material layer and made from a material being inert relative to said metallic layer and said inorganic material layer, said separation layer having a thickness of from 50 to 300 Å and made of a material selected from the group consisting of As, Sb, Si, Ge, and their oxides, and oxides of Al, Ti, V, Fe, and polyorganosiloxane films, said method comprising irradiation of the radiation-sensitive material by pulses of actinic radiation of a duration from 10^{-6} to 10^{-8} s with an energy density in the area exposed to radiation being not less than $5 \cdot 10^{-2}$ J/cm², said pulses being capable of producing in the exposed area of the radiation-sensitive material a potential difference between said metallic layer and said inorganic material layer so as to cause an electric breakdown of said separation layer in said area.

2. A method for recording information on a radiation-sensitive material incorporating a metallic layer made of a metal selected from the group consisting of silver, copper, nickel, thallium and their alloys, an inorganic material layer made of material selected from the group consisting of arsenic chalcogenide, antimony chalcogenide, and bismuth chalcogenide, and a separation layer disposed between said metallic layer and said inorganic material layer and made from a material being inert relative to said metallic layer and said inorganic material layer, said separation layer having a thickness of from 20 to 100 Å and made of a metal selected from the group consisting of bismuth, the platinum group and the secondary subgroup of the third, fourth, fifth and sixth groups of the periodic system, said method comprising irradiation of the radiation-sensitive material by pulses of actinic radiation of a duration from 10^{-6} to 10^{-8} s with an energy density in the area exposed to radiation being not less than $5 \cdot 10^{-2}$ J/cm², said pulses being capable of producing in the exposed area of the radiation-sensitive material a potential difference between said metallic layer and said inorganic material layer so as to cause an electric breakdown of said separation layer in said area.

References Cited

U.S. PATENT DOCUMENTS

3,637,381	1/1972 Hallman	430/297
3,740,761	6/1973 Fechter	346/135.1
3,959,799	5/1976 Gambino	346/135.1 X
3,996,054	12/1976 Kawaziri	430/526 X

Способ растворения халькогенидных стекол

В. В. Петров, А. А. Крючин

Авторское свидетельство СССР № 914526. Опубликовано 23.03.82. Бюллетень № 11 МПК⁶С 03 С 23/00 С 03 С 15/00 Заявители Институт электродинамики АН УССР и Опытное конструкторско-технологическое бюро Института металлофизики АН УССР.

Изобретение относится к микроэлектронике и может быть использовано при получении рельефных микроизображений из халькогенидных стекол, легированных металлом подгруппы меди или таллием.

Известен способ растворения халькогенидных стекол путем обработки их при 20–50 °С химическим реагентом пирролидином из расчета 4,3–12,9 г на 1 г халькогенидного стекла [1]. Недостатком этого способа является низкая скорость растворения халькогенидного стекла, а, главное, сильная зависимость скорости от структуры пленки, на которую влияет, в частности, предварительное облучение пленки актиничным излучением.

Наиболее близким к изобретению по технической сущности является способ растворения халькогенидных стекол путем обработки их химическим реагентом – раствором едкого натра различной концентрации при 20–50 °С, который позволяет растворять халькогенидные стекла систем As-S, As-Se, As-S-Se, As-Se-Ge, As-S-Ge и не оказывает влияния на халькогенидные стекла этих систем, легированные металлом подгруппы меди или таллием [2]. Недостатком этого способа является загрязнение обрабатываемой поверхности халькогенидного стекла ионами щелочного металла, вызывающими постепенное разрушение материала, а также некоторое растворение легированного халькогенидного стекла. Последнее обстоятельство становится особенно существенным при обработке халькогенидных стекол, у которых легированные участки имеют микронные и субмикронные размеры.

Цель изобретения – обеспечение селективности растворения халькогенидных стекол систем As-S, As-Se, As-S-Se, As-Se-Ge, As-S-Ge, относительно халькогенидных стекол этих же систем, легированных металлом подгруппы меди или таллием. Поставленная цель достигается тем, что обработку ведут моноэтаноломином из расчета 2–50 г на 1 г халькогенидного стекла. Обработку халькогенидных стекол целесообразно вести при 20–50 °С. Увеличение температуры выше 50 °С приводит к ухудшению селективности травления, а понижение ниже 20 °С резко снижает скорость растворения халькогенидного стекла. Необходимость выбранных соотношений реагентов обосновывается получением времени растворения до 1–2 мин при обработке тонких пленок халькогенидных стекол толщиной 100–5000 Å. Для обеспечения более равномерного травления тонких пленок халькогенидных стекол их обработка может проводиться (20–90%) водным или спиртовым раствором моноэтаноломина.

Пример 1. Халькогенидное стекло состава As₂S₃ наносят в виде пленки толщиной 400 Å на стеклянную подложку с предварительно нанесенным слоем серебра толщиной 2000 Å. Пленку халькогенидного стекла облучают через маску актиничным излучением. В облученных местах происходит фотолегирование серебром пленки халькогенидного стекла в количестве до 30 ат. % в зависимости от длительности облучения. Обработку ведут из расчета 2 г моноэтаноломина на 1 г стекла. Время растворе-

ния необлученной пленки в концентрированном моноэтанолаmine составляет 18–20 с при 20 °С (и 6–7 с при 50 °С), При использовании 20%-ного водного раствора моноэтаноламина время растворения увеличивается до 40-45 с. Остатки растворителя удаляют с поверхности пленки из халькогенидного стекла этиловым спиртом.

Пример 2. Халькогенидное стекло состава $As_2S_{15}Se$ наносят в виде пленки толщиной 400 Å на стеклянную подложку с предварительно нанесенным слоем таллия толщиной 2000 Å. Пленку облучает сфокусированным, лазерным излучением ($\lambda = 4880 \text{ \AA}$). Время растворения необлученной пленки в концентрированном моноэтанолаmine составляет 15–17 с при температуре растворителя 20 °С (4–5 с при 50 °С). При использовании 90 % раствора моноэтаноламина в этиловом спирте время растворения увеличивается до 20-22 с (температура растворителя 20 °С). Обработку ведут из расчета 50 г растворителя на 1 г халькогенидного стекла.

Пример 3. Халькогенидное 15 стекло состава $AsSGe$ наносят в виде пленки толщиной 1600 Å на стеклянную подложку с предварительно нанесенным слоем меди толщиной 2000 Å. Пленку халькогенидного стекла облучают через маску актиничным электромагнитным излучением. Растворение проводят из расчета 8 г моноэтаноламина на 1 г стекла. Время растворения необлученной пленки в концентрированном моноэтанолаmine составляет 45–60 с при температуре растворителя 25 °С.

Применение способа растворения халькогенидных стекол позволяет получить качественные рельефные изображения из легированного металлами подгруппы меди или таллием халькогенидного стекла, которые могут быть использованы в качестве защитного покрытия, в частности при последующих операциях травления нижележащих слоев металла. Этот способ селективного растворения может быть использован при получении элементов интегральных схем с микронными и субмикронными размерами методами неорганической фотолитографии.

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Способ растворения халькогенидных стекол систем As-S, As-Se, As-S-Se, As-Se-Ge, As-S-Ge путем обработки их химическим реагентом при 20–50 °С, отличающийся тем, что, с целью обеспечения селективности растворения относительно халькогенидных стекол этих же систем, легированных металлом подгруппы меди или таллия, обработку ведут моноэтаноламином из расчета 2–50 г на 1 г стекла.

Источники информации, принятые во внимание при экспертизе:

1. Авторское свидетельство СССР № 645946, кл. С 03 С 23/00, 1977.
2. Борисова З.У. Химия стеклообразных полупроводников. Л., ЛГУ, 1972. с. 208-224.

Носители информации оптических запоминающих устройств на основе теллуровых стекол

В. В. Петров, А. А. Крючин, А. В. Богданова,
Г. Ю. Юдин, Т. И. Сергиенко

Физическая электроника. Вып. 28. Львов: Вища школа, 1984.

В настоящее время носители информации с локальным фототермическим разрушением полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к носителям информации оптических запоминающих устройств с побитовой записью. Эти носители имеют дополнительные слои, обеспечивающие, в частности, уменьшение растекания тепла из зоны записи [7], защиту поглощающего слоя от внешних воздействий [9, 12], получение требуемого начального коэффициента отражения [9, 10]. Однако основным элементом, определяющим во многом характеристики носителя информации – это поглощающий излучение слой. К материалу поглощающего слоя предъявляются требования, из которых определяющими процесс записи являются следующие:

- высокий коэффициент поглощения (не менее $5 \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$) на длине волны записи;
- низкая температуропроводность $(a\tau)^{0.5} < d_n$, где a – коэффициент температуропроводности; τ – длительность импульса; d_n – диаметр луча записи на уровне $1/e$;
- низкие температура плавления и теплота плавления; низкая поверхностная энергия материала поглощающего слоя; определяющими процесс считывания являются такие требования: возможность получения в тонкопленочном состоянии с мелкодисперсной структурой;

- высокий коэффициент отражения (при использовании однослойного покрытия).

Дополнительное требование – стабильность основных характеристик не менее 10 лет.

Первыми материалами, которые использовались в качестве поглощающего слоя, были тонкие пленки металлов и элементарных полупроводников (характеристики некоторых из них приведены в табл. 1).

Среди перечисленных в таблице 1 материалов предпочтительными характеристиками обладают пленки теллура (Te), которые широко использовались в носителях информации [7, 15, 17]. Основное препятствие к применению тонких пленок теллура в качестве поглощающего слоя носителя информации – это их легкая окисляемость во влажной атмосфере. Пленки Te толщиной от 30 до 40 нм при хранении в нормальных климатических условиях полностью окисляются за два года [17, 18].

Существенно улучшаются характеристики носителей информации, если в качестве поглощающего слоя применяют вместо Te его сплав с элементами IV, V и VI групп периодической системы [3, 6, 16, 17, 19]. Использование стеклообразных сплавов Te обеспечивает:

- повышение временной стабильности носителя информации за счет более высокой химической устойчивости многокомпонентных стекол по сравнению с Te, в первую очередь к парам воды;
- повышение чувствительности (только за счет снижения температуры плавления);
- повышение разрешающей способности за счет мелкодисперсной структуры пленок.

Таблица 1. Характеристики пленок металлов и элементарных полупроводников, используемых в качестве носителей информации оптических запоминающих устройств

Материал поглощающего слоя	Температура плавления, °С	Теплота плавления, Дж/моль	Коэффициент температурной проводимости, м ² /с	Устойчивость в пленочном состоянии	Удельная энергия записи, Дж/мм ²	Показатель преломления	Примечание	Отношение сигнал / шум, дБ	Поверхностная энергия, эрг/см ²
Rh	1960	21771,4	0,281	Высокая	10^{-3} [15]	2,5- <i>i</i> 2,4	В устройстве OMEX-1000 [11]	–	2610
Cr	1800	13864,4	0,456	Высокая	$3 \cdot 10^{-4}$ [15]	1,6- <i>i</i> 4,6	В устройстве OMEX [12]	–	1591
Ti	1668	20934,0	0,082	Высокая	$3 \cdot 10^{-4}$ [15]	2,4- <i>i</i> 3,3	В разработках фирмы RCA [3]	40[3]	1444
Bi	271	10885,5	0,070	Низкая	$1,5 \cdot 10^{-4}$ [15]	1,6- <i>i</i> 2,7	В разработках фирмы RCA [13]	54[14]	376
Ge	937	31819,7	0,337	Высокая	$6,5 \cdot 10^{-4}$ [4]	4,0- <i>i</i> 0,4		38[14]	
Te	450	17500,8	0,046	Низкая	$2,4 \cdot 10^{-4}$ [4]	4,25- <i>i</i> 3,8	В разработках фирм Phillips [10], RCA [3]	54[14]	520

Таблица 2. Физико-химические свойства трехкомпонентных теллурических стекол

Система	Кристаллизационная способность	Температура размягчения, °С	Микротвердость, кг/мм ²	Взаимодействие с парами воды и кислородом	Ширина запрещенной зоны, эВ
Te-As-Se	Низкая	65–165	80–170	Не взаимодействует	0,87–1,17
Te-S-Se	Высокая	34–65	20–80	Не взаимодействует	1,7–3,4
Te-As-Ge	Высокая	112–302	75–300	Не взаимодействует	0,82–1,24
Te-As-Si	Ниже, чем у стекол системы Te-As-Se	100–250	125–370	Гидролиз поверхностных слоев стекла	0,74–1,49

Примечание. Данные взяты из работы [2].

Чтобы выбрать сплавы, которые могут быть использованы в качестве материала поглощающего слоя, рассмотрим кратко свойства двойных и тройных сплавов Te с элементами IV, V и VI групп периодической системы.

В бинарных системах Te-As, Te-Ge области стеклообразования незначительны, и стекла получаются в режиме жесткой закалки. Атомное содержание теллура в стеклообразных сплавах его с селеном составляет не более 20%, что не обеспечивает доста-

точного поглощения (в пленке от 30 до 50 нм более 40%). В системе S–Te стеклообразование вообще не наблюдается. Таким образом, бинарные сплавы и соединения Te не имеют необходимых свойств для использования их в качестве материала поглощающего слоя носителя информации.

Известно, что при увеличении количества компонентов в сплавах их способность к стеклообразованию повышается [2], поэтому материал для поглощающего слоя носителя информации целесообразно искать в классе трехкомпонентных стекол, или стекол, содержащих большее количество компонентов.

Основные характеристики трехкомпонентных халькогенидных систем приведены в табл. 2. Из них наибольший интерес представляют системы, включающие наряду с двумя халькогенами элемент, атомы которого являются многовалентными, например As и (или) Ge. Введение их в состав стеклообразных халькогенов способствует установлению более однородной структуры стеклообразных сплавов. По комплексу свойств наиболее пригодны для поглощающего слоя оптического носителя информации стекла систем Te–As–Ge, Te–As–Se.

В системе Te–As–Ge наименьшей кристаллизационной способностью обладает стекло состава $\text{TeAsGe}_{0,2}$, находящееся в центре области стеклообразования. Для этого состава наблюдается только один термический эффект размягчения, т. е. стекло не кристаллизуется [2]. Кроме того, вследствие высокого атомного содержания Te (45,4%) тонкие пленки состава $\text{TeAsGe}_{0,2}$ имеют высокую поглощательную способность. Например, коэффициенты поглощения и отражения пленки толщиной 50 нм на длине волны 488 нм составляют соответственно 50 и 38 %. Указанные свойства $\text{TeAsGe}_{0,2}$ обусловили его выбор в качестве материала регистрирующего покрытия носителя информации. Запись информации осуществлялась лазером с длиной волны 488 нм на пленку $\text{TeAsGe}_{0,2}$ толщиной 50 нм через стеклянную прозрачную подложку. Скорость и плотность записи информации составляли 806 кбайт/с и $2 \cdot 10^5$ бит/мм соответственно, а энергия записи информационной единицы – от 3 до 4 кДж.

Из-за существенного различия в температурах кипения и давления паров элементов, входящих в состав $\text{TeAsGe}_{0,2}$, возникают трудности получения пленок стехиометрического состава. Отклонение от выбранного состава приводит к кристаллизации пленок в процессе длительного хранения. Известно, что в системе Te–As–Ge при кристаллизации (в зависимости от состава) можно выделить фазы, соответствующие бинарным соединениям As_2Te , GeTe , индивидуальным компонентам As и Te или твердым растворам на их основе [2]. Процессы кристаллизации и следующие за ними процессы окисления As и Te существенно уменьшают срок хранения информации.

Для получения пленок состава $\text{TeAsGe}_{0,2}$ мы использовали метод высокочастотного ионно-плазменного напыления по триодной схеме, который, однако, не обеспечивал приемлемой скорости напыления (при 0,1...0,2 нм/мин не удалось получить качественные пленки, свободные от загрязнения, в частности, парами масел). Более перспективным оказался термический метод дискретного напыления пленок, халькогенидных стекол сложных составов, предложенный в работе [1].

Проведенный контроль остатков испарения шихты показал их химическую идентичность загрязненным материалам.

Большая чувствительность носителей информации (на 20...25 %) получена при выполнении поглощающего слоя из сплавов $\text{AsTe}_{2,4}\text{Se}_{1,6}$ вследствие меньшей температуры плавления. Преимущество стекол системы Te–As–Se по сравнению с Te–As–Ge – это также меньшая разница в температурах кипения и давления паров входящих в стекло компонентов, что облегчает получение пленок заданного состава и способствует получению микроотверстия в поглощающем слое правильной формы [19].

Стекла этой системы в более широком диапазоне соотношений между компонентами являются некристаллизующимися. Оптимальны по чувствительности, стабильности, коэффициенту отражения стекла состава $10 \leq As \leq 25 \%$; $50 \leq Te \leq 80 \%$; $2 \leq Se \leq 20\%$. Для получения пленок из стекол системы Te–As–Se также использован метод дискретного испарения. Причем меньшая вязкость стекол системы Te–As–Se по сравнению с Te–As–Ge обуславливала более устойчивую работу испарителя дискретного испарения. Пленки системы Te–As–Se по сравнению с Te–As–Ge обладают меньшей адгезией к подложке и механической прочностью. Однако эти различия можно устранить, например, введением в систему Te–As–Se элементов In, Al, Ga в количестве 2 до 10 % [5]. На носителях информации, в которых в качестве поглощающего слоя использовали стекла системы Te–As–Ge и Te–As–Se, информационные единицы имеют вид эллиптических отверстий с характерными валиками по периметру, вытянутых в направлении движения носителя при записи информации.

Стеклообразные сплавы на основе Te позволяют получать носители информации с перфорационным механизмом записи, обеспечивающие плотность записи информации $(5...8) \cdot 10^5$ бит/мм², энергию записи информационной единицы от 1 до 5 нДж. Срок годности носителей информации, в которых используются стеклообразные сплавы Te, определяется в основном качеством получаемого поглощающего слоя (в первую очередь, отсутствием в его составе подверженных окислению элементарных Te и As) и составляет не менее пяти лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бальмаков М. Д., Михайлов М. Д., Печерицын И. М. Получение и свойства аморфных пленок системы As–Te. Приборы и техника эксперимента. 1981. № 5. 2. Борисова З. В. Химия стеклообразных полупроводников. Л. : Изд-во Ленинград. ун-та, 1972. 3. Коэн Ч. Оптический диск с высокой плотностью записи данных. Электроника, 1979. № 15. 4. Свойства элементов / Под ред. Г. В. Самсонова. М. : Металлургия, 1976, ч. 1. 5. Стеклообразование и свойства стекол в тройных системах на основе теллура / М. Д. Михайлов, В. П. Панус, Н. Н. Апыхтин, А. А. Дунаев. В кн.: Структура, физико-химические свойства и применение некристаллических полупроводников. Аморфные полупроводники-80. Кишинев : Изд-во Кишинев. ун-та, 1980. 6. Пат. 2363857 (Франция). Procédé d'enregistrement d'informations sous moyen d'un laser. Оpubл. 02.09.77. 7. Bartolini R. A., Bell A. E., Spong F. W. Diode laser optical recording using trilayer structures. IEEE J. Quantum Electron., 1981. v. 17, № 1. 8. Bartolini R. A. Optical recording media review. Proc. of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers. Optical Storage Materials and Methods, 1979. v. 123. 9. Bell A. E. Optical recording with the encapsulated titanium trilayer. RCA Rev., 1979. v. 40. 10. Bell A. E., Spong F. W. Antireflection structures for optical recording. J. Quantum Electron., 1978. v. 14, № 7. 11. Bell A. E., Bartolini R. A. High performance Te trilayer for optical recording. Appl. Phys. Lett., 1979. v. 34, № 4. 12. Chen M., Marelllo V. The effect of overcoats on the ablative writing characteristics of tellurium films. J. Vac. Sci Technol., 1981. v. 18, № 1. 13. Gray E. E. Laser mass memory system. IEEE Trans. Magn., 1972. v. 8, № 3 (1). 14. Heard H. G. A direct access terabit laser archival memory. Proc. 3-rd Int. Conf. Very Large Data Bases. Tokyo, New York, 1977. 15. Kenney G. C., David Y. K. et al. An optical disk replace 25 mag tapes. IEEE Spectrum, 1979. v. 16, № 2. 16. Kivits P., Jacobs fl., Laine P. Summary abstract: Research on materials for optical storage. J. Vac. Sci. Technol., 1981. v. 18, № 1. 17. Lou D. Y., Blom G. M., Kenney G. C. Bit oriented optical storage with thin tellurium films. J. Vac. Sci. Technol., 1981. v. 18, № 1. 18. Milch A., Tasaico P. The stability of tellurium films in moist air; a model for atmospheric corrosion. J. Electrochem. Soc., 1980. № 4. 19. Shigematsu K., Ojima M., Horigome S. et al. New recording thin film for optical video disk. J. Quantum Electron., 1979. v. 15, № 1.

The work deals with the problem of carriers information of optical memory installations on the basis of Te glasses.

Носитель информации для оптического запоминающего устройства

А. А. Крючин, В. В. Петров, Т. И. Сергиенко, Г. Ю. Юдин,
З. У. Борисова, М. Д. Михайлов, Ю. К. Лапин, А. В. Богданова

Авторское свидетельство СССР № 1340425 МПК G11 В 7/24
Заявители Институт проблем моделирования в энергетике АН УССР
и ЛГУ им. А. А. Жданова.

Изобретение касается накопления информации, а именно носителей для регистрации оптического излучения, и может быть использовано в оптических заполняющих устройствах.

Цель изобретения – повышение срока службы носителя при сохранении чувствительности, разрешающей способности и повышении безопасности работы с ним.

Носитель содержит подложку, например, из стекла, и регистрирующий слой из сплава, ат. %:

Сурьма	5–15
Теллур	9–19
Селен	57–68
Германий	13–19

Сплав регистрирующего слоя носителя практически не кристаллизуется, его состав находится в центре области стеклообразования, чем объясняется его высокая стабильность во времени.

Повышение срока службы носителя достигается незначительным содержанием Те и отсутствием других легко окисляющих элементов. Кроме того, малое содержание Те делает его менее токсичным как при изготовлении, так и при эксплуатации.

Выбор граничных значений содержащих Sb, Te, Se и Ge определяется по данным дифференциального термического анализа (ДТА), при котором выявилось, являются стекла кристаллизирующимися или нет, а для кристаллизующихся стекол определяются составы с максимальной разницей между температурой кристаллизации $T_{кр}$ и температурой стеклования T_g ($\Delta T = T_{кр} - T_g$). Область, не кристаллизующаяся при дифференциальном термическом анализе стекол, охватывает составы с содержанием Ge 10–20 ат. % и Sb 20 ат. %. Граничными являются составы стекол с соизмерным содержанием Sb и Ge. Стабилизации стеклообразного состояния у сплавов с относительно высоким содержанием Ge (20 ат. %) и Sb (до 20 ат. %) способствует наличие тройной эвтектики. В таблице приведены данные ДТА для сплавов по настоящему изобретению (помечены (x)) и сплавов близких по количественному составу ингредиентов.

Регистрирующий слой имеет толщину 20–500 нм. При толщине, меньшей 20 нм, снижается энергетическая чувствительность из-за малого поглощения оптического излучения в слое. При толщинах, больших 500 нм, снижается разрешающая способность. Чувствительный слой получают методом термоионного напыления на подложки из полированного стекла, скорость напыления 0,5–5,0 нм/с, давление остаточных газов в камере 10^{-5} мм. рт. ст. Коэффициент поглощения для длины волны $\lambda = 0,53$ мкм составляет $(1,0-1,6) \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$.

Ge ат. %	Se ат. %	Te ат. %	Sb ат. %	T _g	T _{кр} °С	ΔT
21,5	30	39,5	9	181	307	126
19	47,5	28,5	5	255	370	115
18	45	27	18	170	329	159
*16,1	64,8	14,3	4,2	140	-	-
*15,3	61,9	14,2	8,6	164	-	-
*14,6	59,0	13,55	12,85	170	-	-
12,85	56,0	12,85	17,3	184	275	91
16	34,4	42,8	6,8	219	282	63
15,2	32,7	40,8	11,3	140	236	96
12,75	55,25	17	15	167	321	154
19	57	19	5	164	-	-
17	51	17	15	181	364	183
15	45	15	25	200	321	121
*13,5	67,5	9	10	148	-	-
*12,75	63,75	8,5	15	159	-	-
12	60	8	20	181	321	140
*15,3	61,2	13,5	10	156	-	-
13,5	49,5	27	10	151	252	101
12,75	46,75	25,5	15	153	230	77
9	54	27	10	126	247	121
8,5	51	25,5	15	134	241	107

Для регистрирующего слоя оптимального состава Ge_{15,3} Se_{61,2} Te_{13,5}Sb₂₀ проводят изотермический отжиг в течение 4 ч при 170 °С. Кристаллизация слоя не наблюдается. Испытания носителя информации с регистрирующим слоем указанного состава (толщина 30 нм) показывают следующие характеристики. Энергия записи информационной единицы при длительности импульса записи 50 нм составляет 3 нд.

Отношение сигнал-шум не ниже 45 дБ.

Плотность записи $5 \cdot 10^5$ бит/мм².

Носитель работоспособен при T = 40 °С; выдерживает температуру 70 °С в течение длительного времени (10–15 сут.) без ухудшения характеристик, температуру 30 °С при относительной влажности 95 % – в течение 10 сут.

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Носитель информации для оптического запоминающего устройства, содержащий подложку и регистрирующий слой, имеющий теллур, селен и германий, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что, с целью повышения срока службы при сохранении чувствительности, разрешающей способности и повышении безопасности работы с ним, в состав регистрирующего слоя дополнительно введена сурьма при следующем соотношении компонентов, ат. %;

Сурьма 5–15
Теллур 9–19
Селен 57–68
Германий 13–19

Диэлектрические свойства CsPbBr₃ и ЯКР атомов брома

В. В. Петров, А. В. Лосев, А. В. Богданова,
А. А. Крючин, М. И. Дашкевич, В. Г. Пицюга

Физика твердого тела. 1989. Т. 31, № 6. С. 309–311.

Многообразие фазовых переходов (ФП) в галогидных соединениях со структурой перовскита и возможности их практического использования привлекают к ним постоянное внимание исследователей. В малоизученном кристалле CsPbBr₃ были обнаружены два ФП $O'_h \rightarrow D^5_{4h} \rightarrow D^6_{2h}$ [1,2], а в [3] измерены упругие постоянные, обнаружившие значительные аномалии в области ФП. Представляет интерес исследовать аномалии диэлектрических свойств кристалла в этой области и спектр ЯКР. Кристаллы GsPbBr₃ были выращены методом Бриджмена с предварительной дополнительной очисткой бромидов. Измерения диэлектрической проницаемости проводились на неориентированном кристалле с использованием моста высокой точности типа ВМ 400G на частоте 200 Гц, относительная погрешность измерения ϵ не превышала 1,0 %. Контакты на пластинку кристалла напылялись из меди; для предотвращения окисления контактов измерения ϵ выполнялись в атмосфере аргона. Спектры ЯКР брома записывались на спектрометре типа ИСШ-13. В качестве регулятора температуры кристалла пользовались ВРТ-3.

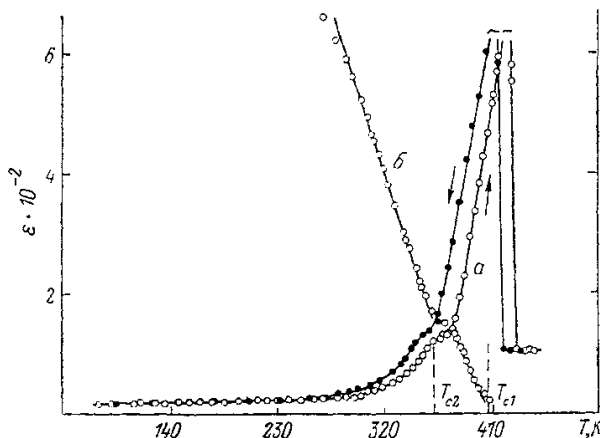


Рис. 1. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости CsPbBr₃ (а) и ее обратного значения (б)

На рис. 1, а представлена температурная зависимость диэлектрической проницаемости. При температуре $T_1=420$ К наблюдается аномалия диэлектрической проницаемости, свидетельствующая о сегнетоэлектрическом переходе. В области ФП ($T < T_1$) изменения ϵ описываются формулой Кюри–Вейсса (рис. 1, б)

$$\epsilon = C/(|T - T_c|), \quad (1)$$

где $C = 7.3 \cdot 10^3$ К, $T_{c1} = 405$ К. Скачкообразное изменение ϵ и наличие температурного гистерезиса ($\Delta T \approx 13$ К) указы-

вают на то, что в данном случае имеет место ФП первого рода, обусловленный конденсацией моды M_3 и исчезновением центра инверсии. Оценка степени напряженности связей Cs–Br, Pb–Br показывает, что ион цезия «свободно» перемещается в полости, а ион Pb²⁺ «сжат» в октаэдре, образованном ионами брома. Поэтому октаэдры [PbBr₆] могут совершать разворот вокруг одной из осей с одновременным искажением, а ион цезия смещаться от центра куба. Используя значение T_{c1} , можно оценить смещение гомополярного атома по формуле $T_{c1} = (2.00 \pm 0.09) \cdot 10^4 (\Delta z)^2$ [4]; отсюда $\Delta z = 0.014$ нм.

Аномалия диэлектрической проницаемости при $T_2 = 360$ К обусловлена ФП второго рода, значения постоянных уравнения Кюри Вейсса равны: $C = 6,2 \cdot 10^3$ К, $T_{c2} = 385$ К.

Указанные в [1, 2] структурные ФП приводят к изменению градиента электрического поля, что подтверждается спектрами ЯКР атомов брома. На рис. 2 представлена температурная зависимость резонансной частоты ЯКР ^{81}Br . При $T > 404$ К в спектре наблюдается одна линия, соответствующая эквивалентному положению ионов брома. С понижением температуры происходит скачкообразное раздвоение линии спектра ЯКР, свидетельствующее о появлении двух неэквивалентных положений брома. В тетрагональной симметрии (группа D_{4h}^5) такими положениями являются положения двух ионов брома, расположенные вдоль оси [001], и четырех ионов брома в плоскости, перпендикулярной [001], совершающих ротационные движения, соответствующие моде M_3 .

При $T = 361$ К структурный ФП сопровождается затуханием ротационной моды R_{25} , соответствующей поворотам октаэдров вокруг осей [100], [010] и [001].

Используя формулу Байера [5] для зависимости частоты ЯКР от температуры, обусловленную вращательными качаниями,

$$\nu = \nu_0 + bT + C_0/T \quad (2)$$

по экспериментальным данным $\nu(T)$ определили значения b и C_0 , равные соответственно 2.8 кГц/К и $21.4 \cdot 10^4$ кГц/К. Как видно из рис. 2, в интервале температур от 50 до 350 К имеет место хорошее совпадение экспериментальных значений частоты ЯКР (кривая a) и расчетных по формуле

$$\nu = (56\,974 - 2.8T + 21.4 \cdot 10^{1/2}/T) \text{ кГц.} \quad (3)$$

С понижением температуры слагаемое C_0/T вызывает заметное отклонение теоретического значения ν от экспериментального, т. е. преимущественный вклад в градиент электрического поля обусловлен движением вокруг одной оси вращательных качаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hirotsu S., Harada L., Iizumi M., Gesi K. // J. Phys. Soc. Jap. 1974. V. 47. N 5. P. 1393–1398.
2. Hirotsu S., Suzuki T., Sawada S. // J. Phys. Soc. Jap. 1977. V. 43. N 2. P. 575–582.
3. Александров К. С., Анистратов А. Т., Безносиков Б. В. // Автометрия. 1975. № 1. С. 50–53.
4. Кузьминов Ю. С. Сегнетоэлектрические кристаллы для управления лазерным излучением. М.: Наука, 1982. 232 с.
5. Гречишкин В. С. Ядерные квадрупольные взаимодействия в твердых телах. М.: Наука, 1973. 41 с.

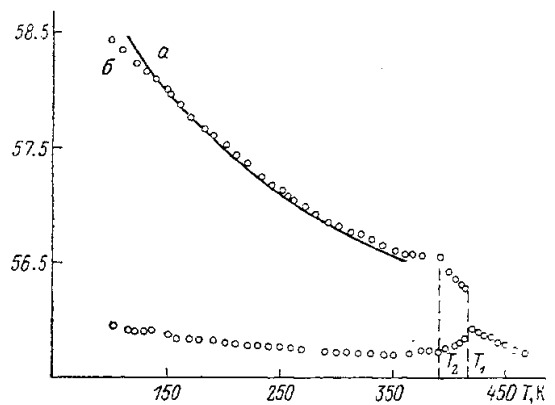


Рис. 2. Температурные зависимости частоты ЯКР ^{81}Br : a – рассчитанные по формуле (3), b – экспериментальные значения частоты

Method of Photothermal Information Recording Reading and Erasing

Vyacheslav V. Petrov, Dmitry A. Grinko,
Alexandr A. Antonov, Andrei A. Kryuchyn

United States Patent 4,908,814. Int. Cl. G11B 7/00; G01D 15/10; H04N 1/23 /
Assignee: Institut Problem Modelirovaniya v Energetiki AN Ukr. SSR, Kiev,
U.S.S.R. (abstract). // Date of Patent: Mar. 13, 1990.

ABSTRACT

A method for photothermal information recording, reading and erasing consists in that the surface of a recording medium (1) is charged prior to the photothermal recording process and then exposed, during photothermal information recording and erasing, to a modulated electromagnetic beam (8) localized to a spot size of the order of one information unit with the energy exceeding the energy required for softening the material of the recording medium (1), and, during information readout, with the energy less than that for softening the material of the recording medium (1), the surface of the recording medium (1) being discharged before erasing information.

DISCLOSURE OF THE INVENTION

The invention is to provide a method of photothermal recording, reading, and erasing of information, which can change the surface energy of the recording medium in order to change the force of the electromagnetic beam acting on the recording medium and to prevent destruction of the material of this recording medium, and as a result, to provide optimal conditions for deformation of the recording medium during the process of photothermal recording, reading, and erasing of information, in order to substantially increase the number of rewrite cycles and to make optical devices for photothermal recording, reading, and erasing lighter in weight and smaller in size.

The essence of the invention resides in that in a method for photothermal information recording, reading and erasing, consisting in that, in order to produce each information unit from a sequence of information units having a two-level deep pattern in a recording medium disposed on a substrate in the process of photothermal recording of information and for reading and erasing of information, this recording medium is exposed to a modulated electromagnetic beam localized to a size of the order of one information unit-pit, the recording medium being made of a material capable to spread over the substrate when softened, and according to the invention, a charge is applied onto the surface of the recording medium prior to the photothermal information recording, the modulated electromagnetic beam localized to a size of the order of one information unit is applied to the recording medium for photothermal recording of information with the energy exceeding the energy required for softening the material of the recording medium but less than the energy sufficient for destruction of the material of the recording medium, and, for information reading, with the energy less than the energy for softening the material of the recording medium, and the surface of the recording medium is charged prior to erasing information therefrom.

The term "softening energy" resorted to in the description as applied to the recording medium means the energy which is required to soften the material of the recording medium.

The term “destruction energy” of the material of the recording medium means the energy to which the material of the recording medium has to be exposed to for its destruction.

The advantages of the invention are: controlled parameters of the recording medium during photothermal recording, reading and erasing of information, and high reliability of storage devices which could be made small and light.

BRIEF DESCRIPTION OF ACCOMPANYING DRAWINGS

The invention will now be described in greater detail with reference to specific embodiments thereof and accompanying drawings wherein:

FIG. 1 illustrates a fragment of a recording medium with a discrete recording made as a two-level deep pattern, according to the invention; An optical device for photothermal information recording, reading and erasing comprises a cylinder 3 (FIG. 3) made of a transparent material, a film of a recording medium 1 being coated on the internal surface thereof. The external surface of the cylinder 3 is coated by a transparent current-conducting film 4. A central electrode 6 is secured along the axis of the cylinder 3 on insulating covers 5. In FIG. 3 the central electrode 6 represents a pit. One or two leads 7 for the central electrode 6 are secured in the covers 6. The cylinder 3 is air-tight and may be filled with inert gas when a corona discharge is used to charge the recording medium 1. A modulated electromagnetic beam 8, e.g. a laser beam, localized to a spot size of the order of one information unit is used for photothermal information recording. The beam 8 is focused by an objective lens 9. Relative movement of the objective lens 9 and the cylinder 3 from one pit to another is effected by a positioning system (not shown). The constant-sign voltage drop required for the corona discharge is supplied to terminals 10 and 11 and, further on, via a spring contact 12, to the conducting transparent film 4 and, via a contact 13 and the lead 7, to the corona-discharge central electrode 6.

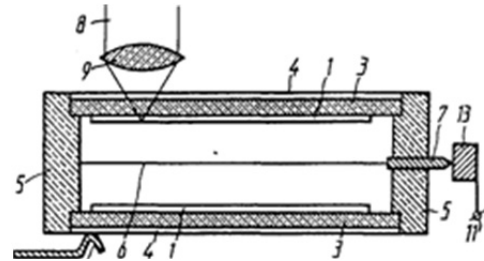


Fig. 1

We claim:

A method for photothermal information recording, reading, and erasing, which consists in that, in order to produce each information unit from a sequence of information units having a two-level deep surface relief pattern in a recording medium (1) disposed on a substrate, in the process of photothermal information recording, and for reading and erasing of information, this recording medium (1) is exposed to a modulated electromagnetic beam (8) localized to a spot size of the order of one information unit-pit, said recording medium (1) being made of a material capable of spreading when soft over the substrate, characterized in that, prior to photothermal information recording, the surface of the recording medium (1) is charged, the electromagnetic beam (8) acting on the recording medium (1) and localized to a spot size of the order of one information unit for photothermal information recording and erasing has more energy than is required for softening the material of the recording medium (1) but less than to destroy the material of this recording medium (1), and for reading the energy of the beam (8) is less than the softening energy of the material of the recording medium (1), the surface of the recording medium (1) being discharged prior to erasing of information.

References Cited

U.S. PATENT DOCUMENTS

3,168,726	2/1965	Boblett	369/126	X
3,427,628	2/1969	Clunis	269/126	X
4,041,532	8/1977	Plows et al	369/126	
4,304,848	12/1981	Bouldin et al	369/153	
4,330,883	5/1982	Ohta et al	369/100	
	7/1982	Iwamura et al	369/126	
2/1983		Cornet	369/100	X
4,398,203	8/1983	Cornet	369/100	X
4,403,318	9/1983	Nagashima et al	369/100	
4,404,656	9/1983	Cornet	369/100	X
4,489,278	12/1984	Sawazaki	369/126	
4,527,173	7/1985	Gupta et al	369/100	X
4,596,993	6/1986	Erlichman	346/76 L	X
4,599,718	7/1986	Nakagawa et al	369/100	
4,647,947	3/1987	Takeoka	346/76 L	X
4,659,620	4/1987	Benhamou	346/76 L	X
4,710,911	12/1987	Yamada et al	369/100	
4,719,615	1/1988	Feyrer et al	369/100	X

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

0046104	2/1982	European Pat. Off.	346/76 L	X
55-154196	12/1980	Japan	346/76 L	X
2121227	12/1983	United Kingdom	369/100	X

OTHER PUBLICATIONS

A. L. Kartuzhansky, Neserebrianye Protsessy Tonkikh Plenok Zhidkosti; 1984, Khimiya Publ., Leningrad, pp. 231-232.

A. L. Kartuzhansky, Neserebrianye Fotograficheskie Protsessy, 1984, Khimiya Publ., Leningrad, pp. 44-49. Problemy razvitiya Radiotekhniki, 1985, Tsentralnoye i gruzinskoye respublikanskoe ... Popova, Moscow, pp. 62-63.

Metal-polymeric Recording Media Intended for Optical Data Recording

Viacheslav V. Petrov, Andrey A. Kryuchin,
Igor O. Kostenko, Konstantin P. Gritsenko

Proc. SPIE 2108, International Conference on Holography, Correlation Optics, and Recording Materials (10 December 1993). P. 76–78.

ABSTRACT

The properties of metal-polymeric recording media obtained by the decomposition of alkyl tin (Sn) and antimony (Sb) compounds in low-temperature plasma have been investigated. We have experimentally determined the changes of pit shapes during the photothermal recording and the basic medium characteristics when changing the metal and carbon concentrations in the films.

1. INTRODUCTION

The materials representing a “metal-polymer” composition are perspective as a recording medium used for one-fold data writing and multiple data reading (WORM type). The advantage of given composition includes the possibilities for controlling the recording medium properties within a wide range by changing the concentrations for metallic and hydrocarbonic components. It is known that during the ablation recording the data recording density and the signal-to-noise (S/N) ratio are greatly effected not only by surface non-uniformities and recording medium structure but they are also greatly effected by the shape and the size of the roller which is formed around the pits [1,2] in the process of recording. In this work we have investigated the composition influence of obtained films on the pit shape, the record energy, the signal-to-noise ratio and the thermal stability of information media. The choice of tin and antimony compounds is caused by low toxicity of mentioned metals and their compounds which allowed to use wide these recording media in the different fields of optical storage applications.

2. EXPERIMENTAL PROCEDURE AND SAMPLE PREPARATION

The films were deposited on the cylindrical and plane glass substrates, the silicon substrates, and KBr crystals. The film deposition was realized by the dissociation of organometallic compound vapor in the low-temperature plasma of dc glow discharge, high-frequency capacity discharge (HFC) and high-frequency inductive one (HFI) at frequencies of 5.0 and 40.0 MHz. The pressure of organometallic compound vapor (OMC) changed from 1 to 10^{-3} Torr and supplied power changed from 50 to 500 W. The reflectivity and transmittance of condensing film were measured during the deposition.

The film composition was investigated by means of the layer-to-layer Auger analysis using microscope JAMP-10S. The film structure and the the pit shape were analyzed by means of electron microscopy using JEOL-10 mx microscope. The film thickness was determined by the method of multibeam ellipsometry. The bond types and bond energy were determined by the method of Raman light scattering (RLS). The data recording and the data reading were carried out by focused rad ia l ion ($0.8 \mu\text{m}$ over the level $1/e^2$) of semiconductor laser at 830 nm wavelength. The medium rotation velocity was equal to 30 revolutions per second

with data exchange rate of 250 and 750 Kbit/s. the specific energy of record pulses was 0.5–1.0 nJ/bit. The obtained recording media were annealed within 0–200° C temperature range.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The recording media representing metal-polymeric structures with the metal content from 10 to 95 at % have been obtained in the process of plasma dissociation of alkyl compounds of tin and antimony. The metal content in the film increased both at increasing power supplied to the discharge zone and at increasing frequency of supplying voltage. The most strong dependence of metal concentration on supplied power was observed in the case of high-frequency capacity discharge at frequency of 40 MHz. The obtained films had constant thickness distributions of chemical elements except the narrow zones attached to the surface (5–7 nm) which were enriched by carbon.

The analysis of Raman scattering spectra showed that within a wide range of metal content in the obtained films -this metal is preferentially in chemically bound state. The elemental link can be represented in the form of Me-O-Me or Me-R-Me.

In accordance with their structure the deposited films can be both as amorphous films and polycrystalline ones with the crystal size up to 0.5 μm depending on pressure of original organometallic compound during the deposition; the degree of crystallization increases when increasing pressure.

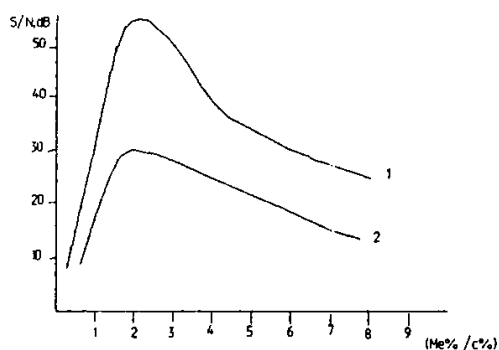


Fig. 1. The Dependence of S/N ratio Metal/carbon Metal-polymer recording medium Sb_xC_y Metal-polymer recording medium Sn_xC_y

dependence of signal-to-noise ratio (S/N) on the metal concentration illustrated by Fig.1 shows that high S/N ratio is achieved within comparatively narrow range of metal concentration and displays the pit shapes observed visually.

Low S/N ratio shown at the beginning of the curve (Fig. 1) can be explained by low reflectivity due to small metal concentration and, hence, due to low amplitude of playback signal. This low S/N ratio is also due to increased noise level which is inherent in mentioned area and can be connected with large surface non-uniformities emerged in the process of pit forming. Decreasing the S/N ratio with increasing the metal concentration is connected with the formation of irregular-shaped pits due to the evaporation of hydrocarbon component since the laser radiation energy is insufficient for complete pit forming in the metal.

The dependence of S/N changing as a result of multiple accesses to the recorded information is shown in Fig.2. As a result of continuous multiple access to the recorded information the decrease of S/N ratio can be subdivided into the following main stages:

To a large extent the ablation recording process is determined by the metal concentration in the film. If the film have high carbon concentration ($Me/C < 1.90$) an enhanced reflectivity region is produced around the pit in addition to the roller characteristic of ablation recording. In the case of increasing the recording power the second roller appears which can be associated with funnel-shaped pits. High metal content in the recording medium ($Me/C > 2.5$) results in forming the pits which have great non-uniformities both over the roller and over the total area. The regular-shaped pits have been obtained within comparatively narrow range of metal and carbon concentration ($1.90 < Me/C < 2.31$). The

– the crystallization of local regions RS exposed to laser irradiation. Short-term S/N ratio increasing is due to crystallization processes when crushing the newly formed crystallites occurs [3];

– increasing the roller size which is connected with the process of intensive metal melting and the evaporation of volatile hydrocarbon component. Under these conditions the pit size increases and the shape of pits is disturbed leading to decreasing the playback signal;

– the evaporation of metallic component leading to decreasing the reflectivity.

It should be noted that all of mentioned processes were not the threshold ones and lasted for $t=1.25h$ after continuous reading during 8 hours.

Conducted thermal annealing of metal-polymeric Sn films showed that at $T = 120^\circ C$ the resistivity increased sharply and then it decreased which can be connected with the processes of metal crystallization and hydrocarbon component evaporation leading to the film metallization. When annealing the metal-polymeric Sb films their resistivity began to decrease exponentially with the growth of heating temperature. However, in the case of the cool down this above resistivity was reverted to its original state and the curve shape of the “annealing-cool down” cycle under this condition was invariable which was probably testified to reversible changes in the film.

4. CONCLUSIONS

Conducted investigations showed that the maximum S/N ratio of information media with the same data recording density was observed in the metal-polymeric Sn and Sb films at the metal-carbon ratios $Me/C = 2.08$. On the one hand, high S/N ratio is caused by the maximum level of signal (by the film reflectivity) and on the other hand, it is caused by the minimum amount of surface non-uniformities on which the laser radiation scattering occurs.

The maximum resolution (1500 lines/mm) and high quality of recording are observed on the film of 50-55 nm thickness. The metal-polymeric Sb films have higher S/N ratio, larger thermal stability and allow to carry out larger amount of information playbacks in comparison with metal-polymeric Sn films.

ACKNOWLEDGMENTS

The realization of present work has been supported by the State Committee of Ukraine on Science and Technology problems.

REFERENCES

1. Lou D. Y., Blom C. M., Kenney G. C. “Bit oriented optical storage with thin tellurium films”, J. Vac. Sci. Technol., Vol. 18, N 1. pp. 78–86, 1981.
2. Broer D. G., Vriens L. “Laser-induced optical recording in thin films”, Appl. Phys. A., N 32., pp. 107–123, 1983.
3. Bolotin N. K., Sizonenko V. P. “Intermolecular interactions and structure”, Physics of liquid state, Vol. 18, N 16. pp. 39–45, 1988.

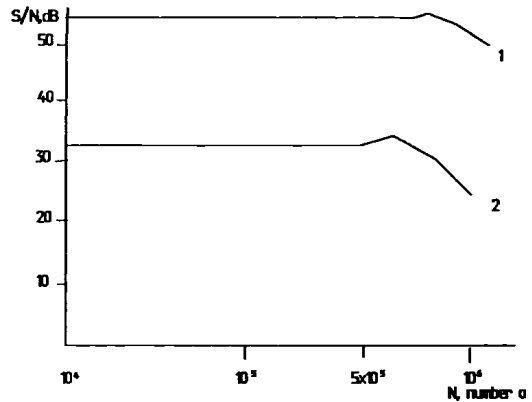


Fig. 2. The Dependence of S/N changing as a result of multiple accesses:

1. Metal-polymer recording medium Sb₆₇C₃₃
2. Metal-polymer recording medium Sn₆₇C₃₃

New registration medium with optical luminescence stimulation

Viacheslav V. Petrov, Vladislav I. Zimenko, Vasylii G. Kravets,
A. M. Sushko, A. M. Dargeyko

Proc. SPIE 2108, International Conference on Holography, Correlation Optics,
and Recording Materials (10 December 1993). P. 79–82.

1. INTRODUCTION

Alkali earth sulphides (AES) with rare-earth ion dopants additions (REI) can be vided as recording media for optical information storage. Realization of memory elements on this mediums is based on electron trapping by deep traps, which are obtained in forbidden band of wide-band semiconductor by Eu (Ce)-Sm ions There are two ways of information recording, using this effect. In the first case the recording of information is realized by exposure of the material to ultraviolet and visible irradiation (350...500 nm). In this case the signal is fixing and proportional to antistocs luminescence intensity with $\lambda = 620$ nm, and $\lambda = 500$ nm in materials with Eu and Ce ions, respectively [1, 2].

The second method is differences from up-writing by reading-out information method. Changing of absorption factor in AES with REI ions is found experimentally. Reversible medium with reflection coefficient of laser irradiation in the range of 400...500 nm are modulated on medium surfase and will create, probability. His absorption factor ran be changed by 10 %...30 % and more time, for SrS:Ce,Sm and by 10 %...30 % for SrS:Eu,Sm [2].

2. THEORETICAL CALCULATIONS AND EXPERIMENTAL RESULTS

In the case of magnitooptic recording medium more development has four-layer structure [4]. Schematically, medium for information recording based on the electron trapping effect is supposed to consist of four layers. His structure is shown on Figure 1. His structure optimization task of optic reversible medium is to make an absorption ability of multilayer medium maximum in the ranges of 400...500 nm and 800...1000 nm. As the first and third layers we intend to use ZnS, because this material lias the same optical characteristics as CaS(Sr)S and is deposed on the substrate in the same technology conditions as Sr : Eu, Sm. Hie calculations show that if $n = 2$, this value is measured by ellipsometrical method in ZnS films, obtained by thermal deposition. In this case the thickness of first layer must be ≈ 170 nm. The reversible medium had following characteristics: $n_2 = 2.2$, $\kappa_2 = 0.05$, $d_2 = 500$ nm. Our calculations showed that for maximum absorption of recording and readout laser irradiation is necessary to make four dielectrical layers with such parameters: for the first one $n_1 = 2.0$, $d_1 = 170$ nm; for the third one $n_3 = 2.0$, $d_3 = 200$ nm. This choice of interference coating yields absorption ability of multilayers structure 85% for recording ($\lambda_{rc} = 450$ nm) and 65 % for reading ($\lambda_{rd} = 830$ nm). In proposed variant of reversible optical medium on the based photo luminescence effect the important task is to direct emitted irradiation produced by recombination process with minimum loss from active layer Ca(Cr)S:Eu, (Ce),Sm on to photodetector. The characteristic of losses yield quantum exit η . This measure determines the part of general photon quantity CaS:Eu,Sm film, which could be taken out from this film. The main reason of η decreasing is full interior reflection of photoluminescence irradiation on the interface active layer – dielectric film with refraction

coefficient n_1 . The part of light with incident angle $< \arcsin(n_1/n_2)$ (internal reflection) will only pass through the flat surface [5].

In the material with cubic symmetry and also in amorphous systems, where spontaneous luminescence is isotropic for structure, with reflective lower surface (Figure 1: $\text{Ti}_2\text{Yb}_2\text{O}_7$, $n_3 > 5$), η for irradiation passing through layer 1 is determined by expression (fig.1) [6].

$$\eta = \left(1 - \left(1 - \frac{n_2}{n_1} \right)^2 \right)^{1/2} \frac{4n_2/n_1}{n_2/n_1 + 1}.$$

In this case the photodetector detect the signal, which is determined by:

$$I_{ir} = I_{ex} \eta_{in} (1 - R_{21}) \frac{\Omega_f \cos \phi}{\pi \frac{n_2}{n_1} \left(\frac{n_2}{n_1} + 1 \right)^2 (1 - e^{-\alpha d})},$$

where Ω_f – angle of irradiation collection by photodetector objective; η_{in} – internal quantum yield of irradiation; R_{21} – reflection coefficient on boundary of medium 1 and 2; $\alpha = 4\pi\kappa_2/\lambda$ – absorption coefficient by photoluminescence medium; I_{ex} – energy of photoluminescence activation; ϕ – angle between normal to sample surface and direct ion towards collection objective of photodetector.

ZnS	N1, D1
SrS : Ce, Sm	N2, X2, D2
ZnS	N3, D3
Al ($\text{Ti}_2\text{Yb}_2\text{O}_7$)	N4, X4, D2
SUBSTRATE	Nn

Fig. 1.

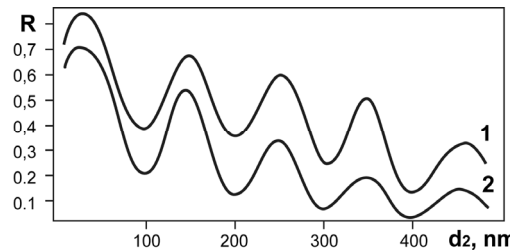


Fig. 2. Function of fourth – layers reversubie medium reflective coefficient from thickness SrS:Ce,Sm: 1 – R from nan-recording part, 2 – R from irradiation part

In the case of $\text{Ca}(\text{Sr})\text{S}:\text{Eu}(\text{Ce})\text{Sm}$ films irradiation by laser irradiation with wave length in the range of 400...500 nm the films are cleared because the part of electrons will be captured by electron traps.

In the [3] is stated that maximum of clearing is in the range (400...500) nm and it is higher for sulfides with Ce^{3+} rather than Eu^{2+} . The absorption coefficient can change two and more times for sulfide $\text{SrS}:\text{Ce},\text{Sm}$ and by 10% ... 20% for sulfide $\text{SrS}:\text{Eu},\text{Sm}$. Perhaps, the difference is due to the fact that in sulfides with Eu^{2+} effective trap cross -sections of probing photons capturing by Eu^{2+} ground state and as trap levels differ a little not large. At the same time in sulfides with Ce^{3+} effective trap cross-sections for trap levels is more than 100 times smaller than that for the ground state.

We have to optimize the structure optimization of optical reversible medium, which uses the reflection coefficient changing for writing and reading of information. The medium consists of four-layers as in the case of luminescence medium $\text{SrS}:\text{Ce},\text{Sm}$ film is sandwiches between two ZnS layers, with the thickness of this ZnS films must be 150...200 nm, according to our calculations. Al - film is reflecting layer. The optical constants of Al layer are $n_3 = 1.7$, and $\kappa_3 = 5.3$. This values are determinate by ellipsometric method after thermal deposition in vacuum chamber ($P = 10^{-5}$ torr). The estimation yields reflection maximum, when Al film thickness is 25 nm. The reflection coefficient of laser irradiation vs absorption

factor is calculated for four-layer medium when absorption coefficient of reversible layer changes from $\kappa_2 = 0.1$, before argon laser irradiation with $\lambda = 488$ nm to $\kappa_2 = 0.05$, after laser irradiation. It is found that the changing of R is periodical. The period of the changing is 100 nm for reflection coefficient changing in the range 65 % – 5 % (Fig. 2).

Let's study the dependence of signal/noise ratio on the reflection coefficient in the absence of background noise. In the ideal case [7], when we can account only shot-noise. In this case output photodetector current is root-mean-square deviation can be writing:

$$I = \frac{P_0 R \alpha e}{h\nu}, \quad \alpha = \left(\frac{P_0 R \alpha e^2 2B}{h\nu} \right)^{1/2},$$

where P_0 – power of the incident light flux respectively; R – reflection coefficient; α – photocathode quantum effectiveness; e – charge of electron; $h\nu$ – energy of photon; B – frequency band width of electron tract. After the reflection from recorded ($n_3 = 2.3$; $\kappa_3 = 0.05$) and unrecorded ($n_2 = 2.3$; $\kappa_2 = 0.1$) areas desired difference signal is determined by expression

$$\Delta I = \frac{P_0 \alpha e \Delta R}{h\nu}.$$

In this case signal/noise ratio is:

$$\frac{\Delta I}{\sigma} = \left(\frac{P_0 \alpha}{2BRh\nu} \right)^{1/2} \Delta R.$$

From this expression is clear that the less reflection coefficient R the higher signal/noise ratio. Subsequently it is necessary to choose the sulfide layer thickness with Eu (Ce) ,Sm dopants in the range (450 ± 25) nm because for this thickness values R is 35% (Fig. 2).

The calculations were performed for typical parameters of optical head: $P_0 = 3$ mWt – the incident light flux; $R = 0.35$; $\alpha = 0.25$; $B = 1.5 \cdot 10^6$ Hz; $\Delta R = 0.15$.

$$\frac{\Delta I}{\sigma} = 10 \lg \frac{P_0 \alpha^2 \Delta R}{2BRh\nu} \approx 50 \text{ Db}.$$

3. CONCLUSIONS

We came to conclusion that main attention in working out of recording medium development using photoluminescence effect has to be paid to optimization of writing and reading-out, irradiation absorption ability and diagram of luminescence irradiation directivity. It is found that changing of under absorption coefficient in sulfide with addition of Eu (Ce) Sn by two times after laser irradiation with $\lambda = (400..500)$ nm tile reflection coefficient for optimum choice of protective, reflective and barrier layers can be change by 15...20 %. The reversible medium has four-layers, namely dielectric ZnS layer ($n_3 = 2$, $d_3 = 170$ nm), optical reversible layer ($n_2 = 2.3$; $\kappa_2 = 0.1$; $d_2 = 500$ nm), dielectric film ZnS ($n_3 = 2$; $d_3 = 170$ nm); reflective layer of Al ($n_4 = 1.7$; $\kappa_4 = 5.3$; $d_4 = 25$ nm) for the glass substrate.

REFERENCES

1. *J. Lindnayer* A new erasable optical memory, Solid State Technol, pp. 135-138, Aug.1988.
2. *J. Lindnayer* Photoluminescent materials for outputting blue-green light, U.S. Patent 4.822,520 (1989).
3. *V. V. Antonov-Romanovsky* Kinetic of cristal – phosphores photoluminescence, 324 p, M. Nauka., 1966.
4. *Y. Tomita, T. Yosliio* Optimum design of multilayer-medium structu'ies in a magneto-optical reading-out system, JOSAA., p.809, v.1, N8, 1984.
5. *A. I. Vasiliev, V. V. Michailik* Introduction in a spectroscopy of solid, 192 p, M.MSU, 1987.
6. *G. P. Peka, V. F. Kovalenko, V. N. Kusenko* Luminescence method of semiconductor materials and instruments parameters control, 154 p, Kiev, Technica, 1986.
7. *D. Treves* Magneto-optic of high-density recordings, J.Appl. Phys., v. 38, N3, p.1191-1992, 1967.

Numerical simulation of crystallization process in recording media with phase-structure writing mechanism

Viacheslav V. Petrov, Andrey A. Kryuchin, Gennady Y. Judin,
Tatyana I. Sergienko, Vladimir A. Klimenko, Igor O. Ilyenko

Proc. SPIE 2144, Advanced Photonics Materials for Information Technology,
(2 June 1994). P. 91–97.

By means of numerical simulation was studied the thermal crystallization process dynamics in a reversible recording medium on the base of chalcogenide semiconductors. For nonisothermal crystallization process simulation was used the Kolmogorov–Avrami equation. The spatial-temporal distribution of crystalline phase in the writing area was obtained, the writing modes under which is achieved a uniform distribution of crystalline phase in the irradiated area were investigated.

INTRODUCTION

Side by side with improvement of magneto-optical recording media for erasable optical carriers there is of great interest the creation of reversible media on the base of chalcogenide semiconductors in which the writing and erasing are carried out by photoinduced phase-structure transformations. Such media have following performances: the recording density is more than 10^5 bit/mm², the threshold writing and erasing energy is of 10^{-9} J/bit, the signal-to-noise ratio is not less than 50 dB, the information storing duration is not more than 15 years, the overwrite cycles number is 10^6 [1,2]. However, during development of mentioned media one faces at least two problems:

- the difficulty of power optimization of writing and erasing pulses for ensuring the maximum signal-to-noise ratio at information reproducing;
- the decreasing of signal-to-noise ratio with increasing the overwrite cycles number (which can be caused by varying from cycle to cycle spatial distribution of the crystalline phase in the readable region).

For describing the photocrystallization process is suggested a set of mathematical models. For example, the authors of the work [3] describe the photocrystallization process by empirical equations of activation nature. The activation energy is determined from an experiment according to medium characteristics changes (absorption or refractive indices) and then is calculated the crystallization velocity. A more exact calculation model of crystallization velocity taking account not only of the activation energy but also the nucleation and crystal growth velocities is suggested in the work [4]. To our mind, a disadvantage of this model is an assumption that the nucleation and crystal growth velocities are independent of the temperature. The question of spatial-temporal distribution of the crystalline phase part in the irradiation area is not considered in cited works. But it becomes important by choosing the writing modes when the optimization problem of writing, erasing and reading beams characteristics cannot be solved without due account of crystalline phase spatial-temporal distribution within one pit.

In the present work by a numerical simulation method was investigated the crystallization process dynamics in a recording medium under the action of a Gaussian distribution intensity beam, including the influence of the acting laser pulse intensity and duration on the crystalline phase spatial-temporal distribution within irradiation area.

The process being studied takes place in two stages:

- the laser radiation absorption and as a sequence the heating of a recording medium local region;
- the phase-structure transformations in an irradiated microregion.

According to this we investigate both the temperature field nature (in space and time) and directly the thermal crystallization process itself. As an investigation object let us consider the amorphous layers of chalcogenide semiconductors in the temperature range

$$T_g < T < T_m$$

where T_g is the vitrification temperature, and T_m is the melting temperature of the material being investigated.

As a lower range limit was chosen the vitrification temperature, since because of relaxation processes the nucleation velocity lower of the given temperature is practically equal to zero.

For taking into account the nonstationarity of the crystalline phase nucleation we use the Kolmogorov–Avraami model [5] what is necessary for an adequate description of the spatial-temporal distribution of the crystalline phase degree as a laser pulse parameter function at the Gaussian beam intensity distribution in the focal plane. By mathematical model construction of the information writing (erasing) process we assume that the crystallization of recording medium irradiated microregion in the pulse heating mode occurs according to the nonisothermal crystallization mechanism.

THE TEMPERATURE FIELD CALCULATION

Simulating temperature fields we assume that the heat transfer process is purely of laminar nature and can be considered in the scope of the classical heat conduction theory.

Thus, let us consider the laser beam heating process of an information carrier area which is a chalcogenide film on a glass substrate. The heat transfer process in a film and substrate is described by the heat conduction equation

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \operatorname{div}(\psi \nabla T) + Q \quad (1)$$

where ρ is the material density, C_p is the specific heat capacity, ψ is the thermal conductivity coefficient, Q is the volume thermal source power.

The volume thermal source arises as a result of the absorption in the film of the laser radiation. The laser beam intensity $I(r)$ in the plane $z = 0$ is described by the Gaussian function

$$I(r) = \frac{P_0}{\pi r_0^2} \exp\left(-\frac{r^2}{r_0^2}\right) \quad (2)$$

where r_0 is the beam radius by level e^{-1} , P_0 is the laser power.

Everywhere below we shall consider the case when a recording medium is stationary relative to the laser beam, then because of the azimuthal symmetry of the latter the equation (1) will have the following form:

$$\rho C_p^{(k)} \frac{\partial T^{(k)}}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\psi^{(k)} r \frac{\partial T^{(k)}}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\psi^{(k)} \frac{\partial T^{(k)}}{\partial z} \right) + Q^{(k)} \quad (3)$$

where the index k takes on values of 1 or 2 relating, respectively, to the absorbing film and substrate.

As initial conditions we take the following: at initial instant of time $t = 0$

$$T_{1,2} \Big|_{t=0} = T_0, k = 1, 2 \quad (4)$$

where T_0 is the initial temperature.

The boundary conditions have the following form:

1. At the film-air interface the heat exchange is absent.

$$\frac{\partial T^{(1)}}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0 \quad (5)$$

2. At the film-substrate interface is assumed an ideal thermal contact:

$$T^{(1)} \Big|_{z=h-0} = T^{(2)} \Big|_{z=h+0}; \quad \psi^{(1)} \frac{\partial T^{(1)}}{\partial z} \Big|_{z=h-0} = \psi^{(2)} \frac{\partial T^{(2)}}{\partial z} \Big|_{z=h+0}; \quad (6)$$

At $r \rightarrow +\infty$ it is naturally to consider $T^{(k)} \rightarrow T_0, k = 1, 2$.

The energy absorption by a film is described by an expression:

$$Q = \frac{P_0}{\pi r_0^2} (1-R) \alpha \exp\left(-\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - \alpha z\right) \delta(h-z) \quad (7)$$

where R is the reflection coefficient in a plane $z = 0$, α is the volume attenuation coefficient.

For numerical solution of a boundary problem (3) – (6) we use an explicit difference scheme on five-point pattern. The equation (3) takes the form:

$$(\rho C_p)_{i,j} \frac{\Delta T_{ij}}{\Delta t} = \psi_{ij} \left(\frac{T_{i+1,j} + T_{i-1,j-2} - 2T_{i,j}}{\Delta r} + \frac{T_{i+1,j} - T_{i-1,j}}{2r\Delta r} + \frac{T_{i+1,j} - T_{i-1,j}}{2r\Delta r} + \frac{T_{i,j+1} + T_{i,j-1} - T_{i,j}}{\Delta z^2} \right) + Q_{i,j} \quad (8)$$

where $\Delta T_{i,j}$ is the temperature increment in a node (i, j) during the time interval Δt . We assume that grid nodes at $j = j_0$ fall on the film-substrate interface, then the second boundary condition will have the form:

$$\psi^{(1)} \frac{T_{i,j_0-1}^{(1)} - T_{i,j_0}^{(1)}}{\Delta z} = \psi^{(2)} \frac{T_{i,j_0}^{(1)} - T_{i,j_0+1}^{(2)}}{\Delta z} \quad (9)$$

where T_{ij} is the temperature value in grid nodes. Whence

$$\Delta T_{i,j_0} = \frac{\psi^{(1)} \Delta T_{i,j_0} + \psi^{(2)} \Delta T_{i,j_0+1}}{\psi^{(1)} + \psi^{(2)}} \quad (10)$$

At the film-air interface ($j = 1$) one must take account of the boundary condition (5) which, as is possible to show, brings to the following final-difference relationship:

$$(\rho C_p)_{i,1} \frac{\Delta T_{i,1}^{(1)}}{\Delta t} = \psi_{i,1} \left(\frac{T_{i-1,j}^{(1)} + T_{i+1,1}^{(1)} - 2T_{i,j}^{(1)}}{\Delta r^2} + \frac{T_{i+1,j} - T_{i-1,1}}{2r\Delta r} + 2 \frac{T_{i,2} - T_{i,1}}{\Delta z^2} \right) + Q_{i,1} \quad (11)$$

3. THE CRYSTALLIZATION PROCESS SIMULATION

In the present work during construction of a mathematical model of writing and erasing process we consider that the crystallization of irradiated microregion at pulse heating by laser radiation occurs according to the nonisothermal crystallization mechanism when a part

of the crystallized portion $\gamma(T)$ can be calculated according to the Kolmogorov–Avraami equation [5, 6]

$$\gamma(T) = 1 - \exp\left\{-\frac{4\pi}{3} \int_{T_0}^T V(T') \left[\int_{T_0}^{T'} U(T'') dT'' \right]^3 dT'\right\}, \quad (12)$$

where $V(T')$ is the nucleation velocity and $U(T'')$ is the crystal growth velocity. During calculation we take the most general case of nonstationary homogeneous nucleation and three-dimensional growth of arising nuclei [5, 6]. In this case

$$V(T) = V_0(T) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (13)$$

where $V_0(T)$ is the stationary nucleation velocity, τ is the relaxation time.

$$\tau = \frac{\pi r_k^2}{4D}$$

In the last relationship r_k is the critical nucleus radius and D is the diffusion coefficient calculated according to the Stocks-Einstein equation. For $V_0(T)$ and $U(T)$ we use the evaluated for a variety of chalcogenide materials expressions [5]

$$V_0(T) = N n_k^* Z \nu \exp\left(-\frac{\Delta G_A}{RT}\right) \exp\left(-\frac{\Delta G^* N_A}{RT}\right), \quad (14)$$

$$U = f \beta \nu \exp\left(-\frac{\Delta G_A}{RT}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{\Delta G}{RT}\right) \right] \quad (15)$$

where N is a number of atoms in unit volume of a metastable phase; n_k^* is a number of atoms on the critical nucleus surface; Z is the Zeldovich nonequilibrium multiplier; ΔG^* is the thermodynamic nucleation barrier; ΔG_A is the kinetic barrier; ν is the oscillation frequency of atoms which take part in jumping over the phase interface; R is the gas constant; N_A is the Avogadro number; f is a fraction of locations on the growing crystal surface to which can be attached structural units of amorphous phase; a is the linear dimension of a structural unit of amorphous phase; ΔG is the free energy change under crystallization.

Thus, calculating the temperature field distribution in a film of investigated material and solving for each temperature value the nonisothermal crystallization equation (12) we can calculate the spatial-temporal distribution of crystalline phase in the irradiation area.

4. THE NUMERICAL RESULTS

Using final-difference relationships (8) – (11) there was prepared a program allowing to simulate temperature fields in recording media. There were carried out the temperature fields calculations in a monolayer thin-film recording medium. The geometric, thermal and optical parameters of medium were assumed as follows: the film material is Sb_2Se_3 , the substrate material is silicate glass; the film thickness is, cm, 10^{-5} ; the volume heat capacity, ρC_p , erg/cm³ deg, of the film is $1,53 \cdot 10^7$, of the substrate is $2 \cdot 10^7$; the thermal conductivity, ψ , erg/cm³ sec deg, of the film is $1,47 \cdot 10^5$, of the substrate is $2 \cdot 10^5$; the volume attenuation coefficient, a , cm⁻¹, of the film is 10^5 , of the substrate is 0 (a transparent substrate), the reflection coefficient at the film-air interface is $R = 0,45$. The laser beam radius by level e^{-1} was assumed to be equal to $r = 0,5\mu$; the power was varied.

As a result of calculations there were obtained thermal field patterns and their change in time accordance with the acting radiation power and pulse duration. Thus, in fig.1 is shown the temperature distribution in irradiated microregion under action of a 10 mW pulse at pulse durations of 25,50 and 100 ns. As shown in figure the temperature is distributing non-uniformly: it is the highest at the spot center, and at the distance more than 1μ from the center the temperature excess relative to the ambient temperature is practically absent. This is explained by nonuniform (Gaussian) energy distribution by laser beam section. In fig.3 and 4 is shown the change in time of the temperature at the spot center ($r=0$) and at different distances from the center at powers of $P = 8$ mW and $P = 11$ mW and pulse duration equal to 300 ns. As shown in figures the heating velocity is not constant: it is maximum at the initial instant of time and then falls. At acting time of > 200 ns the temperature does not practically increase, since it is achieved the quasi-stationary temperature distribution. Because of that the heat velocity is different at different r : it is maximum at the center ($r=0$) and is decreasing with increasing of r . With increasing the radiation power the heating velocity is increasing.

Knowing the spatial-temporal temperature distribution in the irradiated region we calculate the spatial-temporal distribution of the crystalline phase fraction y , solving the nonisothermal crystallization equation (12). Entering in the (12) quantities of nucleation velocity and crystal growth velocity were calculated according to formulas (13–15). In fig.4 and 5 is shown the spatial-temporal distribution of the crystalline phase in the irradiated region at acting radiation powers of 8 and 11 mW. As shown in figures the spatial dynamics of amorphous film crystallization varies with power change. Thus, at power equal to 8 mW the highest crystallization velocity is achieved at the irradiated region center; when removing from the center the crystallization velocity is decreasing. At the given power a crystallized area will present a circle the diameter of which at long-term action will tend to the isotherm diameter. At power equal to 11 mW the highest crystallization velocity is achieved at the distance of $0,3\text{--}0,35\ \mu$ from the spot center; at the spot center it will be essentially lower. Thus, at defined power values and acting pulse duration can arise a crystallized region as a ring; so, at pulse duration of 300 ns (fig.5) the 100 % crystalline phase region will be like a ring with internal radius of $0,2\mu$ and outer radius of $0,4\mu$; only during sufficiently long-term action ($t > 200$ ns) there will be obtained a crystallized region. The crystallization velocity difference by changing the distance from the spot center is explained by different advent conditions of crystalline phase nucleation what exhibits in a different nucleus quantity arising during the pulse action time interval in film volume unit at different distances from the irradiated region center. Thus, at pulse duration of 300 ns and power of 8 mW at the region center are formed about 10^{25} nuclei in volume unit and at the distance of $0,3\mu$ from the center are formed 10^{24} (smaller by an order of magnitude). At power of 11 mW at the distance of $0,3\mu$ are formed for the same action time 10^{25} nuclei and at the spot center are formed only 10^{22} (smaller by three orders of magnitude). The stationary nucleation velocity is a function of temperature the form of which is shown in fig.6. As shown in fig.6 the maximum value of nucleation velocity V_0 is achieved at $T = 380\text{--}400\ \text{°C}$; at decreasing or increasing of temperature the nucleation velocity is sharply decreasing; so, at the temperature of $280\ \text{°C}$ or $480\ \text{°C}$ it is by three orders of magnitude smaller than the maximum value. Furthermore, at no isothermal crystallization an important role plays the heating velocity. As shown in the formula (13), if the heating velocity is high and, respectively, the time of process is little, the nucleation velocity will be sufficiently lower than the stationary nucleation velocity (T) at the respective temperature. If at power equal to 8 mW the optimum conditions for new phase nucleation arise at the spot center (the quasi-stationary temperature is close to the temperature of stationary nucleation velocity maximum (T), (fig. 2) and with

increasing the distance from the center the quasi-stationary temperature is removing from the optimum (is decreasing), this leads that the maximum crystallization velocity is achieved at the center and is decreasing with increasing the distance from the center. At power equal to 11 mW the conditions at the spot center are far from being optimal (fig.3), since the quasi-stationary temperature is much higher than the temperature of stationary nucleation velocity maximum (T); and although the temperature of this area during the heating process covers values which are optimal for nucleation (fig.2), but because of the high heating velocity at this instant of time the nucleation velocity will not be high. The nucleation conditions (the quasi-stationary temperature and heating velocity) will be optimal at the distance of 0,3–0,35 μ from the center (they will approximately comply with conditions at the spot center at power equal to 8 mW). This will cause the crystallization velocity to be the highest at the distance of 0,3–0,35 μ from the spot center (fig.5).

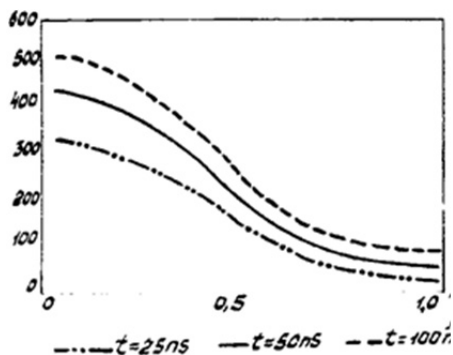


Fig. 1. The temperature distribution in irradiated microregion. The power is $P = 10$ mW. The irradiation duration is: 1 – 25 ns; 2 – 50 ns; 3 – 100 ns

5. CONCLUSION

By mathematical simulation of the thermal crystallization process of Sb-Se films with allowance for nucleation nonstationarity is shown that the crystalline phase distribution in the irradiation area depends nonlinearly on the laser radiation power and writing pulse duration. Under specific conditions is observed a ring distribution of crystalline phase in the irradiation area with an evidently pronounced gap at the irradiation area center. Such distribution is bound up with decreasing of a nucleation number at the irradiation area center. For Sb-Se films the excess of writing pulse power over 30–40% in comparison with power level at which is observed a uniform crys-

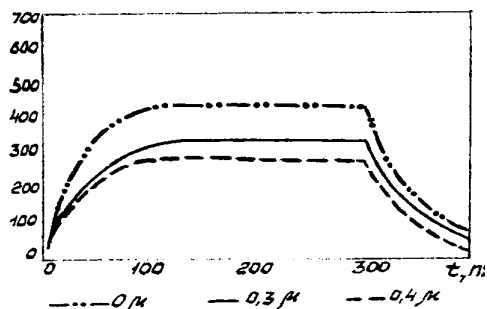


Fig. 2. The change in time of temperature at the center of irradiated microregion ($r = 0$) and at distances of 0,3 μ and 0,4 μ from the center. The laser radiation power is $P = 8$ mW; the pulse duration is 300 ns

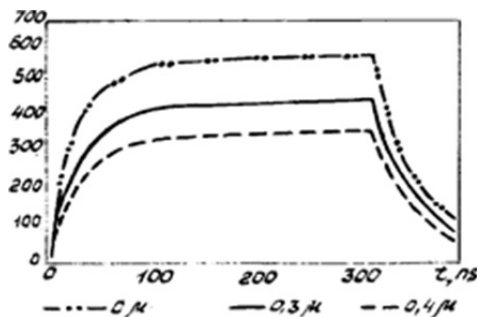


Fig. 3. The change in time of temperature at the center of irradiated microregion ($r = 0$) and at distances of 0,3 μ and 0,4 μ from the center. The laser radiation power is $P = 11$ mW; the pulse duration is 300 ns

tallization causes the advent of a ring crystalline area. The suggested mathematical model allows to calculate such mode of laser radiation action on an amorphous thin film at which is ensured a uniform crystalline phase distribution what is necessary for ensuring a high signal-to-noise ratio during the information reproduction.

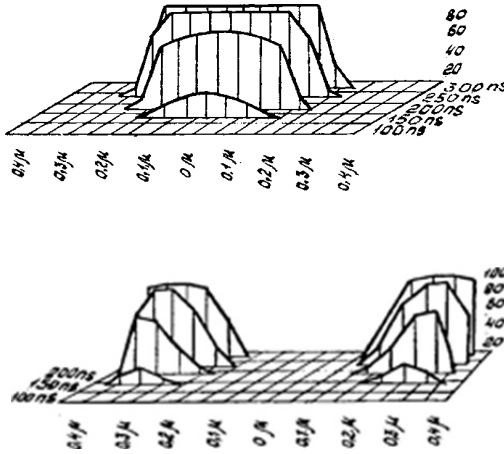


Fig. 4. The spatial-temporal distribution of the crystalline phase in irradiated microregion. The laser radiation power is $P = 8 \text{ mW}$

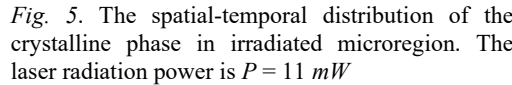


Fig. 5. The spatial-temporal distribution of the crystalline phase in irradiated microregion. The laser radiation power is $P = 11 \text{ mW}$

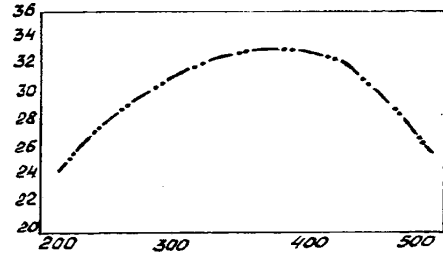


Fig. 6. The dependence of the nucleation velocity on the temperature

REFERENCES

1. *P.M.L.O.Scholte, d.J.Gravesteijn* New materials for reversible optical storage applications. Proc. 7-th Int.Conf. Video. Audio and Date Rec., York. 22–24 March 1988. pp.11–14.
2. *Susumu Fujimori, Shodo Yagi, Hiroki Yamazaki, Nobuhiro Funakoshi* Crystallization process of Sb-Te alloy films for optical storage. J. Appl. Phys., vol. 64(3). pp.1000–1004. 1 August 1988.
3. *H. Minemura, H. Andoh, N. Tsuboi, Y. Maeda, Y. Sato* Three-dimensional analysis of overwritable phase-change optical disks J. Appl. Phys. 1990. v. 67, N. 3. p. 2731–2735.
4. *H. Situ, Z.T. Wang, A.L. Jung* Mechanism of transformations in phase-change optical recording media! Journal of Non-Crystalline Solids. 1989, N 113. p.88–93.
5. *Lapin Y.K., Mihajlov M.D.* Nonisothermic crystallization glass system Ge-Se. Phys. and chem.of glass. 1990. V. 16, N 3. pp.349–354.
6. *Skripov V.P., Coverda V.P.* Spontaneous crystallization of supercooled liquids, Moscow, 1984. 232 p.

Возможность использования окислов, активированных редкоземельными ионами, в качестве активных слоев электролюминесцентных экранов

В. В. Петров, В. И. Зименко, В. Г. Кравец,
А. М. Даргейко, В. Е. Родионов

Журнал технической физики. 1994. Т. 64, № 10. С. 112-118.

Изучены спектры фотолюминесценции оксидов SnO_2 , In_2O_3 , Y_2O_3 , Yb_2O_3 , CaO и их смесей, легированных редкоземельными элементами, на предмет возможности их использования в качестве люминесцентных экранов. Показано, что при возбуждении люминесценции аргоновым лазером, можно получить гамму цветов от зеленого к красному. Спектры люминесценции оксидов с добавками Eu^{3+} характеризуются значительно большим набором линий свечения по сравнению со спектральными характеристиками излучения Ce^{3+} , что свидетельствует о снятии вырождения уровней ${}^7\text{F}_{1,2}$ -центров люминесценции Eu^{3+} . Исследование спектров комбинационного рассеяния света позволило установить симметрию примесного центра Eu^{3+} в матрицах на основе оксидов редкоземельных элементов, она соответствует группе C_{3v} . Симметрия ионов Ce^{3+} при замещении ими In^{3+} , Sn^{2+} , Y^{3+} в решетке оксида значительно выше, чем C_{3v} , поэтому и спектр фотолюминесценции состоит только из двух линий в видимой области, энергетическое положение которых незначительно зависит от типа оксидной матрицы.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в качестве матрицы люминесцентных экранов используют щелочноземельные сульфиды, активированные редкоземельными добавками. Однако сульфиды ZnS , SrS , CaS химически неустойчивы и гигроскопичны, что вызывает необходимость применения дополнительных мер по стабилизации экранов, созданных на их основе. Помимо этого, важной проблемой является получение тонких пленок, обеспечивающих многоцветность экрана, особенно его голубую окраску. Предполагается, что если вместо сульфидов щелочноземельных металлов использовать их оксиды, то можно решить задачи стабильности и цветности электролюминесцентных (ЭЛ) экранов [1]

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Данная работа посвящена исследованию возможности использования слоев In_2O_3 , $(\text{Y}_2\text{O}_3)_{0.5}(\text{In}_2\text{O}_3)_{0.5}$, $(\text{Y}_2\text{O}_3)_{0.4}(\text{In}_2\text{O}_3)_{0.6}$, $(\text{Y}_2\text{O}_3)_{0.5}(\text{SnO}_2)_{0.5}$ активированных ионами Eu^{3+} в количестве 3–5 вес. %, а также $(\text{In}_2\text{O}_3)_{0.5}(\text{SnO}_2)_{0.5}:\text{Ce}^{3+}$ и $\text{CaO}:\text{Eu}, \text{Sm}$ в количестве 5 вес.%, в качестве активных слоев ЭЛ экранов. Известно, что важными характеристиками ЭЛ экранов являются яркость и набор его цветовых характеристик. Поскольку существует связь между этими параметрами и фотолюминесцентными характеристиками материала активного слоя, то были исследованы спектры фотолюминесценции (ФЛ) оксидных материалов. Кроме того, методом комбинационного рассеяния света (КРС) изучалась симметрия примесных ионов Eu^{3+} и Ce^{3+} в матрицах оксидов, так как основные характеристики спектра ФЛ связаны с симметрией ближнего окружения центра свечения. Источниками возбуждения спектров ФЛ служили аргоновый лазер

ЛГН-502 ($\lambda_{\text{возб}} = 488 \text{ нм}$) и ртутная лампа ДРШ-250. Спектры ФЛ в области 400 – 800 нм регистрировались с помощью спектрометра ДФС-52М и спектрального вычислительного комплекса КСВУ-23. Спектры КРС получены с помощью ДФС-52М. КРС возбуждалось аргоновым лазером ($\lambda_{\text{возб}} = 488 \text{ нм}$) и регистрировалось при комнатной температуре. Исследуемые образцы представляли собой таблетки, спрессованные из дисперсного порошка – смеси исходных компонент. Этот способ используется для изготовления мишеней, предназначенных в дальнейшем для осаждения пленок исходного вещества на стеклянные подложки методом электронно-лучевого испарения, и получения, таким образом, активных слоев тонкопленочных ЭЛ экранов.

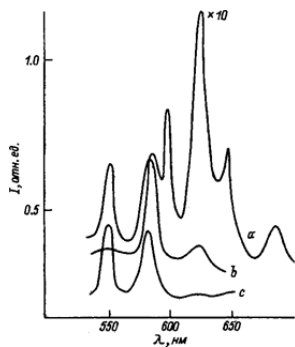


Рис. 1

Анализ спектров ФЛ всех материалов, проводившийся в сравнении со спектрами ФЛ оксидов $\text{SnO}_2:\text{Eu}$ (5 вес.%) и $(\text{In}_2\text{O}_3)_{0.5}(\text{SnO}_2)_{0.5}:\text{Eu}$ (5 вес.%), показывает, что интенсивность ФЛ убывает при частичной замене в смеси оксида олова оксидом индия (рис. 1,а). Спектры ФЛ этих оксидов характеризуются линиями излучения: зеленой при $\lambda_1 = 545 \text{ нм}$ и желтой при $\lambda_2 = 582 \text{ нм}$. Спектр ФЛ $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ (3 вес.%) также содержит две эти линии: зеленую и желтую. Если же сравнить спектр ФЛ $(\text{In}_2\text{O}_3)_{0.5}(\text{SnO}_2)_{0.5}:\text{Eu}^{3+}$ (3 вес.%), активированного Eu^{3+} (3 вес.%), со спектром ФЛ того же оксида с добавкой Ce^{3+} (5 вес.%), то видно, что эти спектры очень подобны и отличаются только тем, что спектр материала, активированного Eu^{3+} , содержит дополнительную красную линию малой интенсивности с $\lambda = 610 \text{ нм}$ (рис. 1,б). Интенсивность ФЛ повышается на порядок (рис. 1, в) при частичной замене In_2O_3 оксидом иттрия Y_2O_3 . В спектрах ФЛ материалов $(\text{Y}_2\text{O}_3)_{0.5}(\text{In}_2\text{O}_3)_{0.5}:\text{Eu}^{3+}$ (5 вес.%) присутствуют линии излучения в оранжевой и красной областях спектра с $\lambda = 593, 610, 630, 660$ и 710 нм . Достаточно большой набор линий излучения присущ материалу $\text{Yb}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ (5 вес.%) с $\lambda = 545, 582, 593, 610, 630, 660 \text{ нм}$. Сравнительный анализ яркостных характеристик излучения показал, что максимальной интенсивностью ФЛ обладает $\text{CaO}:\text{Eu}^{3+}$, Sm^{3+} (по 5 вес.%). Для него характерны широкая полоса излучения с центром при $\lambda = 610 \text{ нм}$ и линия значительно меньшей интенсивности при $\lambda = 630 \text{ нм}$.

Сопоставление расстояний между уровнями в энергетическом спектре свободного иона Eu^{3+} и линиями в спектрах ФЛ оксидов, содержащих Eu^{3+} , проводилось в соответствии с известными экспериментальными данными о спектрах ФЛ ионов Eu^{3+} в матрице Y_2O_3 [3,4]. Наблюдаемые в спектрах ФЛ особенности на длине волны 545 нм обусловлены, по-видимому, переходами электронов между уровнями ${}^7\text{F}_1 - {}^5\text{D}_1$. Поскольку в электрическом кристаллическом поле матриц оксидов происходит штарковское расщепление [3] возбужденного уровня ${}^7\text{F}_2$ примесных ионов Eu^{3+} , то в спектрах ФЛ регистрируются два пика при 630 и 610 нм (рис. 1), соответствующие переходам ${}^5\text{D}_0 - {}^7\text{F}_2$, а также пик при 582 нм, сопоставимый с переходом ${}^5\text{D}_0 - {}^7\text{F}_0$. Пик ФЛ при $\lambda = 593 \text{ нм}$ сопоставим с переходом ${}^5\text{D}_0 - {}^7\text{F}_1$ [3]. Линия излучения при 660 нм, по-видимому, обусловлена переходом электронов между уровнями ${}^5\text{D}_0 - {}^7\text{F}_1$ в Eu^{3+} [3, 4]. Наблюдаемый максимум ФЛ при 650 нм, вероятно, обусловлен переходами электронов между уровнем ${}^5\text{D}_0$ и штарковским подуровнем ${}^7\text{F}_3$, что согласуется с данными об энергетическом расстоянии между соответствующими уровнями [3].

Наблюдаемый пик ФЛ в области 720 нм авторы работы [1] связывают с электронными переходами $4f^65d - 4f^7$ в ионах Eu^{2+} , которые присутствуют как в пленках $\text{CaO}:\text{Eu}^{3+}$, так и на поверхности оксидов вследствие их недоокисления.

Измерение спектров ФЛ оксидов, активированных ионами Eu^{3+} и Ce^{3+} , позволило построить их цветовой график в прямоугольной системе координат x, y , где x, y – координаты цветности в системе, утвержденной Международной комиссией по освещенности (МКО).

На рис. 2 показан цветовой треугольник, координаты вершин которого соответствуют основным цветам X, Y, Z; точки, заключенные внутри равностороннего треугольника, характеризуют определенную цветность, заданную двумя координатами цветности X и Y.

Так, оксиды $\text{CaO}:\text{Eu}, \text{Sm}$; $(\text{Y}_2\text{O}_3)_{0.5}(\text{In}_2\text{O}_3)_{0.5}:\text{Eu}$; $\text{Yb}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ будут определять красный цвет ЭЛ экрана с координатами цветности $x = 0.62$ и $y = 0.37$. Оксид $\text{SnO}_2:\text{Eu}$ (5вес.%) имеет координаты цветности $x = 0.42$, $y = 0.57$, что попадает в желтый треугольник цветности. ЭЛ экран, содержащий оксиды $(\text{In}_2\text{O}_3)_{0.5}(\text{SnO}_2)_{0.5}:\text{Ce}$ и $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Eu}$, будет иметь преобладающий зеленый цвет излучения с координатами $x = 0.39$, $y = 0.61$. Экспериментальные данные, представленные на рис. 2 и построенные по аналогии с работой [2] для сульфидов $\text{Sr}(\text{Ca})\text{S}:\text{Eu}(\text{Ce})$, показали, что при использовании в качестве активных слоев ЭЛ экранов оксидов Yb_2O_3 , Y_2O_3 , SnO_2 , In_2O_3 с добавками ионов Eu^{3+} или Ca^{3+} можно получить гамму цветов от красного до зеленого. Следовательно, матрица оказывает сильное влияние на энергетические расстояния между основным и возбужденными уровнями ионов редкоземельных элементов и соответственно на спектр ФЛ.

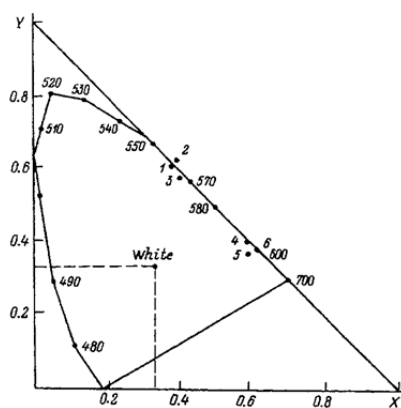


Рис. 2

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для установления симметрии центра ФЛ в решетке матрицы и идентификации энергетических уровней, определяющих переходы электронов, был проведен анализ спектров КРС исследуемых материалов. Известно, что элементарная ячейка оксидов лантаноидов содержит одну формальную единицу. В центре зоны Бриллюэна должны наблюдаться оптические колебания со следующими типами симметрии: $2A_{1g} + 2E_g + 2A_{2u} + 2E_u$ [4]. Согласно правилам отбора, в спектрах КРС проявляются 4 колебания ($2A_{1g} + 2E_u$), а в ИК спектрах – 4 колебания ($2A_{2u} + 2E_u$).

Экспериментально в спектрах КРС материала $\text{Yb}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ наблюдались две нерасщепленные линии 465 и 950 см^{-1} , а в спектрах $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ – линии 305, 365, 495, 630, 665, 880 и 940 см^{-1} .

Согласно теоретико-групповому анализу, в спектрах КРС материала SnO_2 должна проявляться лишь одна линия. В материалах $\text{SnO}_2:\text{Eu}^{3+}$ экспериментально регистрировались колебания с частотами 475, 630, 775, 940 см^{-1} . Поэтому можно утверждать, что примесный ион, занимающий место Sn^{2+} , испытывает влияние поля кристаллической решетки и симметрия его окружения понижается. В Y_2O_3 симметрия центра Eu^{3+} понижается до C_{3u} [3], что проявляется в спектрах КРС $(\text{Y}_2\text{O}_3)_{0.4}(\text{In}_2\text{O}_3)_{0.6}:\text{Eu}^{3+}$ и $(\text{Y}_2\text{O}_3)_{0.5}(\text{In}_2\text{O}_3)_{0.5}:\text{Eu}^{3+}$ в виде дополнительных линий с частотами 325, 380, 440, 480, 630, 940 см^{-1} соответственно.

Экспериментальные результаты КРС позволяют сделать вывод, что симметрия ионов Eu^{3+} в матрице In_2O_3 ниже, чем в однотипной матрице Y_2O_3 , так как спектр КРС оксида индия с Eu^{3+} содержит дополнительные линии. Если сравнить спектр КРС $(\text{In}_2\text{O}_3)_{0.5}(\text{SnO}_2)_{0.5}:\text{Eu}^{3+}$, в котором проявляются линии с частотами 475, 495, 630, 775,

940 см⁻¹ со спектрами исходных матриц, то он в первом приближении совпадает со спектром КРС SnO₂.

Сопоставление спектров КРС (In₂O₃)_{0.5}(SnO₂)_{0.5}:Eu³⁺: пять частот и (In₂O₃)_{0.5}(SnO₂)_{0.5}:Ce³⁺: три частоты (линии с частотами 465, 630, 980 см⁻¹) показывает, что симметрия ионов Ce³⁺ выше, чем Eu³⁺. Поэтому в кристаллическом поле более низкой симметрии происходит снятие вырождения уровней ⁷F₁ и ⁷F₂ центров люминесценции Eu³⁺ в отличие от уровней ²F_J ионов Ce³⁺, что проявляется в виде линий излучения с λ = 593, 610, 630, 660 нм в спектрах ФЛ материалов, активированных европием, по сравнению с λ = 545 и 582 нм для центров Ce³⁺.

Сдвиг и расщепление уровней ⁷F₁ иона Eu³⁺ зависит от кристаллического поля и от расстояния между ионами катиона и аниона в оксидных матрицах. Согласно результатам работы [1], интенсивность ФЛ существенно падает при уменьшении постоянной решетки, так как при этом уменьшается величина электрического дипольного момента, соответствующего переходам ⁵D₀-⁷F₁, ⁷F₂. Если сравнить две кубические решетки In₂O₃ (a = 10.1 Å – постоянная решетки) и Y₂O₃ (a = 10.6 Å) [3,5], то в соответствии с выводами работы [1] замена SnO₂ на Y₂O₃ приведет к росту интенсивности ФЛ в оксидах In₂O₃, что регистрировалось экспериментально. Отметим, что интенсивность переходов ⁵D₀-⁷F_{1,2} (593, 610 нм) в Eu³⁺ и ⁵D₀-⁷F₂ (630 нм) близки, что позволяет сделать вывод о симметричном окружении иона Eu³⁺ в матрицах SnO₂ и In₂O₃.

Проведенные исследования показали, что максимум интенсивности ФЛ в материалах Y₂O₃, Yb₂O₃, CaO с добавками Eu³⁺ формируется за счет переходов электронов, которые не включают энергетический уровень основного состояния ⁵D₀ - ⁷F₀. А относительно большая интенсивность, связанная с переходами электронов между уровнями ⁵D₀ - ⁷F_{1,2}, указывает на низкую локальную симметрию центров свечения Eu³⁺ [4], что согласуется с результатами исследований КРС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованы спектры излучения ионов Eu³⁺ и Ce³⁺ в оксидных матрицах SnO₂, Y₂O₃, In₂O₃, Yb₂O₃, CaO. Установлено, что число линий излучения и их интенсивность сильно возрастают в материалах на основе оксидов редкоземельных элементов и их различных смесей по сравнению с In₂O₃, SnO₂. Проведено сопоставление спектрального положения линий ФЛ с переходами между возбужденными и основными уровнями ионов Eu³⁺ и Ce³⁺. Изучены спектры КРС ионов Eu³⁺ и Ce³⁺ в оксидных матрицах, которые показали, что ионы Eu³⁺ неоднозначно занимают положения In³⁺, Sn²⁺, Y³⁺ в решетке, поэтому значительно понижается симметрия их ближнего окружения. Из спектров КРС следует, что ионы Ce³⁺ внедряются в решетку оксида более упорядоченно по сравнению с Eu³⁺.

Построен график цветности активных слоев ЭЛ экранов, окислов SnO₂, Y₂O₃, In₂O₃, CaO, активированных Eu³⁺ и Ce³⁺. Показано, что при использовании этих материалов в качестве ЭЛ экранов можно получить гамму цветов от зеленого к красному. Для всех исследованных материалов приведены координаты цветности в системе X, Y, Z, утвержденной Международной комиссией по освещенности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Yoshio Abe, Ken-ichi Onisawa, Yoshimasa A. Ono, Masanobu Hanazono* // Jap. J. Appl. Phys. 1990. Vol. 29. N 2. P. 305-307.
2. *Yoshimasa A. Ono, Moriaki Fujama, Ken-ichi Onisawa et al.* // J. Appl. Phys. 1989. Vol. 66. N 11. P. 5564-5571.
3. *Kobler U.* // Z. Phys. 1971. Bd 247. P. 289-303.
4. *Золн В.Ф., Царюк В.И., Маркушев В.М. и др.* // ЖПС. 1986. № 4. С. 594-601.
5. *Рахлин М.Я., Родионов В.Е., Савин А.К., Соколова Т.Г.* // Неорган. матер. 1992. Т. 28. № 4. С. 800-804.

Oxides doped with rare-earth ions as a recording medium with multiple rewriting

V. I. Zimenko, V. V. Petrov, V. G. Kravets,
V. V. Motuz, A. V. Prygun, N. E. Yanchuk

Proc. SPIE 3055, International Conference on Optical Storage, Imaging and Transmission of Information (28 February 1997). V. 3055. P. 31–37.

1. INTRODUCTION

The optical memory on materials having the properties of electron trapping is a new direction at development of information storage and rewrite [1-3].

Currently are pursued investigations directed on creation of a new type recording medium with the opportunity of information rewrite by optical methods [1-4] as well as a medium for heteroassociative memory in optical neural systems [5, 6]. Primarily as such medium are used alkaline-earth metal sulphides activated by two rare-earth elements.

When creating the memory on materials with electron trapping on the basis of alkaline-earth sulphides there arises a number of difficulties: a) these materials are chemically unstable, especially they are subject to the action of water vapours; b) films prepared by electron-beam evaporation technique have a polycrystalline structure with grain sizes in the order of 20 nm what has an essential influence on the signal-to-noise ratio at information reading [3].

The main objective which is pursued by us consists in investigating the optical properties of new synthesized materials having the electron trapping properties which are characterized by chemical stability and are easy manufacture at preparation of amorphous structures. We have also recommended to use CaO (MgO) doped with Eu, Sm. It is known, that the optical stimulated luminescence (OSL) obtains in CaO. But OSL appears in the special prepared structures with defects. For this aim there are some methods: thermochemical reduction or radiation processing by electron beam. Besides that the OSL obtains only by nitrogen temperature (77 K).

2. THEORY AND EXPERIMENTAL

In fig.1 are shown: a spectrum of UV excitation which is necessary for storing up the light energy on trapping levels and corresponding to an information record pulse (curve 1); an IR excitation spectrum of stimulated photoluminescence corresponding to an information reading pulse (curve 2); and a spectrum of stimulated anti-stokes photoluminescence corresponding to a reading signal (curve 3).

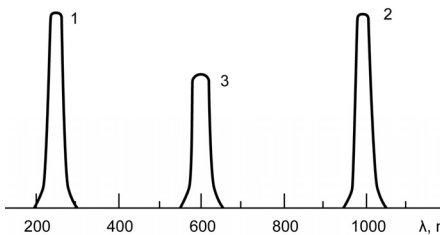


Fig.1

The presented relationships for oxide materials at the room temperature are established for the first time.

In fig. 2 is shown a standard structure of widely used currently optical disks, but now by applying recording two-level reversible medium for information recording by photoluminescence method.

According to a method proposed by us, information recording occurs by 266 nm focused optical radiation (the 4-th harmonic of Nd:YAG

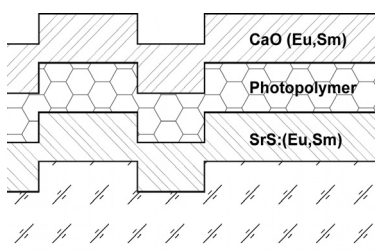


Fig. 2

laser). The duration of recording pulse is 10–100 ns at the radiation power density of 10^{-3} – 10^{-4} W/cm², respectively.

The necessity for using for information recording the short-wave 200–300 nm laser radiation of spectral range is caused by the fact that only in this case in materials on the basis of alkaline-earth oxides will occur the trapping of electrons into long-lived energy levels formed by rare-earth element ions in the forbidden band of wide-gap semiconductors (band gap width is $E_g > 5$ eV). Taking into account the fact that

the diameter of information bit recorded on the optical carrier surface is directly proportional to the wavelength of recording source: $d_r \approx 0,61(\lambda/N_A)$ (N_A is numerical aperture of the focusing microobjective at $N_A = 0.65$, $d_r \approx 0,3$ μm) and the recording density is determined by relationship: $\rho = 1/(24d_r^2) \approx 0.5 \times 10^6$ bit/mm², then at realization of proposed method of information recoding is achieved a high surface recording density.

The exposure time at information recording is determined by laser pulse duration and depending on power can be 10–100 ns. The reading of recorded in form a non is carried out by laser radiation at wavelength $\lambda = 1064$ nm (the 1-st harmonic of Nd:YAG laser) which is focused by the reading microobjective $N_A = 0.65$ up to size of $d \approx 1$ μm . In this case the power of reading radiation is approximately one-tenth as large as the power of recording radiation. The fact that the diameter of laser beam at reading is larger than at recording has no essential influence on the process of information reproduction. It occurs because the photoluminescent glow, arising under the action of IR-stimulating radiation on recording medium, is registered only when it is a maximum, what takes place at centres coincidence of recording and reading laser beams.

The reading signal is photoluminescence radiation of visible optical spectrum range (520–600 nm). The location of radiation maximum and its half-width depend on the type of used rare-earth dopes: europium or cerium which play a role of activators, and samarium which acts as a sensitizer. Since in the method proposed by us the information recording is carried out by laser UV-region radiation, the reading – by IR spectral range radiation, and the registered reading signal is located in the visible spectral range, then the application of optical filters will permit to obtain a large value of signal-to-noise ratio and will provide high reliability at information reading.

Thus the proposed method of information recording and reproduction provides high-speed of response for recording and reliability of information reading in real time.

The realization of proposed method on the mentioned above media allows to carry out the multiple rewrite of information. And the simultaneous use of alkaline-earth metal sulphides and oxides activated by rare-earth ions and the fact that the recording and reproduction signals for these material have different spectra permits to realize two-level reversible recording.

In fig. 2 is shown the structure of information disks with two reversible recording layers in which the recording, reading and erasing of information is carried out by a method proposed by us. The lower recording layer (level) is a recording medium on the basis of sulphide (presumably of strontium sulphide) with europium and samarium dopes similarly to a prototype. And the upper level, viewed in the path of recording laser beam, is an oxide matrix activated by europium and samarium. The information recording on the lower registration level (the sulphide material with dopes of Eu^{2+} and Sm^{3+} ions) is carried out by the third

harmonic radiation of the Nd:YAG laser ($\lambda = 399$ nm). By passing the laser radiation at such wave length through the upper recording layer, consisting of alkaline-earth elements oxides activated by europium and samarium, in it will take no place the storing up of light energy in the form of electron trapping onto excited trapping levels, i.e. for such wavelength the upper layer will be “transparent”. But in this case will occur the information recording on the lower recording layer. In order that would take place the trapping of electrons by the upper level, it is necessary to irradiate the oxide materials by radiation at wavelengths $\lambda = 200\text{--}280$ nm. For information recording on the upper registering level one can use the laser radiation of the fourth Nd:YAG laser harmonic ($\lambda = 266$ nm).

For increasing the recording reability on the lower level between recording layers is located an intermediate polymeric layer into which one can add substances absorbing the laser radiation at wavelength $\lambda = 266$ nm and thereby preventing its ingress on the lower level. And in a simpler realization variant of two-level registering system it is sufficient to choose the thickness for an intermediate polymeric layer in the order of 40 pm. Such layer is used in compact disks with an increased information recording density at two-layer variant of its recording.

For information recording by optical method is used a collimated laser beam with Gaussian intensity distribution profile: $I(r) = P_0/(2\pi\sigma^2)\exp(-r^2/2\sigma^2)$, where P_0 is radiation power in center of focused beam, r is distance from spot center, δ is dispersion of radiation.

In the case of using the threshold recording medium the information recording occurs along the recording layer boundary where the power density of the radiation incident on the layer surface reaches some threshold value P_{thr} for a given layer. By using as recording media materials with electron trapping synthesized on the basis of sulphide and oxide materials doped with rare-earth ions the density of which is $\sim 10^{18}$ cm⁻³, for recording one bit about the size of 1 μm^3 the threshold recording energy is 10^{-13} j. And the saturation occurs at the information recording energy of 10^{-11} j/ μm^3 . And since for information recording is used the laser radiation of UV spectral range, then parallel with small sizes of information bits ($d_r \approx 0,61(\lambda/N_A)$) there will be a small value the depth of focusing $\Delta Z = \lambda/(2N_A^2) = 0,5 \div 1$ μm , too. The performed calculations showed, that by using for the laser radiation focusing with Gaussian intensity distribution profile of a focusing microobjective with $N_A = 0,65$, the power density of divergent laser radiation at a distance of 5 pm from a focus is reduced more than by a factor of 30. Thus, in our case the thickness of a polymer layer between recording layer can be only 10–15 μm .

The information reading from two-layer reversible information carrier is carried out by focusing in turns the radiation of the first Nd:YAG laser harmonic ($\lambda = 1064$ nm) on the surface of an appropriate recording layer. As a source of reading radiation can be applied a semiconductor laser at wavelength ~ 1060 nm, too. The power of laser radiation at information reading is more than by a factor of 10^2 lower than at recording. Under the action of a reading laser pulse in those areas of recording layer in which was performed information recording by UV laser radiation will arise the stimulated photoluminescence glow. If information reading is executed from the lower registering level (from a sulphide material), then the stimulated photoluminescence glow would be a maximum in the wavelength range $\lambda = 630\text{--}660$ nm (red light). And at information reading from a recording layer on the basis of oxide matrix (the upper level) the stimulated photoluminescence radiation will have a maximum intensity in the wavelength range of 520–600 nm, i.e. in the region of optical spectrum at shorter wavelength (yellow-green light). Thus the information reading signals from different levels are separated over the spectral range and their selection is possible when using optical filters which will transmit only the red or yellow-green photoluminescence glow to the appropriate photoreceiver.

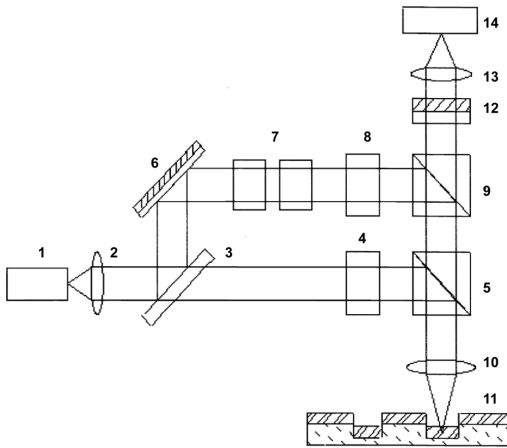


Fig. 3

splitting cube 5 which transmits the radiation of the whole optical range (from 200 to 1200 nm) and reflects the radiation only at wavelength $\lambda=1064$ nm. The other, stronger part of the laser radiation flux is directed on a dummy mirror 6 being reflected from which it passes through a double transducer 7 on the output of which we have the 4-th harmonic of the main frequency of a laser 1 ($\lambda = 266$ nm). After transformation the laser beam comes to an electrooptic modulator 8 modulating the light flux at information recording. A laser flux, passed through a modulator, is reflected by a chromatic beam-splitting cube 9 which like cube 5 also transmits the whole optical range and reflects the radiation only at wavelength $\lambda = 266$ nm. The laser radiation at information recording (at $\lambda = 266$ nm) or at reading (at $\lambda = 1064$ nm) is focusing by a microobjective 10 on the surface of recording medium on the basis of electron trapping materials 11. The stimulated photoluminescence radiation is collected by a microobjective 10 and is directed on a photoreceiver 10 before which is set up a filter 12 transmitting the light flux over the visible spectral range ($\lambda = 520 \div 600$ nm) and a collecting lens 13.

3. CONCLUSIONS

1. For the first time is revealed the stimulated by IR-light photoluminescence in alkaline-earth oxides with rare-earth ion dopes.
2. A method of information recording with the feasibility of its multiple rewrite on alkaline-earth oxides activated by rare-earth ions is proposed.
3. The principles of two-level reversible information recording based on the stimulated photoluminescence effect are developed.
4. A device for information recording/reading on the photoluminescence effect is developed.

REFERENCES

1. *J. Lindmayer*. New Erasable Optical Memory. *Solid State Technology*. 1988, August. p.135-138.
2. *Petrov V.V., Zimenko V.I., Kravets V.G.*, et. al. Study of Optical Data Recording Based on Photoluminescence Effect. *Proc. SPIE*. 1991. v.1621. p.45-50.
3. *T.J. Hsieh, R. Revay and D. Brower*. Microstructure and characterization of electron-trapping stimuable phosphor SrS:(Eu,Sm) thin film on glass. *J.Vac.Sci.Technol. A* 13(6), Nov.-Dec. 1995. p.2732-2738.
4. *Yasuaki Tamura*. Concentration quenching of infrared stimulated luminescence in CaS:Eu,Sm. *Jpn.J.Appl.Phys.* 1994. v.33. N8. pp. 4640-4646.
5. *N.H. Farhat*. Electron trapping materials for adaptive learning in photonic neural networks. *Proc. SPIE*. 1991. v.1621. pp. 310-319.
6. *A. D. McAulay et.al*. Optical heteroassociative memory using spatial light rebroad casters. *Appl.Optics*. 1990. v.29. N14. pp. 2067-2073.

The evaporation method of recording media onto cylindrical information carriers

Andriy Tamai, Olessya Bogdanova, Valeriy Krylenko,
Myron Durkot, Viacheslav Petrov, Andriy Kryuchin

Proc. SPIE. 1997. V. 3055. P. 207–211.

ABSTRACT

At present there exist many methods of preparing film structures on an inner surface of cylindrical elements by vacuum technology. They are designed for evaporation of metallic, oxide and other surface layers mainly and cannot practically be used for the formation of optical layers using multi-component, strong dissociative materials. Therefore we have developed the flash evaporation method using fiber as a film-forming material. This method allows us to obtain defect-free, X-ray amorphous, uniform over the thickness recording layers from multi-component strong dissociative materials.

Keywords: recording media, cylindrical carriers, effusive evaporator.

1. INTRODUCTION

High demands are laid to recording media for information recording. First of all, a recording medium has to be a defect-free, X-ray amorphous film with the 500–700 Å thickness range, capable of maintaining the X-ray amorphous state within the temperature range from (–) 50 to 60 °C during a long period of time (10 years). The film has to be uniform along the cylinder generatrix and over the radius with the deviation in uniformity not more than 5 %. The chemical composition of films has to be homogeneous, the coefficient of reflection should be 35–40 % and that of absorption – not less than $3 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$ over the 0,83 μm wavelength on the whole effective area of the information to be recorded. A reliable recording of the bit of information must be effected at laser radiation powers of about 7 mW with the pulse duration of 100 ns.

Amorphous films of vitreous chalcogenides are perspective materials [1, 2] for being used as recording media. In the vacuum technology a great number of methods for evaporating films and film structures onto inner surfaces of cylindrical elements are known. But in the majority of cases these methods are developed for evaporating metallic, oxide, antifricition and other coatings and cannot be effectively used for preparing optical recording layers from multi-component, strong dissociative materials.

2. DESCRIPTION OF METHOD

As a recording medium of method must be evaporated onto an inner surface of a glass cylinder having 13 mm in diameter with cylinder length / inner diameter ratio equal to 7 the application of these evaporation methods does not give desirable results. That is why we have developed the flash evaporation method using fiber as a film-forming material from a quasi-closed effusive evaporator which is exclusively designed to prepare recording layers from strong dissociative film-forming materials being evaporated onto an inner surface of the cylinder.

The principal unit of the device developed by us for this purpose is a quasi-closed, two-chamber evaporator of effusive type. It presents (fig. 1) coaxially arranged two thin-wall

tubes (1,2) of different diameter, made of tantalum foil (0,04 mm thick). The lower part of tubes is hermetically plugged (3). The upper part of tubes is plugged by a ring (4) and the rear part of an inner tube (1) ends in a cone-shaped plug with a hole (5) on the cone vertex designed for loading the fiber, made of a film-forming material, into the inner volume of the evaporator. Effusive holes (0,4 mm) (7,8) with constant step are made on inner and outer tubes along the cylinder generatrix. The angular distance between inner and outer effusive holes with regard to the evaporator axis is equal to 180°. Such geometry of the arrangement for effusive holes excludes the throwing out of drops, unevaporated solid particles of a film-forming material and facilitates pressure balancing of vapor while going out from effusive holes of an outer cylinder. The whole evaporator is placed into a cylindrical heat shield (6) which serves as a conductor of current to the upper contact at the same time. The shield (6) has a slot along the cylinder generatrix opposite the outer effusive holes to provide free access of the vapor of a film-forming material onto an inner cylinder surface (substrate).

The essence of this method is as follows (fig. 2). The evaporator 1 being cold is introduced into the cylinder 2 that rotates around its own axis. The precise device 3 delivers the fiber 4 from the coil 5 of a preset length into the inner volume of the evaporator. By the current pulse having the necessary magnitude and duration the evaporator is heated up to the evaporation temperature (900–1000 K) of a film-forming material. The vapour from effusive holes is condensed on an inner surface of the cylinder.

3. EXPERIMENTAL

The tests carried by us showed that the length calibrated in respect to the diameter of this fiber to be evaporated per one cycle defines uniquely the thickness of a recording layers obtained. In order to obtain one layer with the thickness of 750 Å on an inner surface of the cylinder having 13 mm in diameter and 80 mm in length one should evaporate the fiber with 32 mm in diameter and 90 mm in length. The accuracy of delivery of $\pm 0,3$ mm and preset lengths of the fiber meets the demands for reproducibility of optimal thicknesses of recording layers.

One fully loaded coil contains the fiber of about 3 km in length that is more than enough to evaporate approximately 30,000 information carriers.

In order to successfully realize the method of flash evaporation of a film-forming material in the form of fiber using two-chamber effusive evaporator, its design and technological evaporation modes are of great importance. The effective spraying of chalcogenide material that tends to dissociation provides time minimization while spraying the mass necessary for the formation of a recording layer of optimal thickness.

The evaporator with the appropriate electronic power supply unit developed by us pro-

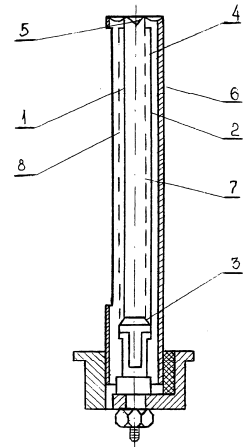


Fig. 1. 1 – inner tube; 2 – outer tube; 3 – choke; 4 – ring; 5 – cone-shaped plug; 6 – heat shield; 7, 8 – effusive holes

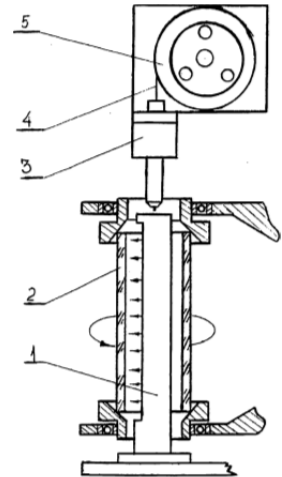


Fig. 2. 1 – evaporator; 2 – cylinder; 3 – fiber delivery device; 4 – fiber; 5 – coil

vides the heating of evaporators body up to the working temperature of approximately 950 K during 0,2 s, the total evaporation time being 2 s. Thus, the temperature influence of radiation onto the surface of condensation is reduced to minimum that ensures a reliable preparation of X-ray amorphous films. Very diffuse rings on defectograms taken by on electronic microscope while studying condensates are evidence to this fact. In addition the studies of the structure of Ge-As-Se-Te films were carried out on NaCl thin shearing cuts which had been placed onto an inner surface of an optical cylinder to bring the experimental conditions closer to real as much as possible.

4. CONCLUSION

The technological experiments of the method for flash evaporation of fiber give grounds to distinguish the following technical-economical characteristics

- reproducibility of properties of X-ray amorphous defect-free recording media;
- high utilization factor (approximately 0.9);
- high adaptability to streamlined manufacture and productivity;
- no direct control over the thickness of films during growth;
- simplicity in use;
- high ecology.

In our opinion the above method may be recommended for batch production of optical storage cylinders.

5. REFERENCES

1. *D. Stronol* Optical recording with amorphous materials, *Optical Engineering*, Vol. 20, N 3, p. 379, May/June 1981.
2. *P. Kivits, B. Jacobs, P. Zalm* Research on materials for optical storage, *Vac. Sci. Technol.*, 18(1), Jan./Febr. 1981.

Исследование процесса мастеринга компакт-дисков на неорганических фоторезистах

С. А. Костюкевич, П. Е. Шепелявый, Н. Л. Москаленко,
Е. Ф. Венгер, С. В. Свечников, В. В. Петров, А. А. Крючин,
С. М. Шанойло

Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2001. Т. 3, № 4. С. 5–12.

ВВЕДЕНИЕ

Основным методом изготовления штампов для тиражирования компакт-дисков был и остается метод с использованием позитивных фоторезистов. Этот метод обеспечивает получение высококачественных штампов для тиражирования стандартных компакт-дисков при использовании для экспонирования лазерных источников излучений с длинами волн 530–430 нм и более коротковолнового излучения для производства DVD-дисков. Основными недостатками фоторезистивного метода являются достаточно высокая продолжительность процесса изготовления штампов и ограниченная разрешающая способность позитивных фоторезистов, которые могут экспонироваться сине-зеленым лазером [1, 2]. Кроме того, незначительные отклонения от оптимального режима проявления приводят к появлению на поверхности компакт-диска областей с измененным коэффициентом отражения, получивших название «облака» [3].

Общий подход к уменьшению времени производства штампа состоит в том, что штамп изготавливается путем создания рельефа на металлической подложке, которая используется в процессе репликации [4, 5]. В настоящее время наибольшее распространение получил метод формирования рельефа на никелевых подложках из задубленного и отожженного негативного органического фоторезиста [4]. Основными недостатками этого метода являются ограниченная разрешающая способность негативных органических фоторезистов и небольшое количество отпечатков, получаемое с одного штампа.

Большой интерес проявляется также к использованию позитивных фоторезистов для формирования рельефных микроструктур в подложке диска-оригинала [5]. Для экспонирования позитивных резистов могут использоваться как традиционная запись сфокусированным лазерным лучом, так и обеспечивающее большую плотность записи экспонирование электронным лучом [6]. Простейшим и, на первый взгляд, наиболее технологичным является процесс получения рельефного изображения путем локального фототермического удаления материала металлической подложки, которая может затем использоваться либо в качестве штампа, либо для изготовления никелевых копий (mother and sons) [3]. Повышение разрешающей способности этого метода может быть достигнуто нанесением дополнительного светопоглощающего слоя с последующим локальным удалением сфокусированным лазерным излучением и локальным травлением материала подложки до получения рельефного изображения требуемой глубины. Однако метод локального фототермического разрушения светочувствительного слоя имеет существенные ограничения по разрешающей способности (получение элементов с минимальными размерами менее 0,3–0,4 мкм при длительностях импульсов записи, соответствующих 4-х и 6-ти кратной скорости записи компакт-

дисков, проблематично) и, кроме того, в зоне облучения остаются микрочастицы поглощающего слоя, которые существенно влияют на равномерность процесса травления.

Неорганические фоторезисты на основе халькогенидных стеклообразных полупроводников имеют ряд преимуществ по сравнению с органическими фоторезистами, в частности, по разрешающей способности, термической стабильности, более широкому диапазону спектральной чувствительности [7, 8]. В настоящей работе исследуется процесс прямого мастеринга с использованием негативных неорганических фоторезистов.

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЯМОГО МАСТЕРИНГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ФОТОРЕЗИСТОВ

Уже первые работы по исследованию взаимодействия оптического излучения с тонкими пленками халькогенидных полупроводников показали возможность создания на их основе негативных и позитивных фоторезистов с субмикронной разрешающей способностью [7-9]. Возможность создания неорганических фоторезистов на основе тонких пленок халькогенидных полупроводников и систем «халькогенидный полупроводник–металл», основанная на том, что в таких пленках под действием актиничного излучения происходят фотоструктурные превращения, сопровождающиеся изменением физико-химических свойств пленок, в частности, растворимости в щелочных растворах [8-13]. Дальнейшие исследования неорганических фоторезистов позволили разработать органические растворители, обладающие высокой селективностью растворения облученных и необлученных тонких пленок халькогенидных стекол систем As-S, As-Se, As-S-Se, позволяющие получать на них рельефные изображения, размеры которых определяются системой записи информации [14-16]. При записи микрорельефных структур сфокусированным излучением видимого диапазона на тонких пленках этих систем могут быть получены элементы с минимальными размерами 0,2–0,3 мкм. Разница в скоростях растворения необлученных и облученных участков этих пленок может отличаться в 20–40 раз. Существенным недостатком этих пленок является низкая температура стеклования (для стекол системы As-Se – до 150 °C; As-S – до 180 °C) и низкая микротвердость (для стекол системы As-Se – до 150 кг/мм²; As-S – до 134 кг/мм²; As-S-Se – до 145 кг/мм²) [17].

Поэтому, несмотря на высокую разрешающую способность, широкий спектральный диапазон (граница пропускания света для пленок системы As-Se составляет 0,73–0,78 мкм, системы As-S – 0,5–0,6 мкм, As-S-Se – 0,5–0,75 мкм), неорганические фоторезисты на основе стекол этих систем не могут непосредственно использоваться для получения микрорельефных структур методом прямого мастеринга.

Устойчивость пленок халькогенидных полупроводников к кислотным травителям позволяет использовать негативные фоторезисты на основе халькогенидных полупроводников для получения рельефных изображений на никелевых подложках путем травления подложек.

Рельефные изображения могут быть получены и из материала фоторезиста, что обеспечивает большую разрешающую способность процесса и меньшее время его выполнения. Для решения этой задачи нами предложено использование двухслойного неорганического фоторезиста, в котором рельефообразующий слой выполнен из халькогенидного стекла системы Ge-S, а фоточувствительный – из As-Se-S. Выбор такой системы обусловлен тем, что стекла системы Ge-S обладают высокой температурой стеклования (350 °C) и микротвердостью (220 кг/мм²) [13], а в стеклах системы As-S-Se происходят фотоструктурные превращения под действием оптического излу-

чения того спектрального диапазона, в котором расположены линии излучения лазеров, используемых в станциях лазерной записи (ионные аргоновый и криптоновый лазеры, неодимовый с удвоением частоты, полупроводниковые лазеры, генерирующие в диапазоне 400–500 нм). При записи под действием излучения в верхнем слое неорганического фоторезиста происходят фотоструктурные превращения, которые сопровождаются резким изменением растворимости халькогенидного стекла в растворителе, содержащем этилендиамин и диметилкетон. После получения рельефного изображения в верхнем слое фоторезиста производится химическое травление рельефообразующего слоя. В этом процессе фоточувствительный слой используется в качестве защитной маски. Толщина фоточувствительного слоя и состав растворителя выбирается таким образом, чтобы в процессе селективного травления рельефообразующего слоя полностью растворялся фоточувствительный слой.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

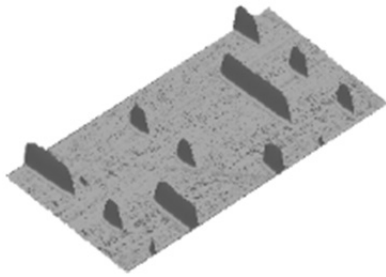
Тонкие пленки рельефообразующих и фоточувствительных слоев наносились методом вакуумного резистивного испарения на никелевые подложки толщиной 300 мкм. Толщина рельефообразующего слоя в экспериментах по записи дисковод-оригиналов составляла от 100 до 200 нм, а толщина фоточувствительного слоя 30–60 нм. Постоянство толщины слоев в рабочей зоне составляло 2 нм, что обеспечивалось размещением подложек и испарителей на расстоянии не менее 350 мм и планетарным вращением подложек.

Запись информации осуществлялась на 2-х скоростной станции лазерной записи (LBR). Подложка с неорганическим фоторезистом устанавливалась на вакуумной планшайбе. В режиме записи торцевые биения подложки не превышали 10 мкм. Экспонирование осуществлялось излучением аргонового лазера с длиной волны 457 нм, сфокусированным объективом с числовой апертурой 0,85. В системе записи была предусмотрена возможность плавной регулировки мощности экспонирующего излучения на поверхности диска-оригинала в широком диапазоне от 0,1 мВт до 10 мВт.

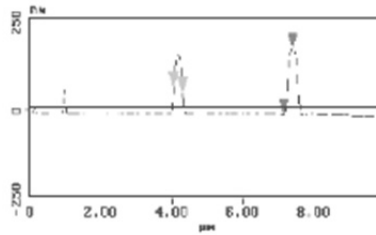
Записанные диски подвергались двухступенчатому процессу травления. На первом этапе осуществлялось селективное травление фоточувствительного слоя As-Se-S. После промывки и сушки подложки проводилось травление рельефообразующего слоя через окна в фоточувствительном слое. Измерения высоты и ширины выступов, проведенные на туннельном сканирующем микроскопе показали, что они составляют соответственно 100–190 нм и 0,3–0,6 мкм. Представленная на рис. 1 зависимость ширины выступов от мощности экспонирующего излучения показывает, что фоточувствительный слой обладает достаточно широким динамическим диапазоном. Увеличение мощности экспонирующего излучения приводит к локальному испарению неорганического фоторезиста в центре зоны облучения. Общий вид рельефной микроструктуры из халькогенидного стекла на никелевой подложке, представленной на рис. 2, свидетельствует о том, что разрешающая способность неорганического фоторезиста позволяет формировать элементы с размерами, необходимыми для тиражирования DVD-носителей (ширина выступов – 0,4 мкм, минимальная длина 0,4 мкм). Штампы, рельеф на поверхности которых был сформирован из халькогенидного стекла Ge-S, были использованы для тиражирования компакт-дисков по стандартной технологии. Проведенные исследования показали, что после изготовления 500 оттисков геометрические параметры микрорельефа штампа не изменились. В настоящее время нами продолжаются исследования стабильности рельефных микроструктур из халькогенидных стекол на поверхности никелевых подложек.

ВЫВОДЫ

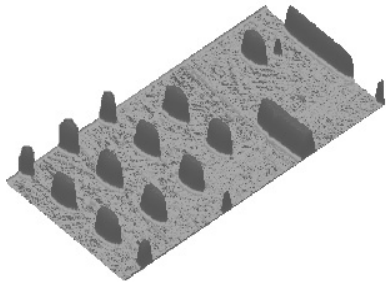
Предложенный нами метод прямого мастеринга позволяет получать рельефные микроизображения из термоустойчивых халькогенидных стекол на поверхности никелевых подложек. Разрешающая способность неорганического фоторезиста позволяет получать элементы рельефных микроструктур с размерами, соответствующими требованиям к штампам для тиражирования DVD-носителей.



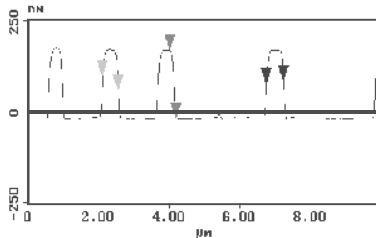
tr. № 1



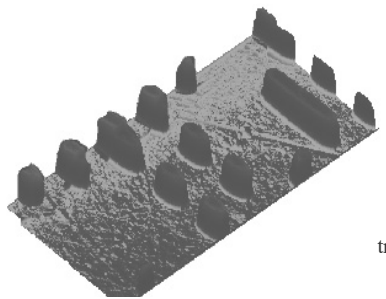
Vert distance 186.57 nm
Horiz distance 273.44 nm



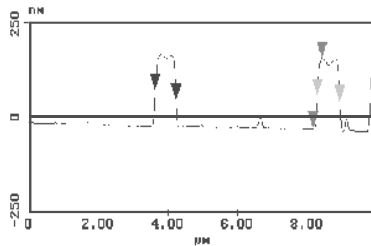
tr. № 2



Vert distance 190.72 nm
Horiz distance 429.69 nm

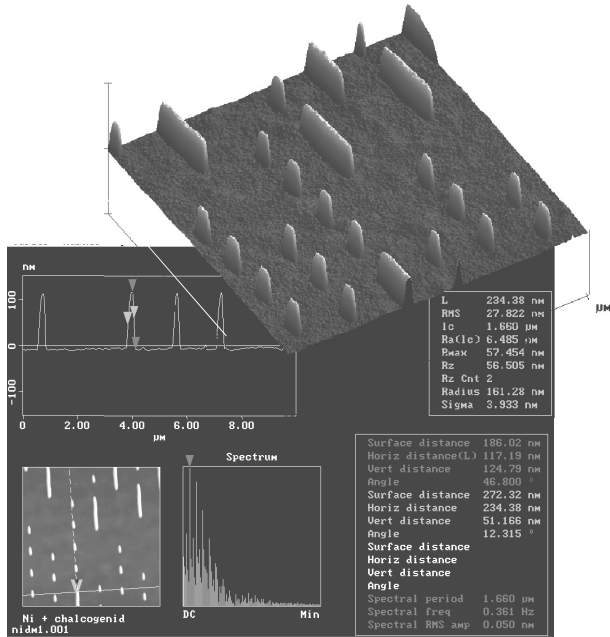


tr. № 3

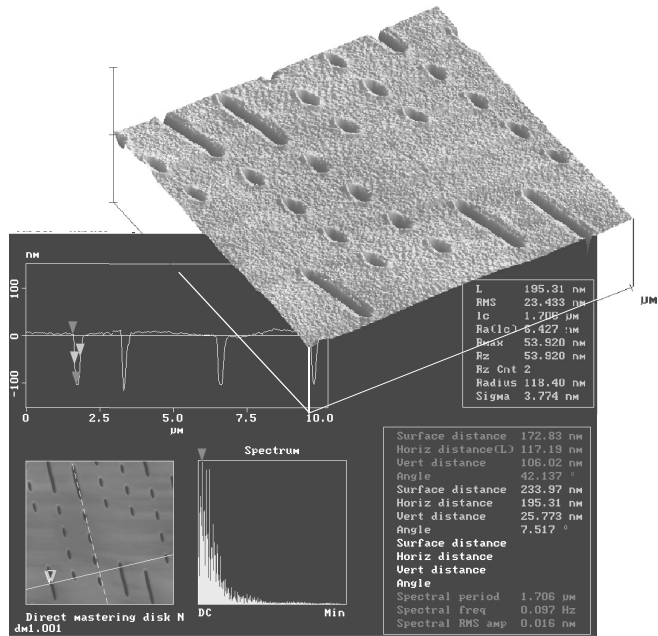


Vert distance 186.88 nm
Horiz distance 664.06 nm

Рис. 1. Зависимость ширины выступов, сформированных из материала неорганического фоторезиста, от мощности экспонирующего излучения



a



b

Рис. 2. Рельефная микроструктура на никелевой подложке (а); пластиковая копия CD-диска (б).

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают признательность сотрудникам Института проблем регистрации информации и Института физики полупроводников НАН Украины за помощь в проведении экспериментов по записи информации и анализу формы рельефных микроструктур.

1. *Ken C. Pohlmann*. The compact Disc Handbook. – 2-nd ed. A-R Editions, Inc.
2. *Wilkinson R.L.* A Brief History of Time and Glass Mastering // DERLItch Asia'95, Singapore International Convention and Exhibition Center. – 1995, Oct. 24-26.
3. *Rilum J.H.* The Relationship between Mastering and Molding and its Effect on CD Quality // DERLItch Europe'94. Sheraton Munich Hotel @ Towers. Munich (Germany). – 1994, 1-14 April.
4. ODME breaks tradition with direct stamper recording // The daily news replitech Asia. A One to One Publication. – 1997, Nov. – № 5. – P. 6.
5. USA Patent 5.6222.816. Int. Cl6. C11B 7/125. Direct to Stamper / Mother Optical Disc Maste-ring / *Glenn J. Maenza, Edward W. Morton*; Date of Patent 1967, Apr. 22.
6. *Kohma Y., Kitahara H., Kasano O.*, High Density Mastering Using Electron Beam // J. Appl. Phys. – 1998, April. – Vol. 37. – №. 4B. – P. 2137-2143.
7. *Петров В.В., Карпиков И.И.* О применении неорганических светочувствительных материала-лов для изготовления фотошаблонов // Гибридная вычислительная техника и электроника.– К.: Наук. думка, 1972. – С. 471-490.
8. *Индутный И.З., Костышин Н.Т., Касярум О.П. и др.* Фотостимулирование взаимодействия в структурах металл-полупроводник. – К.: Наук. думка, 1992. – 240 с.
9. *Петров В.В., Карпиков И.И., Лысенко С.С., Кравченко А.Д.* Использование неорганических светочувствительных материалов для изготовления фотошаблонов. Гибридная вычислительная техника и электроника. – К.: Наук. думка, 1972. – С. 491-503.
10. *Зенкин С.А., Мамедов С.Б., Михайлов М.Д.* Кинетика растворения пленок сульфида мышьяка в растворах аммиака, метиламина и диметиламина // Прикл химия. – 1988. – Т. 61. – № 7. – С.1459-1464.
11. *Tanaka K.* Photo-induced phenomena in amorphous semiconductors // Fundamental physics of amorphous semiconductors. Berlin: Shpringer Verlag. – 1981. – P. 104-118.
12. *Pfeiffer G., Paesler M.A., Aggarwal S.C.* Reversible photodarkening of amorphous arsenic chacogenide // J. Non-Crystalline Solids. – 1991. – Vol. 130. – № 1. – P. 111-143.
13. *Lyubin V.M.* Photostructural changes in chacogenide glasses // J. Non-Crystalline Solids. – 1987. – Vol. 97-98. – № 1. – P. 47-54.
14. *Lyubin V., Klebaniv M., Bar I., Rosenwaks S., Eisenberg N.P., Manevich M.* Novel effect in inorganic As₅₀Se₅₀ photoresists and their application in micro-optics // J. Vac. Sci. Technol. B. – 1997. – Vol. 15. – № 4. – P. 823-827.
15. А.с. 1153354 СССР, МКИ G 11B 7/26. Способ изготовления оригинала оптической сигналлограммы / Ю.К. Бакулин, М.Т. Костышин, С.А. Костюкевич, П.Е. Шепелявый // Открытия, изобрет. – 1985. – 16. – С. 176.
16. А.с. 1425777 СССРБ МКИ G 11B 7/26. Способ изготовления оригинала оптической сигналлограммы / Ю.К. Бакулин, М.Т. Костышин, С.А. Костюкевич, П.Е. Шепелявый (СССР) // Открытия, изобрет. – 1988. – 32. – С. 251.
17. *Борисова З.У.* Халькогенидные полупроводниковые стекла. – Л.: изд. Ленинград. ун-та. – 1983. – 344 с.

Спосіб виготовлення диска-оригіналу для тиражування компакт-дисків

В. В. Петров, А. А. Крючин, С. М. Шанойло, Д. О. Гринько

Патент України № 53637 МПК⁷ C11B7/26. Дата видачі патенту 17.02.2003.
Бюлетень № 2.

Винахід належить до обчислювальної техніки та технології виготовлення компакт-дисків.

За технологічним процесом виготовлення компакт-дисків інформація, яка має бути записана на компакт-диск, попередньо записується на диск-оригінал. На диску-оригіналі формується рельєфне мікрозображення відповідно до записаної інформації. Із рельєфного мікро зображення виготовляють металеві копії, які потім використовуються для штамповки компакт-дисків. Однією з головних задач в технології виготовлення компакт-дисків є одержання рельєфного мікрозображення на поверхні диска-оригіналу.

Відомий спосіб виготовлення диска-оригіналу для тиражування компакт-дисків [1], в якому на поверхню скляної підкладки наносять шар радіаційно чутливого матеріалу. Опромінюють шар радіаційно чутливого матеріалу в окремих точках, вилучають його в опромінених місцях, наносять шар металу на утворену структуру. Недоліком цього способу – аналога є те, що з диска-оригіналу може бути зроблена тільки одна гальванокопія, крім того використання тонкої металевої плівки при вирощуванні нікелевого штампу примушує обмежувати значення анодного струму на першому етапі росту нікелевого штампу, що призводить до збільшення часу виготовлення нікелевого штампу.

Відомий також спосіб [2], який дозволяє отримувати рельєфне зображення на поверхні підкладки диска-оригіналу, що складається з того, що на поверхню підкладки диска-оригіналу послідовно наносять електропровідний шар нітриду титану, шар радіаційно чутливого матеріалу, опромінюють цей шар, вилучають його в опромінюваних місцях та вилучають частини шару нітриду титану. Запис інформації на диск-оригінал може здійснюватися актинічним лазерним випромінюванням або потоком електронів.

Недоліком цього способу – прототипу є низька технологічність виготовлення, яка зумовлена тим, що для формування мікрорельєфу в електропровідному шарі використовується операція нанесення додаткового шару, яка не може бути виконана в єдиному технологічному циклі з іншими операціями.

Пропонується спосіб виготовлення диска-оригіналу для тиражування компакт-дисків, за яким наносять на підкладку захисний шар радіаційночутливого матеріалу, опромінюють шар модульованим актинічним випромінюванням, вилучають шар радіаційночутливого матеріалу в опромінюваних місцях, який відрізняється тим, що підкладка виготовлена з монокристалічного кремнію і кризь вилучені ділянки захисного шару радіаційночутливого матеріалу вилучають частини електропровідного шару монокристалічного кремнію.

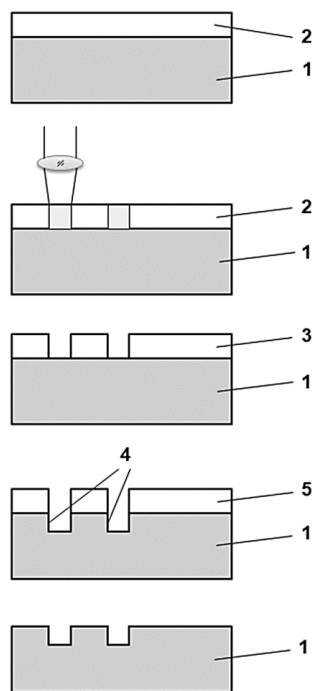
Виготовлення підкладки диска-оригіналу з монокристалічного кремнію дозволить підвищити якість виготовлення диска-оригіналу за рахунок високої якості поверхні монокристалічного кремнію. Головне полягає в тому, що досить висока електро-

провідність легованого кремнію дозволяє вирощувати шар нікелю безпосередньо на його поверхні: без застосування металізації рельєфного зображення на поверхні диска-оригіналу або додаткового шару з низьким електричним опором.

Підкладка з кремнію виготовляється товщиною 1,2–3,0 мм, що забезпечує високу механічну міцність диска-оригіналу. Строк зберігання диска-оригіналу: кремнійової підкладки з рельєфним зображенням майже не обмежений в часі. Метал штампу (нікель) може осаджуватися на поверхню диска-оригіналу багаторазово, що виключає необхідність виготовлення проміжних копій. Струм в процесі вирощування гальвано штампа в початковий період може бути збільшений в 5–10 разів. Це дозволяє скоротити час виготовлення штампів.

Даний винахід пояснюється кресленнями, де зображена схема процесу одержання рельєфного мікрозображення на поверхні диска-оригіналу. На підкладку з кремнію (поз. 1) наносять шар радіаційно чутливого матеріалу (поз. 2), на ньому формують рельєфне зображення (поз. 3) в результаті запису інформації і селективного вилучення частини шару радіаційно чутливого матеріалу. Через захисний шар радіаційно чутливого матеріалу здійснюється вилучення частини кремнійової підкладки на задану глибину (100–150) нм (поз. 4).

Частково радіаційно чутливий матеріал вилучається в процесі обробки кремнію, а залишки (поз. 5) додатково вилучаються перед установленням в гальванічну ванну. Головна ідея запропонованого способу полягає в використанні електропровідного (< 10 Ом/см) монокристалічного кремнію, на якому традиційними методами формується мікрорельєф, який можна копіювати методами гальванопластики з високою швидкістю процесу.



Ф о р м у л а в и н а х о д у

Спосіб виготовлення диска-оригіналу для тиражування компакт-дисків, за яким наносять на підкладку захисний шар радіаційночутливого матеріалу, опромінюють шар модульованим актинічним випромінюванням, вилучають шар радіаційно чутливого матеріалу в опромінюваних місцях, який відрізняється тим, що підкладка виготовлена з монокристалічного кремнію і крізь вилучені ділянки захисного шару радіаційно чутливого матеріалу вилучають частини електропровідного шару монокристалічного кремнію.

ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ, ВРАХОВАНІ ПРИ ЕКСПЕРТИЗІ

1. Оптичні дискові системи: Переклад з англ. / Г. Боухьюз, Дж. Браат, А. Хейсер та інші. М.: Радіо та зв'язок, 1991. 280 с.
2. Заявка 2716563 Франції Спосіб изготовления форматированных основ с заранее нанесенной сигнальной матрицей для производства компакт-диск или матриц, используемых для штамповки компакт-диск. (20) 21.02.94. S.A.DIGIPRESS MKI⁶ G11B 7/26.

Особенности изготовления дисков-оригиналов для систем лазерной записи информации

В. А. Атамась, А. А. Крючин, В. В. Петров

Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2004. Т. 6, № 3. С. 19–24.

ВВЕДЕНИЕ

В технологическом процессе производства компакт-дисков для получения рельефных изображений на дисках-оригиналах используется ряд рельефообразующих фоточувствительных материалов, таких как позитивные органические фоторезисты, пленки «краситель-полимер», халькогенидные полупроводниковые пленки и др. Наиболее широкое применение нашли органические позитивные фоторезисты [1, 2]. Это связано с их высокой разрешающей способностью, технологичностью получения, соответствием диапазона спектральной чувствительности длинам волн стабильных и надежных лазеров. Особенностью использования пленок позитивных фоторезистов в процессе мастеринга являются как малая толщина фоторезиста (120 нм для DVD и 150 нм для CD), так и жесткий допуск на разнотолщинность пленки фоторезиста, составляющей ± 2 нм. Кроме того, жесткие требования предъявляются к форме углублений в пленке фоторезиста, формируемые в процессе селективного травления облученной пленки фоторезиста. Отклонения от заданной толщины пленки фоторезиста приводят не только к изменению величины сигналов считывания и слежения, но и к локальному изменению коэффициента отражения компакт-дисков [3].

Для нанесения пленок фоторезиста наиболее широко применяется метод центрифугирования, обеспечивающий получение равномерного слоя в пределах ± 5 % по всей поверхности подложки.

В установке и в процессе нанесения фоторезиста методом центрифугирования были использованы следующие технические решения:

- использовался вакуумный прижим подложки к ротору центрифуги;
- полив фоторезиста проводился за время 1,6–2,0 с на подложку, вращающуюся со скоростью около 300 об/мин, и через 0,2–0,3 с после завершения процесса полива ротор разгонялся до скорости вращения 3000 об/мин. Процесс растекания и сушки при таких оборотах проводился в течение 90 с;
- нанесение фоторезиста производилось в боксе с подачей чистого воздуха, прошедшего через систему фильтров, и локальным отсосом паров фоторезиста и растворителя;
- запретные экраны находились на расстоянии в 3–4 раза большем диаметра ротора центрифуги для исключения попадания отраженных капель на поверхность диска-оригинала.

При выборе соотношения между количеством позитивного резиста Шипли 1805 (Shipley) и растворителя и режимом сушки нанесенного слоя учитывается состав резиста и растворителя. Основным компонентом большинства позитивных фоторезистов (в том числе и Shipley 1805) является продукт конденсации 1,2-нафтолинодиазида (2) или (4) сульфохлорида с различными наволочными (резольными) смолами с относительной молекулярной массой 500–1200. Сульфозфир разбавляется органическим растворителем до 20–30 % концентрации. В качестве пленкообразующей добавки вводят конденсационные смолы в количестве, равном массе светочувствительного

компонента. В результате экспонирования актиничным излучением светочувствительная компонента вступает в фотоперегруппировку Вольфа и образует соответствующие кетены, при этом изменяется растворимость в щелочных травителях. Позитивные фоторезисты этого класса имеют высокую адгезию к стеклянным подложкам [4–6].

Для получения равномерной пленки фоторезиста толщиной (160 ± 2) нм на подложке диаметром 160 мм вязкость фоторезиста и растворителя экспериментально была подобрана равной 2,3–2,4 сст. Стабильность параметров пленки фоторезиста зависит главным образом от вязкости фоторезиста, скорости вращения центрифуги, времени разгона центрифуги до рабочей скорости и от постоянства времени между моментом подачи раствора на подложку и включением центрифуги [6].

Существенное влияние на процесс получения однородной, с минимальным количеством пор, обладающей высокой селективностью травления пленки фоторезиста оказывает процесс испарения растворителя и проведения отжига. Одним из условий получения качественной пленки фоторезиста является низкотемпературная выдержка после нанесения раствора полимера, необходимая для ориентации макромолекул. При испарении растворителя пленкообразователи фоторезиста переходят в стеклообразное состояние. При формировании пленки макромолекулы стремятся перейти в устойчивое состояние, т.е. принять такую форму, которая соответствовала бы минимальному значению свободной энергии. Этот релаксационный процесс требует некоторого времени, поэтому слишком быстрая сушка может привести к возникновению напряжений в пленке фоторезиста [6, 7].

Нами использовалась низкотемпературная (22 ± 1) °C выдержка дисков с фоторезистом в течение 2–3 часов. На каждой партии дисков-оригиналов с фоторезистом производился эллипсометрический контроль толщины. Колебания значений толщины фоторезиста между партиями составляли не более 5 нм.

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРНЫХ ДЕФЕКТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ДИСКОВ-ОРИГИНАЛОВ

На поверхности дисков-оригиналов со слоем фоторезиста, полученным центрифугированием, наиболее часто встречаются локальные неоднородности рельефа, имеющие вид вытянутых капелек – «комет». К появлению «комет» могут приводить пылинки, осевшие на подложке до нанесения фоторезиста, неоднородности подложки в виде выколов или царапин, а также присутствие посторонних частиц в фоторезисте.

На микродефектах вязкая масса фоторезиста обтекает эти частицы и под действием центробежных сил возникают локальные утончения, длина и ширина которых зависит от размера.

Возникают неоднородности рельефа пленки фоторезиста в виде радиально расходящихся лучей, причиной которых являются возникновения внутренних напряжений в пленке. Напряжения возникают из-за того, что скорость испарения растворителей превышает скорость образования структуры пленки.

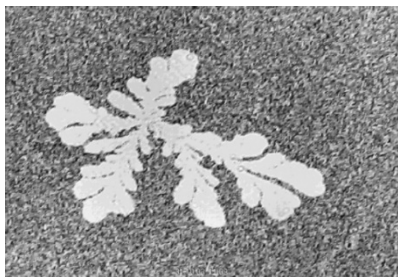
Контрастность полос существенно увеличивается после осуществления записи информации и получения рельефного изображения на диске-оригинале. «Кометы», образовавшиеся на дефектах с размерами до 0,1 мм не приводят к существенному изменению уровней ошибок и сигналов считывания при воспроизведении информации, однако изменяют коэффициент отражения компакт-дисков.

Попадание на подложку диска-оригинала капель воды тоже приводит к появлению дефектов, внешне похожих на «кометы», однако без выраженного ядра. Дефект является симметричным. Изменение толщины фоторезиста в нем не превышает 20–25 %.

Наличие таких дефектов несколько увеличивает уровень корректируемых ошибок на компакт-дисках, но не приводит к появлению некорректируемых ошибок. Попадание частиц воды на подложки может происходить при обдуве подложек с целью удаления пылевых частиц недостаточно осушенным воздухом.

К появлению большого числа ошибок при воспроизведении информации, локальным изменениям коэффициента отражения на изготовленных компакт-дисках приводит попадание капель органических веществ (масел и т.д.) на поверхность дисков-оригиналов до или в процессе записи. Тонкие прозрачные масляные пленки существенно не влияют на экспонирование фоторезиста, однако препятствуют селективному травлению фоторезиста. Попадание паров масла на поверхность диска-оригинала приводит как к появлению областей с измененным коэффициентом отражения, так и к существенному искажению записанной информации.

К существенным искажениям записанной информации приводят также попадания органических микрочастиц на проявленные диски-оригиналы до или в процессе отжига слоя фоторезиста ($T_{отж} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$). Органические загрязнения растекаются при отжиге по поверхности диска-оригинала и экранируют значительные участки с записанной информацией. На штампе и на компакт-диске этот дефект проявляется в виде областей (диаметром до 1–2 мм) без записанной информации.



Выбор режима термообработки слоя фоторезиста сильно влияет на процесс записи информации и получение никелевых штампов. Отжиг при повышенной температуре ($> 120\text{ }^{\circ}\text{C}$) приводит к тому, что запись информации на нем вообще не происходит, а при температуре в диапазоне $100\text{--}120\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводит к появлению областей с пониженной чувствительностью (см. рисунок). Проведение отжига слоя фоторезиста при оптимальной температуре $92\text{--}95\text{ }^{\circ}\text{C}$ с однородным нагре-

вом диска-оригинала обеспечивает получение дисков-оригиналов с постоянной энергией записи информационных единиц.

ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ НА ПРОЦЕСС ЗАПИСИ ИНФОРМАЦИИ

Следует отметить, что свойства подложек имеют существенное влияние на характеристики дисков-оригиналов. Чистота поверхности подложек, однородность свойства, отсутствие механических напряжений и деформаций являются необходимыми условиями для получения качественных дисков-оригиналов.

Особые сложности вызывает подготовка к нанесению фоторезиста подложек, на которые ранее был нанесен слой фоторезиста, осуществлены запись информации и металлизация поверхности диска-оригинала.

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ФОТОРЕЗИСТА НА ПРОЦЕСС ЗАПИСИ ИНФОРМАЦИИ

На процесс регистрации информации на пленках позитивных фоторезистов существенное влияние оказывают изменения экспозиции в процессе записи. Это связано с тем, что запись информации на таких пленках осуществляется в области экспозиций, соответствующих линейному участку экспозиционной характеристики (область пропорциональной передачи яркости [6]), на котором колебания плотности записываемой мощности пропорционально передаются в геометрические размеры пиков. К ко-

лебаниям экспозиции в процессе записи приводят как изменения мощности лазера записи, так и погрешности в работе системы автоматической фокусировки. Локальные изменения профиля поверхности подложки, которые не полностью компенсируются исполнительным механизмом системы автоматической фокусировки, приводят к появлению на поверхности дисков-оригиналов локальных областей с измененными размерами питов (в первую очередь изменяется ширина и длина питов, а глубина сохраняется постоянной). Информация в таких областях воспроизводится без существенных искажений, однако коэффициент отражения из-за различного перераспределения интенсивности света между дифракционными порядками изменяется существенно (зависит от угла контроля). На высококачественных подложках дефекты такого вида не возникают.

На формирование рельефной микроструктуры диска-оригинала существенное влияние имеет процесс селективного травления, экспонированного на станции лазерной записи диска-оригинала. Изменение толщины пленки фоторезиста в необлученных местах составляет не более 5 %, что позволяет получать рельефные структуры (питы) с высотой перепадов около (150 ± 5) нм при исходной толщине фоторезиста (155 ± 5) нм. Пребывание дисков-оригиналов в условиях повышенной влажности (> 50 %) в течение нескольких суток (> 3 дней) приводит к уменьшению селективности травления позитивного фоторезиста. Запись информации и их травление по стандартной схеме с использованием системы дифракционного контроля процесса травления [8] не позволяли изготавливать диски-оригиналы с необходимой для получения заданных сигналов воспроизведения глубиной питов.

Проведение дополнительного отжига дисков-оригиналов перед процессом записи при температуре 95–100 °С в течение 1 часа позволило получать диски-оригиналы с требуемой глубиной питов. Однако за счет проведения дополнительных операций возрастал уровень ошибок на компакт-дисках, изготовленных с этих дисков-оригиналов.

ВЫВОДЫ. Методом центрифугирования с поливом фоторезиста за 1,6–2,0 с на подложку, вращающуюся со скоростью около 300 об/мин, и быстрым за 0,2–0,3 с разгоном до скорости 3000 об/мин получены пленки фоторезиста на стеклянных подложках дисков-оригиналов, используемых в технологическом процессе изготовления штампов для тиражирования компакт-дисков.

Определены условия термообработки дисков-оригиналов, обеспечивающие получение дисков-оригиналов с воспроизводимыми характеристиками.

Выявлены основные причины появления дефектов на поверхности дисков-оригиналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Pohlmann K.C.* The Compact Disc. – Wisconsin (USA): A-R Editions Inc, Madison, 1992. – 342 p.
2. *Wilkinson R.L.* A Brief History of Time and Glass Mastering // REPLTech Asia. – 1995, October 24–26. – 15 p.
3. *Петров В.В., Крючин А.А., Шанойло С.М., Атамась В.А., Хрустин В.Н., Бородин Ю.А.* Особенности получения рельефных изображений на слоях позитивных фоторезистов дисков-оригиналов // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. – 2001. – Т. 3, № 3. – С. 3–8.
4. *Бокков Ю.С.* Фото-, электронно-, и рентгенорезисты. – М.: Радио и связь, 1982. – 235 с.
5. Информационные материалы фирмы Shipley / <http://www.townetech.com/shipley.htm>.
6. Введение в фотолитографию / Под ред. В.П. Лаврищева. – М.: Энергия, 1977. – 400 с.
7. Информационные материалы компании «Репер» / www.reper.ru/technology.
8. *Атаев В.А., Кравец В.Г.* Система дифракционного контроля процесса травления диска-оригинала // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. – 2002. – Т. 4, № 1. – С. 28–34.

High density optical recording in thin chalcogenide films

A. A. Kryuchyn, V. V. Petrov, S. O. Kostyukevych

Journal of optoelectronics and advanced materials. November – December. 2011.
Vol. 13, No. 11-12. P. 1487–1492.

Presented in this work are the results of investigations aimed at recording information with focused laser radiation in thin films of chalcogenide vitreous semiconductors (ChVS). Over all the stages in creation of systems for optical recording, there widely used were thin films of ChVS. The first optical disc carriers were designed using thermo-sensitive materials based on tellurium alloys. Shown is perspective to use thin ChVS films for creation of optical carriers for long-term information storage. The high density of recorded information in them is achieved when using the thermo-lithographic methods. Non-organic photoresists based on ChVS can be also efficiently used for manufacturing master discs. Obtaining the needed minimal sizes of pits in master discs (used in manufacturing compact-discs) is promoted by a non-linear dependence of the exposure characteristics on the intensity of exposing radiation. When using non-organic resists of the As-S, As-S-Se systems, there obtained are pits of 0.25 – 0.3 μm width. Information was recorded using the focusing objective with the numeric aperture 0.85 and radiation from a semiconductor laser with the wavelength 405 nm. The metal adhesive layer deposited on the glass substrate strongly influences on the recording process. We chose the recording regime in such a manner that enabled us to prevent local photo-thermal destruction of resist in the center of irradiated area. Presented in the work are the results of studying optical recording in thin ChVS films prepared recently in labs of Institute for Information Recording and V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, NAS of Ukraine. One of the obtained results is technology for manufacturing stamps for copying CD based on non-organic photoresists.

1. INTRODUCTION

The complex of unique physical-and-chemical properties of chalcogenide vitreous semiconductors (ChVS) allows considering them as promising materials for creation high-resolution photo-sensitive materials for information carriers and registering media for long-term information storage. Development of characteristics inherent to optical and magnetic information carriers, flash-memory, diversity of optoelectronic devices is related with creation of technologies for manufacturing nano-sized relief structures on the surface of substrates made from various materials. In many cases, it is very interesting to make relief structures in surface layers of these substrates themselves.

For a long time, enhancement of the resolving power in photo-lithographic processes was provided by a decrease in the wavelength of exposing radiation and increase in the numeric aperture of focusing systems.

In the systems for information optical recording on master discs, possibilities to further increase the resolving power in diffraction-limited optical systems are practically exhausted. These systems allow focusing the radiation with the wavelength 265 nm into a spot of 0.35 μm diameter. Only application of photo-sensitive materials with non-linear exposure characteristics (in the best case, with the threshold ones) allow to obtain pits with geometrical sizes corresponding to currently standards for modern carriers (for instance, Blu-ray discs).

Non-organic resists possess resolution providing to record elements with geometrical sizes of the order of 100 nm. As it can be seen from the results of interferential photolithography with using non-organic resists based on ChVS, one can make gratings with the spatial frequencies 5350 mm^{-1} [1]. The minimal width of prints d_{\min} obtained in the course of laser recording by using focused laser radiation is defined by the Rayleigh criterion $d_{\min} = K(\lambda/NA)$, where λ is the wavelength, NA – numeric aperture, K – proportionality coefficient depending on photoresist characteristics and technological regime for processing it.

To record information on master discs in currently formats by using radiation with the wavelength 405 nm, it is necessary to reach the coefficient K value within the range 0.26-0.30.

A strong dependence of light sensitivity for registering media based on ChVS on the intensity of exposing radiation was found in investigations performed during 70–80-th years of the last century [2, 3].

Using the optical pulses with duration of 10 ns for information recording allows to realize heating the registering media in the regime close to the adiabatic one and initiate considerable structural transformations in illuminated material owing to non-linear processes developed under the influence of highly intense laserradiation. ChVS can be considered as promising light-sensitive material for thermo-lithographic recording, which provides making the prints with an essentially lower (3 to 5 times) size than that of illuminated area [4], if using focused radiation with strongly non-homogeneous distribution of light in the latter. The main way to record master discs in the Blu-ray format is now based on the recording process with using phase transitions in composite materials (PTM-processes) [5, 6].

It seemed in recent years that registering materials with ablation recording mechanism could not find their application in up-to-date systems of information recording as caused by limited resolution of these materials and their low photo-sensitivity. However, the performed complex investigations of information carriers for long-term data storage showed that the carriers with micro- or nano-relief form of data representation provide the highest terms of information storage [7-9]. The process of ablation recording is now considered as one of the promising methods to realize thermo-lithographic recording. Application of modern systems for optical recording enables to obtain pits with the diameter close to 40 nm in regime of ablation recording [10]. Therefore, investigation and development of highly stable materials for ablation recording are of considerable interest.

2. EXPERIMENTAL

Our investigations of optical recording in thin ChVS films were performed using experimental samples of disc optical storing facility and laser station for master discs. In detail, the description of the optical system used for experiments with the laser station was carried out in [11]. To record master discs in the DVD format and investigate data recording in the Blu-ray format, we changed argon laser for the gallium nitride one. The numeric aperture of focusing objective was 0.85. To increase accuracy in operation and fast response, we used a piezoelectric actuator in the system for automated focusing the recording laser radiation.

The process of exposing the ChVS thin films deposited on disc substrates has a number of features related with the high power density and inhomogeneous intensity distribution within the illuminated area as well as application of pulsed irradiation. In detail, this process was investigated by several authors that found a decrease in the width of recorded lines as compared with the diameter of exposing beam and increase in the sensitivity of the power density of exposing radiation. The attempts to considerably increase the power of exposing beam resulted in local photo-thermal destruction of ChVS films in the center of irradiated area [12]. These investigations were multiply repeated using more short-wave lasers (from

He-Ne to argon and, recently, to the gallium nitride ones). Further processing the exposed substrates in selective etchants provided creation both negative and positive images [13-15]. The shape of pits (for positive resists) and bumps (for the negative ones) depends on the recording radiation wavelength, intensity, irradiation time and etch time [13, 16-18].

In parallel, we performed investigations concerning formation of micro-relief structures directly in the process of exposure with pulsed focused radiation [19]. Ar-laser radiation provided formation of micro-pits with the diameter $0.5 - 0.6 \mu\text{m}$ on the surface of optical discs. Beside pits that coded the registered information, we recorded ordering information as well as control tracks. The latter were recorded in the process of marking the disc carriers, while information bits were recorded near them. Fig. 1 shows a record in this carrier.

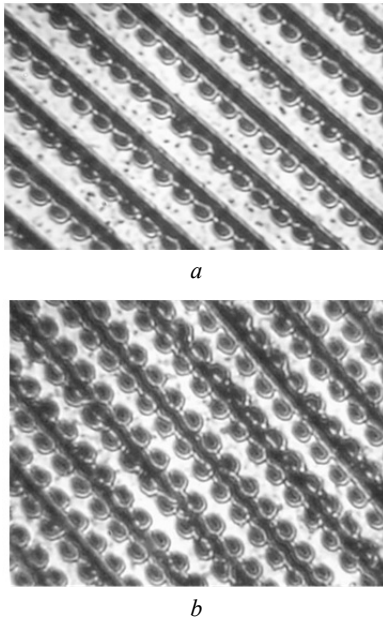


Fig. 1. External view of the recording zone on the optical carrier: (a) data recording is realized from one side of the guide track; (b) and from both sides

This location of information data relatively to ordering information is realized rather simply when using the only recording beam, however, it cannot be recommended for creation of carriers in the field of long-term data storage. In the latter case, the control tracks and ordering information should be formatted in another layer or in the information carrier substrate. Light-sensitive layers of ChVS were deposited on disc substrates by using thermal evaporation in vacuum from silica evaporators with indirect heating or from metal boats with heated screens. The thickness of layers in the disc operation area was kept with the accuracy 2 to 3 nm, which was provided by placing the substrates at the distance not less than 350 mm from evaporators and their planetary rotation in the course of sputtering.

To enhance adhesion of non-organic photoresist layers, the substrates were covered with a special adhesive layer. As this layer, we used chromium layers or ChVS layers containing germanium. Use of germanium-containing ChVS layers to enhance adhesion of non-organic resists $x \text{AsS} - y \text{AsSe}$ was also offered by the authors of [20].

The thickness of chromium adhesive layers should not exceed 20 – 30 nm, since a further increase in it results in increase of the energy for recording information bits.

When these adhesive layers are absent, one can observe layer separation from the substrate in the process of selective etching.

3. RESULTS

The longest terms for information storage are predicted in the case of optical carriers with micro(nano)-relief presentation of information bits. It is assumed here that the relief is formed from the film of highly stable photo-thermo-sensitive resist by focused laser radiation [9, 21]. Relevant storage terms in these carriers are essentially different. One of the ways for making such photo-thermo-sensitive layer is deposition of thin (120 – 200 nm) ChVS layers. As it was mentioned in many investigations (see, for instance [19, 22]), choice

of these resists is reasonable due to their low thermal conductivity, high chemical stability, high optical absorption and reflection. A particular interest is caused by investigation of thin ChVS films where information records were made many years ago. After 30-year storage of disc carriers, registering layer of which was made of $Te_{14}Sb_{10}Se_{61}Ge_{15}$ (quaternary compact eutectic alloy) [23], the recorded pits have kept their shape and sizes. The reflection coefficient of the registering layer has been changed insignificantly (by 10 to 12%, which is related with growth of the oxygen concentration in ChVS film up to 10–13 %) [24].

Table 1. Dependence of track widths for negative and positive etching on the power of recording radiation in the layer $As_{40}S_{40}Se_{20}$ ($\lambda = 488$ nm)

Power of recording radiation, mW	Track width for negative etching, nm	Track width for positive etching, nm
0.25	230	250
0.35	500	300
0.45	600	350
0.55	700	400
0.65	780	440
0.75	880	490

Exposure of non-organic resist based on $As-S-Se$ layer with focused (numeric aperture 0.8) Ar laser beam ($\lambda = 488$ nm) enabled us to obtain prints of the width 250 to 300 nm after following selective etching. The width of prints was changed in dependence on power of exposing radiation. The power was varied within the range 0.23 up to 0.82 mW (Table 1). Etching the photoresist was made in

selective etchant based on ethylenediamine [14, 15, 25].

The data summarized in Table 1 show that with increasing the radiation power at the micro-objective output the track width is gradually increased. When using the negative etching process, one can observe a more sharp dependence of the width on the intensity of recording radiation.

Investigations of topology for the obtained relief micro-structures performed using the atomic force microscope Nanoscope IIIa Dimension 3000 have shown that the tracks possess a shape close to that of isosceles trapezium with the slope angle of side faces, the value of which does not depend on power of exposing radiation and is approximately 30–35° [11].

Fig. 2 shows micro-relief of a master disc surface after negative etching the photo-sensitive layer $As_{40}S_{40}Se_{20}$ with the thickness 300 nm, and Fig. 3 does that for positive etching.

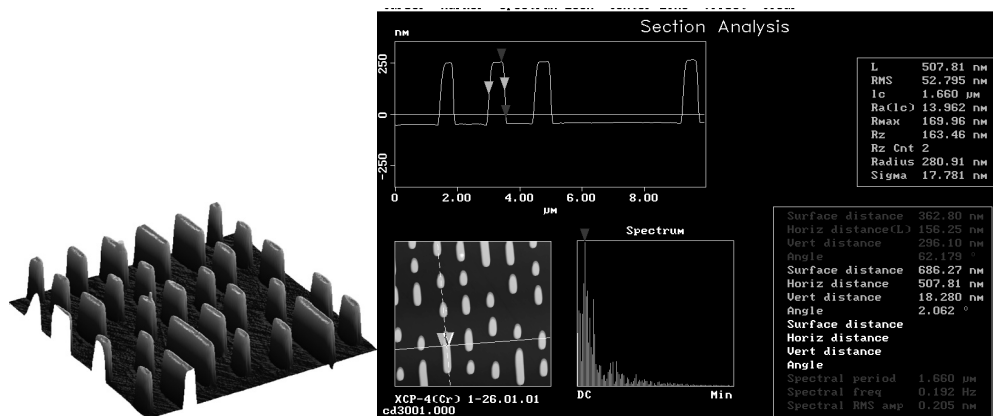


Fig. 2. Micro-relief of the master disc surface after negative etching.

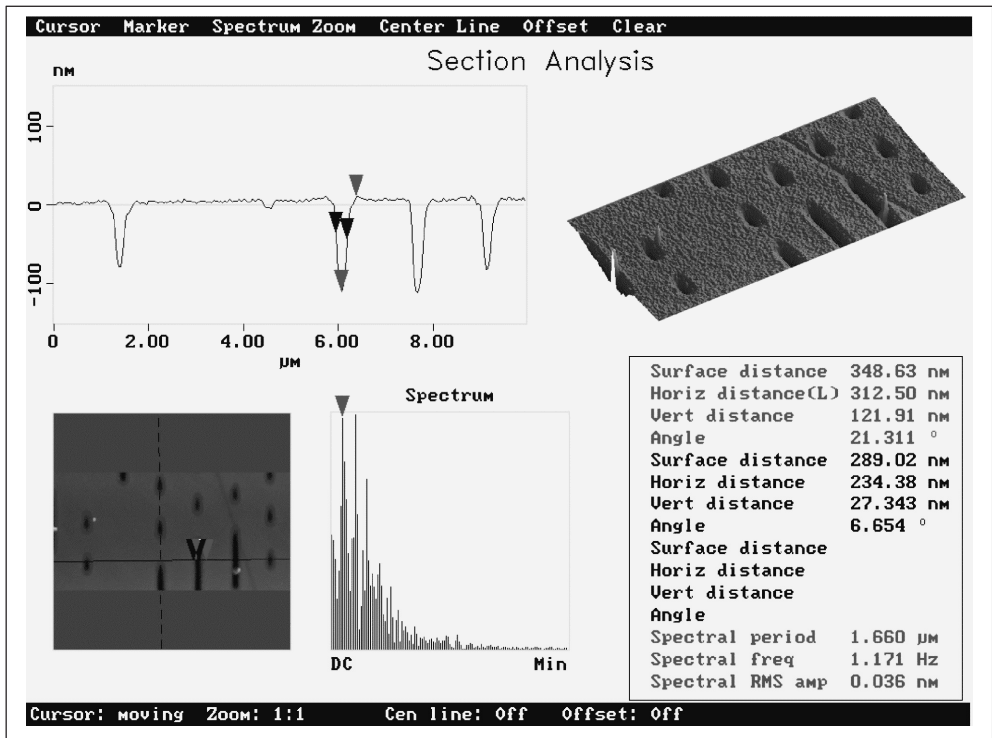


Fig. 3. Micro-relief of the master disc surface after positive etching

The increase (approximately by 30%) in resolution of the optical channel in our station for laser recording (previous micro-objective was changed for that with the aperture 0.85, and the recording wavelength was chosen as 405 nm) did not enable to essentially decrease sizes of the obtained relief micro-structures. Measurements of the track width after negative etching have shown that it decreases proportionally in practice. The minimum obtained value was about 0.18 μm. In both cases, recording was carried out using laser radiation pulses with duration close to 1 μs. A further decrease in the print width can be reached by exposing with pulses of duration 10 – 15 ns. In this case, every recording pulse can consist of separate pulses with shorter duration (in dependence of the chosen recording strategy).

4. DISCUSSION

With the transfer to wide application of shortwave ultraviolet radiation (mainly to the wavelength 405 nm) in systems of optical recording, the number of ChVS compositions suitable for usage as registering media was increased.

Non-organic photoresists have no essential advantages over the traditional organic ones in technology of manufacturing master discs in CD and DVD formats. However, they can find wide application when recording information in Blu-ray and the following formats with a high density of recording. In the Blu-ray format, optical recording with visible light on non-organic photoresists can be realized using short (10 to 15 ns) and power pulses of laser radiation. Just this regime is typical for information recording in the Blu-ray format. This action provides considerable local heating the resist and generation of large amount of electron-hole pairs, which promotes recording in the very center of illuminated area. It results in

diminishing the recorded print. In our experiments, we reached the print size 250–300 nm lower than the diameter of illuminated spot (600 nm).

Contrary to selective etching the images in manufacturing elements of optoelectronic devices (for example, gratings or micro-prisms) when used are etchants with very soft contrast characteristics [20], just contrast etchants should be used in mastering the master discs. A decrease in sizes of micro(nano)-relief structures recorded on non-organic photoresists should be promoted by using the high-contrast selective etchants. Complex use of both these factors: narrowing the print in the course of recording and processing with a high-contrast etchant, can allow 3- or 4-fold diminishing the geometric sizes of elements as compared with the diameter of exposing beam. By contrast, when recording holographic pictures, to provide a linear response of a registering system, commonly used is radiation from the range of weak resist

Contrary to selective etching the images in manufacturing elements of optoelectronic devices (for example, gratings or micro-prisms) when used are etchants with very soft contrast characteristics [20], just contrast etchants should be used in mastering the master discs. A decrease in sizes of micro(nano)-relief structures recorded on non-organic photoresists should be promoted by using the high-contrast selective etchants. Complex use of both these factors: narrowing the print in the course of recording and processing with a high-contrast etchant, can allow 3- or 4-fold diminishing the geometric sizes of elements as compared with the diameter of exposing beam. By contrast, when recording holographic pictures, to provide a linear response of a registering system, commonly used is radiation from the range of weak resist absorption [26]. While thermolithographic recording needs high light absorption of non-organic photoresist.

As it has been shown by the performed investigations, non-organic photoresists based on ChVS with positive etching regime can be used in traditional “glass” mastering to record information on master discs with further producing the nickel stamps for copying CD. These non-organic resists with the negative etching regime can be applied in the process of direct mastering [12] when a relief image is created on the nickel substrate after exposing and selective etching. To provide production of a large number of copies (>3000-5000), it is reasonable to use non-organic photoresists with maximum possible melting temperatures. To enhance durability of stamps based on ChVS, it seems expedient to use multi-layer non-organic photoresists.

5. CONCLUSIONS

1. Thin ChVS films can be used both for creation of professional optical information carriers and in manufacturing master discs within the technological process for production CD. As it can be seen from the performed investigations, ablation recording on thin ChVS films provides long-term storage of recorded information.

2. Resolution of non-organic photoresists based on ChVS allows formation of elements with geometrical sizes of several tens nanometers. Formation of these elements by using optical radiation from the visible range is possible only due to application of non-linear non-organic photoresists that are developed under exposure with power short radiation pulses and following etching in high-contrast selective etchants.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to express their sincere gratitude to Yu.A. Borodin, scientific researcher of the Institute for Information Recording, NAS of Ukraine, for recording information on master discs; P.Ye. Shepeliavyi, senior scientific researcher of the Institute of Semiconductor Physics, NAS of Ukraine, for processing the master discs; V.I. Min'ko, senior scientific researcher of the Institute of Semiconductor Physics, NAS of Ukraine, for

vacuum deposition of the registering media; and A.A. Kudryavtsev, senior scientific researcher of the Institute of Semiconductor Physics, NAS of Ukraine, for taking part in discussion of paper materials and editing it.

REFERENCES

- [1] V. A. Danko, I. Z. Indutniy, V. I. Minko, P. E. Shepeliaviy, *Avtometry* **46**, 103 (2010) [in Russian].
[2] V. V. Petrov, A. A. Kryuchyn, *Quantum Electron* **1**, 618 (1974) [in Russian]. [3] M. T. Kostyshyn, S. A. Kostyukevych, *Ukr. Phys. J.* **26**, 1561 (1981) [in Russian]. [4] A. A. Kryuchyn, S. A. Kostyukevych, *Data Recording, Storage and Processing* **12**, 3 (2010) [in Russian]. [5] A. Kouchiyama, K. Aratani, Y. Takemoto et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **42**, 769 (2003). [6] E. R. Menders, R. Rastogi, M. Van der Veer et al. *Jpn. J. Appl. Phys.* **46**, 3987 (2007). [7] V. V. Petrov, V. M. Puzikov, A. A. Kryuchyn, I. V. Gorbov. *Nanosystems, Nanomaterials, Nanotechnologies* **7**, 825 (2009) [in Russian]. [8] E. Toppin. *Digital 2 Disc.* **1**, 42 (2010). [9] Patent USA № 2008/0320205 A1. Int. cl. index G 06 F 12/00. Barry M. Lunt, Matthew R. Linford (USA), Brigham Young University (USA), Applied 20.06.2007. Published 25.12.2008. [10] Y. Usami, T. Watanabe, Y. Kanazawa et al. *Applied Physics Express* **2**, 26502/1 (2009). [11] S. A. Kostyukevych, P.E. Shepeliaviy, N. L. Moskalenko et al. *Data Recording, Storage and Processing* **4**, 3 (2002) [in Russian]. [12] S. A. Kostyukevych, P. E. Shepeliaviy, N. L. Moskalenko et al. *Data Recording, Storage and Processing* **3**, 5 (2001) [in Russian]. [13] A. M. Morozovska, S. A. Kostyukevych, L. L., Nikitenko, A. A. Kryuchyn, A. A. Kudryavtsev, P. E. Shepeliaviy, N. L. Moskalenko. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics* **7**, 93 (2004). [14] Patent 2165637 RU. Int. cl. Index G 03 H 1/18, G 02B 5/32. E. F. Venger, S. A. Kostyukevych, P. E. Shepeliaviy, Yu. G. Goltsov, Published 20.04.2001, Bull № 11, 9 p. [15] Patent 2008285 RU. Int. cl. Index C 03 C 15/00, 23/00. I.Z. Indutniy, S. A. Kostyukevych, P. E. Shepeliaviy, Published 28.02.1994. [16] S. A. Kostyukevych, I. Z. Indutniy, P. E. Shepeliaviy, *Data Registration, Storage and Processing* **1**, 19 (1999). [17] N. P. Eisenberg, M. Manevich, A. Arsh, M. Klebanov, V. Lyubin. *Chalcogenide Let.* **2**, **35** (2005). [18] J. Teteris, M. Reinfelde. *J. Optoelectron. Adv. Mater* **5**, 1355 (2003). [19] V. V. Petrov, A. A. Kryuchyn, S. M. Shanoilo, V. G. Kravets, I. O. Kossko, Ye. V. Belyak, A. S. Lapchuk, S. O. Kostyukevych, Kyiv, Super-dense Optical Information Recording, Institute for Information Recording, NAS of Ukraine, 2009. 282 pages [in Ukrainian]. [20] M. Veinguer, A. Feigel, B. Sfez, M. Klebanov, V. Lynbin. *J. Optoelectron. Adv. Mater* **5**, 1361 (2003). [21] W. Lee, M. Chen, H. Weder, et al., *Proc. SPIE* **382**, 282 (1983). [22] V. V. Petrov, A. A. Kryuchyn, A. P. Tokar et al. Kiev, Optical-and-mechanical Storage Facility, Naukova dumka, 1992. 152 pages [in Russian]. [23] A. A. Kryuchyn, V. V. Petrov, T. I. Sergiyenko, G. Yu. Yudin, Z. U. Borisova, M. D. Mikhailov, Yu. K. Lapin, A. V. Bogdanova, *Applied* **30**, 12 (1985). [24] V. V. Petrov, A. A. Kryuchyn, I. V. Gorbov, I. O. Kossko, S. A. Kostyukevych, *Semicond. Phys. Quantum Electron and Optoelectron.* **12**, 399 (2009). [25] S. Noach, M. Manevich, M. Klebanov, V. Lynbin, N. P. Eisenberg, *Proc. SPIE* **3778**, 158 (1999). [26] V. I. Minko, Y. E. Shepeliaviy. V. A. Danko. *Semicond, Phys. Quantum Electron and Optoelectron.* **7**, 88 (2004).

Методи формування нанорозмірних структур на плівках халькогенідних склоподібних напівпровідників

В. В. Петров, П. М. Литвин, М. А. Трунов, А. А. Крючин,
Є. В. Беляк, В. М. Рубіш, С. О. Костюкевич, А. А. Коптюк

Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2016. Т. 18, № 1. С. 3–13.

Представлено аналіз методів запису мікро- та нанорельєфних структур на плівках халькогенідних склоподібних напівпровідників. Показано, що при експонуванні плівок халькогенідних склоподібних напівпровідників оптичним випромінюванням, яке сфокусовано дифракційно обмеженими оптичними системами, відбитки, розміри яких значно менші дифракційної межі, можуть бути отримані при використанні нелінійності експозиційної характеристики fotocутливих матеріалів. Наведено дані про запис нанорозмірних структур ближньопольовими та електронно-променевими фокусувальними системами.

ВСТУП

Чисельні теоретичні та експериментальні дослідження халькогенідних склоподібних напівпровідників (ХСН) показали можливість досягнення надвисокої роздільної здатності при їхньому експонуванні оптичним випромінюванням або електронним променем [1–4]. Показано, що роздільна здатність неорганічного резисту на основі ХСН визначається розмірами структурних одиниць, які формують матрицю плівок, і становлять 1–2 нм [1–3]. У зв'язку з цим халькогенідні склоподібні напівпровідники є перспективними матеріалами для формування на їхні поверхні нанорозмірних структур і створення пристроїв надщільного запису інформації [4].

Перші експерименти з експонування тонких плівок халькогенідних склоподібних напівпровідників, нанесених на плівки срібла, та наступного їхнього селективного хімічного травлення показали, що при використанні імерсійних оптичних систем можливо записувати мікрорельєфні структури з субмікронними розмірами (0,12–0,15 мкм). При електронно-променевому експонуванні плівок ХСН з'являється можливість формування структур з розмірами 50–70 нм [5].

Рельєфні структури на плівках халькогенідних напівпровідників, ширина яких менше роздільної здатності дифракційно обмеженої оптики, можна створювати із використанням режиму термолітографічного запису. Локальне нагрівання плівки в зоні запису випромінюванням з неоднорідним розподілом інтенсивності дозволяє зменшувати розмір відбитків до необхідного значення за рахунок вибору режиму запису [6, 7]. Створенню мікро- та нанорельєфних структур сфокусованим лазерним випромінюванням на плівках халькогенідних склоподібних напівпровідників сприяє нелінійність експозиційної характеристики, що пов'язана з локальним нагрівом у зоні запису та генерацією великої кількості електронно-діркових пар. Ефект збільшення fotocутливості плівок ХСН у процесі імпульсного опромінення спостерігався багатьма дослідниками [6, 8–11]. Наприклад, у [11] було встановлено, що fotocутливість плівок AsSe при їхньому експонуванні оптичними імпульсами тривалістю 7 нс у 500 разів більша, ніж при експонуванні неперервним випромінюванням. Використання фоторезистів на основі ХСН дозволяє здійснювати запис рельєфних зображень з шириною

елементів 0,3–0,8 мкм випромінюванням з довжиною хвилі 405 нм [7]. Технологія формування елементів з такими розмірами представляє значний інтерес для систем запису оптичних дисків у форматах CD, DVD, BD [12] та створенню дифракційних ґраток [13], однак, не задовольняє вимогам запису даних на високоємних носіях наступних поколінь. Створення методів формування нанорозмірних рельєфних структур на тонких плівках халькогенідних склоподібних напівпровідників представляє актуальну задачу.

ВИКОРИСТАННЯ БЛИЖНЬОПОЛЬОВИХ ЗОНДІВ ДЛЯ ЕКСПОНУВАННЯ ТОНКИХ ПЛІВОК ХАЛЬКОГЕНІДНИХ СКЛОПОДІБНИХ НАПІВПРОВІДНИКІВ

Для зменшення діаметра експонувального променя за дифракційну межу з використанням ближньопольових зондів пропонувалося багато технічних рішень, у тому числі фокусування експонувального випромінювання через діафрагму, створену в матеріалі з нелінійною експозиційною характеристикою (технологія Super-RENS). Схему методу запису Super-RENS наведено на рис. 1 [14].

У [15] як матеріал діафрагми запропоновано використати тонкі плівки сурми (Sb) товщиною 20 нм, які розміщені між захисними плівками $(\text{ZnS})_{0,85}(\text{SiO}_2)_{0,15}$ товщиною 130 нм і 100 нм відповідно [15]. Така технологія запису дозволила на плівках GeSbTe (GST) одержати відбитки з лінійними розмірами близько 100 нм [15].

В альтернативній конструкції Super-RENS замість шару Sb використовується шар оксидів благородних металів (AgO_x , PtO_x та PdO_x). Опромінення оксидного шару викликає розкладання оксиду і формування шару наночастинок металу. Поверхневі плазмони, збуджені світлом у цих наночастинках, генерують оптичне ближньопольове випромінювання. Цю технічну конструкцію зазвичай називають розсіювальним типом Super-RENS [16]. Технологія збудження металічних наночастинок і використання оптичного ближньопольового випромінювання для експонування фоточутливих шарів виявилася досить ефективною для формування нанорозмірних структур [17, 18]. Зчитування записаних нанорозмірних відбитків може здійснюватися ближньопольовими зондами [4, 14].

Використання спеціальних ближньопольових зондів відкриває значно більші можливості для отримання нанорозмірних рельєфних структур на плівках халькогенідних склоподібних напівпровідників [11, 19, 20]. Уже в перших роботах з експонування плівок ХСН ближньопольовими зондами було показано можливість формування нанорозмірних структур. На плівках AsSe оптичним зондом з апертурою 100 нм були записані лінії шириною 125 нм [11]. Експонування здійснювалося неперервним випромінюванням аргонного лазера зі щільністю потужності 1 Вт/мм² з послідовним проходженням зони експонування. Час проходження зони експонування довжиною 7 мкм становив 0,9 с. Опромінення малими дозами призводило до фотопотемніння плівки. При збільшенні експозиції до 60 с починались абляційні процеси [11].

На рис. 2 наведені зображення поверхні плівки AsSe до опромінення (2,а) та після опромінення різними дозами експонувального випромінювання (2,б – час експонування 20 с; 2,в – час експонування 60 с). На цьому ж рисунку наведені

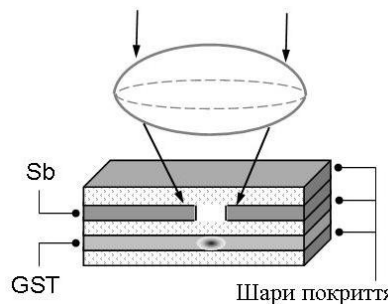


Рис. 1. Отримання нанорозмірних відбитків на плівці халькогенідного напівпровідника за технологією Super-RENS [14]

3D-зображення (2,г) і відповідний переріз поверхні плівки (2,д), що опромінювалася протягом 60 с.

Використання фотоіндукованих ефектів у літографічному процесі має значні обмеження при створенні нанорельєфних структур. Тому дослідженню цих ефектів у плівках при їхньому ближньопольовому експонуванні приділяється значна увага. Одна з головних проблем при проведенні експериментів із запису ближньопольовим зондом пов'язана з необхідністю дотримання нанометрової відстані між фокусувальним зондом і поверхнею плівки фоточутливого матеріалу. Як правило, зонд розміщується на п'єзоелектричному перетворювачі, переміщення якого керується системою зі зворотнім зв'язком.

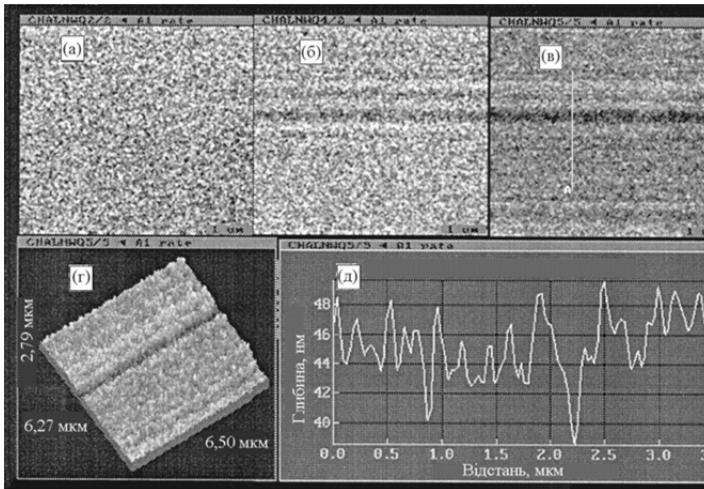


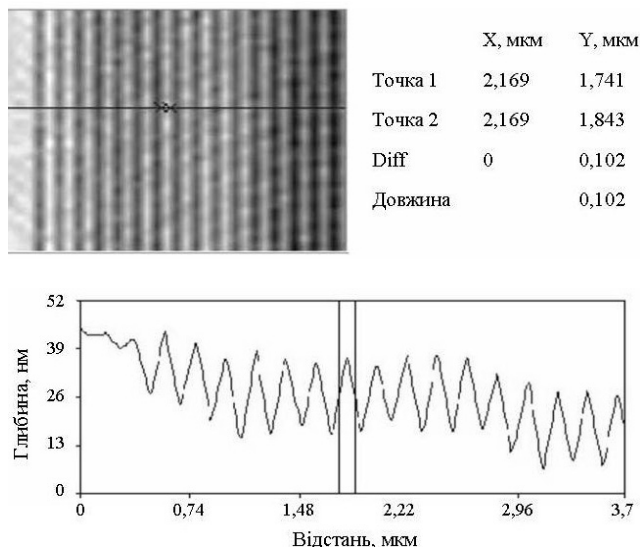
Рис. 2. Зображення поверхні плівки AsSe: а) до опромінення; б) та в) після опромінення різними дозами експонувального випромінювання; г) 3D-зображення; д) переріз поверхні плівки [11]

Для вирішення технічної проблеми, що пов'язана з розміщенням зонду на визначеній відстані від фоточутливого матеріалу та точним експонуванням, ближньопольовий освітлювач розміщується на зонді атомно-силового мікроскопу (АСМ), що дозволяє з точністю до кількох нанометрів підтримувати відстань до поверхні фоточутливого матеріалу [19, 20]. Методика використання АСМ для розміщення конічних оптичних волокон, які виступають як ближньопольові оптичні джерела, дозволяє здійснювати запис структур нанометрового масштабу. При використанні у літографічному процесі виготовлення нанорозмірних елементів у АСМ звичайна піраміда замінюється «системою», що призначена для фокусування оптичного випромінювання на стадії експонування.

У [20] наведено дані про нанорозмірні періодичні структури, записані ближньопольовим зондом на плівці сульфиду миш'яку (As_2S_3). Плівка використовувалась як позитивний резист, селективне травлення якого здійснювалося 40-процентним водним розчином монометиламіну. Швидкість експонування становила близько 100 мкм/с. Ближньопольовим зондом з апертурою 120 нм було записано лінії шириною 100 нм і глибиною 23 нм (рис. 3). Запис здійснено на ділянці 200×200 мкм [20]. Шорсткість плівки As_2S_3 після селективного травлення залишилася такою ж, як і у вихідній плівки і не вплинула на процес формування зображення. Оскільки шорсткість фоторезисту у 30–50 разів менша, ніж роздільна здатність виготовленої ґратки, цей параметр не накладає обмежень на роздільну здатність процесу. Основним недоліком використаного способу є низька швидкість сканування (100 мкм/с), що пояснюється низькою

ефективністю ближньопольових зондів на базі конічних світловодів [20]. Ближньопольова нанолітографія на плівках халькогенідів може бути більш ефективною при експонуванні їх інтенсивними короткими світловими імпульсами з урахуванням ефекту значного збільшення fotocутливості фоторезистів [20].

Рис. 3. Періодична структура на плівці As_2S_3 , записана ближньопольовим зондом після селективного травлення [19]



Одним зі шляхів подолання дифракційної межі може бути використання ближнього світлового поля наночастинок (НЧ) металів, інтегрованих з тонкою плівкою ХСН, тобто формування своєрідних плазмонних наноструктур [17, 18]. Генерація локалізованих плазмонів у НЧ благородних металів широко використовується для підвищення взаємодії світла з матрицею, яка оточує ці плазмонні наноструктури. Падаюче світло поглинається наночастинами і перетворюється в колективні коливання вільних електронів у ансамблі НЧ, що призводить до різкого посилення локального електричного поля. Це явище, назване поверхневим плазмонним резонансом (ППР), виникає в НЧ благородних металів у видимій області спектра і може розглядатись як генерація затухаючих фотонів у області ближнього поля. Відповідно, локальні (нанометрові) області матриці плівки, яка покриває наночастинки, повинні збуджуватися через генерацію носіїв у разі, якщо довжина хвилі ППР знаходиться в спектральному діапазоні краю поглинання халькогенідної плівки. Відомо також, що генерування електронно-діркових пар при збудженні забороненої зони є загальною складовою механізму процесів мас-транспорту в халькогенідних плівках [21, 22]. Локальне електричне підсилення поля призводить до значного підвищення ефективності мас-транспорту речовини плівки на нанорівні [17, 18]. За рахунок інтерференції світлового поля таких плазмонів і зміни довжини хвилі або поляризації падаючого світла можуть бути сформовані значно складніші рельєфи поверхні, ніж за допомогою звичайної інтерференційної літографії.

ФОРМУВАННЯ НАНОРОЗМІРНИХ РЕЛЬЄФНИХ СТРУКТУР НА ПЛІВКАХ ХАЛЬКОГЕНІДНИХ СКЛОПОДІБНИХ НАПІВПРОВІДНИКІВ МЕТОДАМИ ЗОНДОВОЇ МІКРОСКОПІЇ

У плівках халькогенідних склоподібних напівпровідників структурні перетворення відбуваються також при їх електронно-променевому опроміненні, що дає можливість формувати структури нанометрового масштабу. Халькогенідні стекла, як правило, розчиняються в лужних розчинниках, однак, після опромінення електронами високої енергії (30 кеВ) стають більш стійкими до травників на основі амінів [2, 3]. Дослідження показали [2, 3], що на резистах As-S, можна досягти роздільної здатності

краще ніж 20 нм. При запису електронним променем діаметром 1 нм була отримана періодична структура з ліній шириною 30 нм і проміжків між ними ~15 нм. Значно більша ширина записаних ліній порівняно з діаметром експонуального променя пов'язана з розсіянням вторинних електронів. У плівках сульфїду миш'яку були створені структури з шириною ліній 27 нм, проміжками 7 нм і висотою від 80 до 250 нм [3]. Розроблено декілька способів здійснення ефективного електронно-променевого опромінення неорганічних резистів, у тому числі з використанням атомно-силової мікроскопії (АСМ).

Можливість використання сканувальних зондових мікроскопів (СЗМ) для проведення маніпуляцій атомами та нанорозмірної модифікації матеріалів було виявлено відразу після винаходу сканувального тунельного мікроскопу (СТМ) [23–26]. Існує декілька основних механізмів модифікації поверхні досліджуваного зразка за допомогою зонду СЗМ: електричний, тепловий, механічний, хімічний, а також різні комбінації між ними. До переваг методу сканувальної зондової літографії слід віднести:

- відсутність масок, резистів, хімічного травлення;
- високу локальність взаємодії з поверхнею підкладки;
- відносну дешевизну устаткування.

Основним недоліком сканувальної зондової літографії (СЗЛ) на сьогоднішній день є низька швидкість процесу літографії і, таким чином, обмежена область завдань, що вирішуються за допомогою даної методики. Необхідно відзначити, що в області наноконтакту відбувається концентрація струмів великої щільності, високих електричних полів і механічних тисків. Роздільна або спільна дія цих чинників активізує низку фізико-хімічних явищ (локальне розігрівання, пластичну деформацію, поляризацію, польове випаровування, мас-транспорт, електрохімічні реакції), які використовуються для наномодифікації матеріалів у різних режимах роботи СЗЛ [23, 24]. Сканувальний тунельний мікроскоп та атомно-силовий мікроскоп можуть використовуватися не тільки для аналізу поверхні, але і для модифікації поверхні на атомному рівні. Використання АСМ дозволяє усунути проблему точного керування відстані між зондом і носієм та дозволяє досліджувати матеріали з різною електропровідністю. Переваги сканувальної атомно-силової мікроскопії полягають у можливості здійснення прямого запису, виготовлення періодичних і неперіодичних структур на підкладках різної природи, простоті та економічності [23, 25]. Атомно-силовий мікроскоп може використовуватися для надщільного запису даних зі швидкостями сканування до 100 мм/с.

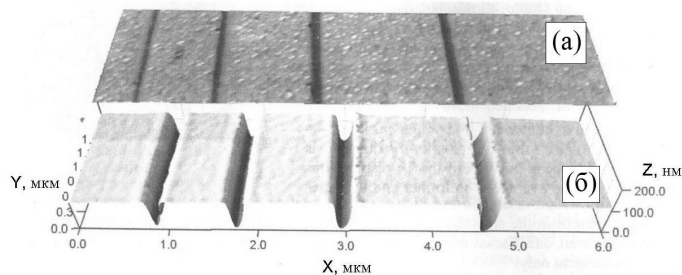


Рис. 4. 3D АСМ-зображення ліній, що отримані: а) механічною деформацією неорганічного резисту; б) селективним хімічним травленням двошарового резисту [28]

Важливе значення для створення нанорельєфних структур з визначеними властивостями має вибір матеріалу, на якому створюються такі структури. В [27] запропоновано здійснювати процес СЗЛ на двошаровій структурі. Перший шар виконано з

м'якого матеріалу товщиною 10–15 нм. У ньому за стандартною технологією атомно-силової літографії формується періодична нанорельєфна структура [25, 26]. Другий шар виконано з халькогенідного резисту, і він має товщину, що необхідна для створення літографічної маски. Крізь одержану періодичну структуру здійснюється селективне травлення шару неорганічного резисту. Зображення нанорозмірних рельєфних структур наведено на рис. 4. Запропонована в [27] технологія дозволяє отримувати лінії шириною 60 нм.

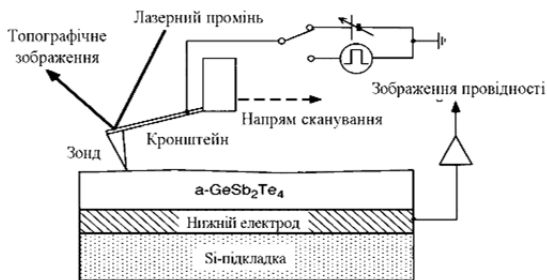


Рис. 5. Схема процесу фазового запису атомно-силовою мікроскопією на плівках халькогенідних напівпровідників [24]

Було показано, що за рахунок прикладення імпульсів напруги між зондом і провідним електродом провідність халькогенідної аморфної півки GeSb_2Te_4 зростає більше, ніж на 2 порядки. Зростання провідності обумовлено фазовим переходом халькогенідної півки з аморфного стану в кристалічний. Записані дані зчитуються зондом АСМ шляхом визначення зміни провідності халькогенідної півки. Одночасне вимірювання провідності і топografічних зображень за допомогою АСМ показало, що рельєф поверхні записаних зон не змінився у процесі запису. Найменші записані відбитки були до 10 нм у діаметрі, що відповідає щільності запису даних у 1 Тбіт/см² [24].

Формування нанорозмірних рельєфних структур у плівках ХСН може здійснюватися шляхом спільного використання методів оптичної мікроскопії та зондової нанолітографії. Під впливом сфокусованого лазерного випромінювання відбувається фоторозм'якшення матеріалу в зоні фокусування за рахунок фотопластичного ефекту. Мінімальний розмір модифікованої поверхні (зони запису) визначається в основному радіусом кривизни наноголки для наноіндентування [28]. Використання такої технології запису дозволяє досягти формування елементів з розмірами зони запису ~30–70 нм, що у 3–5 разів менше, ніж реальний діаметр сфокусованого експонувального променя лазерних джерел фіолетового та ультрафіолетового випромінювання.

Одержання відповідного рельєфу у зоні запису відбувається безпосередньо під час одночасного експонування та індентування, що є суттєвою перевагою перед відомими літографічними методами, які потребують додаткової обробки носія хімічними розчинниками селективної дії, іонно-променевим або плазмохімічним травленням. Профілі відбитків, одержаних при наноіндентуванні півки $\text{As}_{20}\text{Se}_{80}$ в темноті та під засвіткою при різних навантаженнях наведено на рис. 6. Зважаючи на досягнення найближчого з аналогів – технології Millipede (IBM), запропонований метод можна розглядати як один із найбільш перспективних для надщільного запису. Однією з переваг даного методу є відсутність джерела термічного нагрівання для розм'якшення ділянки поверхні, що модифікується, та, відповідно, пов'язаних із цим нагріванням недоліків (енергетичних затрат, складності мікромеханічної системи, навантаження та інше).

Із використанням технології атомно-силової мікроскопії успішно проводився запис даних та формування нанорозмірних структур на плівках ХСН з фазовими перетвореннями [24]. Запис інформації базується на формуванні за допомогою електричного імпульсу в нанорозмірному шарі халькогенідного матеріалу локальних ділянок (кристалічних/аморфних) з відмінною структурою і, відповідно, електропровідністю. Схему процесу запису наведено на

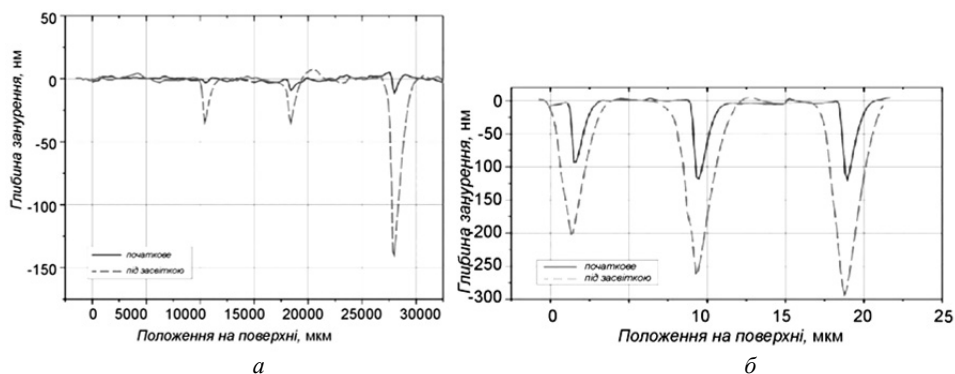


Рис. 6. Профілі відбитків, одержаних при наноідентуванні плівки $As_{20}Se_{80}$ в темноті та під засвіткою при навантаженнях: а – 120–240 мкН; б – 700–900 мкН [27]

ВИСНОВКИ

1. Розроблені технології ближньопольового запису дозволяють створювати на плівках ХСН рельєфні наноструктури з розмірами десятки нанометрів, однак мала ефективність ближньопольових зондів не дозволяє досягати швидкостей створення зображень, які б змогли знайти практичне застосування.

2. Значно більшими можливостями для формування нанорозмірних структур на плівках халькогенідних склоподібних напівпровідників володіють електроннопроменеві методи експонування, включаючи запис на атомно-силовому мікроскопі.

3. Перспективним і ефективним є метод формування структур нанометрового масштабу за допомогою електричного імпульсу в шарі халькогенідного матеріалу з фазовими перетвореннями, який дозволяє одержувати відбитки розміром до 10 нм у діаметрі, що відповідає щільності запису в 1 Тбіт/см².

4. Серед оптичних методів формування нанорозмірних структур представляє інтерес метод, в якому використовується ближнє світлове поле наночастинок благородних металів, інтегрованих з тонкою плівкою ХСН.

5. Перспективним методом формування нанорозмірних структур у плівках ХСН є оптомеханічний метод, який базується на фотопластичному ефекті. Одержання нанорозмірних елементів (30–70 нм) у зоні запису відбувається під час одночасного експонування та ідентування поверхні плівки.

ПОДЯКИ

Автори висловлюють глибоку подяку співробітникам Інститутів проблем реєстрації інформації НАН України та фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України за допомогу у виготовленні зразків носіїв інформації, здійсненні запису інформації та їхньої подальшої обробки, а також за плідне обговорення результатів досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Formation of surface structures on amorphous chalcogenide films* / S. Kokenyesi, I. Ivan, V. Takats [et al.] // *Journal of Non-Crystalline Solids*. – 2007. – Vol. 353. – P. 1470–1473.
2. *Vlcek M. Nanostructuring of chalcogenide glasses using electron lithography* / M. Vlcek, H. Jain // *J. of Optoelectronics and Advanced Materials*. – 2006. – Vol. 8, N 6. – P. 2108–2111.
3. *Fabrication of nano-gratings in arsenic sulphide films* / J.R. Neilson, A. Kovalskiy, M. Vlcek, [et al.] // *J. of Non-Crystalline Solids*. – 2007. – Vol. 353, Issue. 13–15. – P. 1427–14302.
4. *Kolobov A.V. Chalcogenide*

glasses in optical recording: recent progress / A.V. Kolobov, J. Tominaga // *J. of Optoelectronics and Advanced Materials*. – 2002. – Vol. 4, N 3. – P. 679–686. 5. *Неорганічна фотолітографія*. Монографія / [Петров В.В., Крючин А.А., Костюкевич С.О., Рубіш В.М.] / Нац. акад. наук України, Ін-т проблем реєстрації інформації, Ін-т фізики напівпровідників. – К.: ІМФ НАНУ, 2007. – 195 с. 6. *Крючин А.А.* Влияние нелинейности регистрирующей среды на плотность записи информации в оптических запоминающих устройствах / А.А. Крючин, В.В. Петров // *Квантовая электроника*. – 1997. – Т. 4, № 1. – С. 188–190. 7. *Крючин А.А.* Анализ методов получения наноразмерных рельефных структур на поверхности носителей информации / А.А. Крючин, С.А. Костюкевич // *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*. – 2010. – Т. 12, № 1. – С. 3–11. 8. *Петров В.В.* О светочувствительности систем на основе стеклообразных халькогенидных полупроводников при высокой мощности облучения / В.В. Петров, А.А. Крючин // *Квантовая электроника*. – 1974. – Т. 1, № 12. – С. 2618–2620. 9. *Костышин М.Т.* Поведение светочувствительной системы Ag-As₂S₃ при облучении импульсным лазерным излучением большой мощности / М.Т. Костышин, С.А. Костюкевич // *Укр. физ. журн.* – 1981. – Т. 26, № 9. – С. 1561–1563. 10. *Калитеевская Н.А.* Эффект усиления контраста передачи изображения при взаимодействии ультрафиолетового излучения с пленками неорганических фоторезистов / Н.А. Калитеевская, Р.П. Сейсян // *Физ. и техн. полупроводников* – 2001. – Т. 35, № 2. – С. 233–236. 11. *Sub-wavelength optical recording on chalcogenide glassy film* / Y. Isbi, S. Sternklar, E. Granot [et al.] // *Optics communications*. – 1999. – Vol. 171, N 4/6. – P. 219–223. 12. *Надцифільний оптичний запис інформації* / [Петров В.В., Крючин А.А., Шанойло С.М. та ін.]: відп. ред. О.Г. Додонов. – Національна академія наук України, Інститут проблем реєстрації інформації. – К.: НАН України, 2009. – 282 с. – ISBN 978-966-02-5027-7. 13. *Indutniy I.Z.* Laser lithography in the layers As₂S₃ / I.Z. Indutniy, S.A. Kostyukevich, V.I. Minko // *Optoelectron and Semicond. Engin.* – 1993. – Vol. 25. – P. 52–59. 14. *Optical switching properties of light-induced pinhole in antimony thin films* / T. Fukaya, J. Tominaga, T. Nakano, N. Atoda // *Appl. Phys. Lett.* – 1999. – Vol. 75. – P. 3114–3116. 15. *Non-melting super-resolution near-field apertures in Sb-Te alloys* / R.E. Simpson, P. Fons, X. Wang [et al.] // *Appl. Phys. Lett.* – 2010. – Vol. 97. – P. 161906. 16. *Optical Properties of Metal-Oxide Films in Super-RENS* / Q. Liu, T. Fukaya, J. Tominaga [et al.] // *Japanese Journal of Applied Physics*. – 2005. – Vol. 44. – Part 1. – N. 7A. – P. 5156–5163. 17. *Light-induced mass transport in amorphous chalcogenides/gold nanoparticles composites* / M.L. Trunov, P.M. Lytvyn, P.M. Nagy [et al.] // *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Opto-electronics*. – 2013. – Vol. 16, N 4. – P. 354–361. 18. *Light-induced mass transport in amorphous chalcogenides: Toward surface plasmon-assisted nanolithography and near-field nanoimaging* / M.L. Trunov, P.M. Lytvyn, P.M. Nagy [et al.] // *Phys. Status Solidi B*. – 2014. – **251**, N 7. – P. 1354–1362. 19. *Thermal and optical nanolithography using a scanning near-field optical microscopy* / E. Fla-xer, M. Klebanov, V. Lyubin [et al.] // *Microscopy: Science, Technology, Applications and Education A. Mendez-Vilas and J. Diaz (Eds)*. – FORMATEX, 2010. – P. 2103–2110. 20. *Optical near-field lithography in halcogenide films* / S. Noach, M. Manevich, N.P. Eisenberg [et al.] // *Optical Materials*. – 2006. – Vol. 28. – P. 1054–1057. 21. *Real-time atomic force microscopy imaging of photoinduced surface deformation in As_xSe_{100-x}As_xSe_{100-x} chalcogenide films* / M.L. Trunov, P.M. Lytvyn, P.M. Nagy, O.M. Dyachyn's'ka // *Appl. Phys. Lett.* – 2010. – Vol. 96. – 111908. 22. *Kaganovskii Yu.* Inversion of the direction of photo-induced mass transport in As₂₀Se₈₀ films: Experiment and theory / Yu. Kaganovskii, D.L. Beke, S. Charnovych [et al.] // *J. Appl. Phys.* – 2011. – **110**. – P. 063502 (5). 23. *Методи нанолітографії* / [Петров В.В., Крючин А.А., Куницький Ю.А. та ін.]. – К.: Наук. думка, 2015. – 262 с. 24. *Kado H.* Nanometer-scale recording on chalcogenide films with an atomic force microscope / H. Kado, T. Tonda // *Appl. Phys. Lett.* – 1995. – Vol. 66. – P. 2961–2962. 25. *Bhushan B.* Nanotribology and nanomechanics of AFM probe-based data recording technology / B. Bhushan, K. J. Kwak, M. Palacio J. // *Phys.: Condens. Matter*. – 2008. – Vol. 20, N 36. – 365207. 26. *Atomic force microscopy lithography as a nanodevice development technique* / A. Notargia-como, V. Foglietti, E. Cianci [et al.] // *Nanotechnology*. – 1999. – Vol. 10, N 4. – P. 458–463. 27. *Scanning probe nano-patterning on chalcogenide resists* / I.Z. Indutniy, P.M. Lytvyn, V.I. Min'ko [et al.] // *Abstract Book 7-th Internation. Conf. on Amorphous and Nanostructured Chalcogenides Cluj-Napoca, June 5–10, 2015*. – P. 16. 28. *Trunov M.L.* Photoplastic effect in non-crystalline materials: a nanoindentation study / M.L. Trunov // *J. Phys. D: Appl. Phys.* – 2008. – Vol. 41, N 7. – 074011.

Розділ 3

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИЧНИХ ДИСКІВ І ЦИЛІНДРІВ ДЛЯ ЕОМ

Кінець 1960-х – початок 1970-х років відзначилися стрімким зростанням потужних засобів і систем, обчислювальної техніки високої продуктивності. Створювалися великі обчислювальні центри загальною продуктивністю десятки та сотні мільйонів операцій в секунду, які могли би мати статус галузевих територіальних, національних і навіть міжнародних центрів. Актуальною вимогою таких центрів була необхідність концентрації величезних масивів інформації, створенні банків даних ємністю 10^{12} – 10^{13} і більше біт.

Проте запам'ятовуючі пристрої були багатьох типів, побудовані на різних принципах, використовували різноманітні типи носіїв інформації – магнітні стрічки, диски, карти, перфострічки і перфокарти, оптичні носії у вигляді фотострічок і т.ін., мали різну продуктивність і не завжди були сумісні між собою.

Час диктував необхідність створення високопродуктивного запам'ятовуючого пристрою великої ємності, який був би сумісним з високопродуктивними обчислювальними машинами і високопродуктивними запам'ятовуваними пристроями, зокрема магнітними.

Дослідження з технології оптичного запису та розробки оптичних запам'ятовуючих пристроїв були спрямовані на вирішення актуальної науково-технічної проблеми створення запам'ятовуючих пристроїв великої ємності. Проведення робіт починалося з висунення нових ідей у галузі реєстрації інформації та аналізу можливостей створення принципово нових пристроїв на існуючих технологічній та елементній базах, визначення нових технологій і матеріалів, без яких запам'ятовуючі пристрої великої ємності не можуть бути створені. У кандидатській дисертації В. В. Петрова було показано, що, використовуючи нові фізичні методи, можна значно підвищити щільність запису інформації на світлочутливих неорганічних матеріалах. Вячеслав Васильович запропонував використати розроблену технологію

неорганічної фотолітографії для створення оптичних запам'ятовуючих пристроїв. Дослідження були підтримані академіками В. М. Глушковим і Г. Є. Пуховим.

У зв'язку з великою перспективністю розробок групи Петрова Державний комітет з науки і техніки СРСР затвердив і почав фінансувати спеціальну тему зі створення запам'ятовуючих пристроїв великої ємності. При створенні перших оптичних запам'ятовуючих пристроїв було поставлено задачу розробки пристрою, який був призначений для роботи з потужними електронно-обчислювальними машинами. Ця вимога визначила основні характеристики нового запам'ятовуючого пристрою – ємність змінного носія 10^{10} біт, швидкість запису/відтворення інформації 10^6 біт/с, час пошуку даних не більш 30 мс. У наукових публікаціях показано, що оптичні методи реєстрації інформації можуть забезпечити створення запам'ятовуючих пристроїв різної продуктивності та призначення від систем масової пам'яті до пристроїв збору інформації.

У процесі створення нових запам'ятовуючих пристроїв значна увага приділялася забезпеченню високої надійності та тривалому терміну зберігання інформації. Ці вимоги визначили базові технічні рішення, закладені при створенні нових носіїв інформації, а саме: було запропоновано використовувати як матеріал підкладки гарячеполіроване скло, отримане флоат-процесом, високотемпературні реєструвальні матеріали з перфораційним записом, здійснювати запис і відтворення інформації крізь скляну підкладку товщиною 3 мм.

Для створення оптичних запам'ятовуючих пристроїв великої ємності необхідно було вирішити велику кількість складних наукових і технічних задач. В області електромеханіки – це створення шпинделя для обертання дискового носія з високою швидкістю та радіальним биттям менше 0,01 мкм, системи лінійного переміщення фокусувального об'єктива та системи автоматичного фокусування, яка забезпечувала постійну відстань між об'єктивом та реєструвальним шаром носія інформації з точністю 1 мкм. Забезпечити виконання вимог до електромеханічних систем оптико-механічного запам'ятовуючого пристрою (ОМЗУ) вдалося завдяки використанню аеростатичних систем і спеціальних легких металевих сплавів.

В області оптики – це створення спеціальних фокусувальних об'єктивів, лазерів для запису та відтворення інформації, скла для підкладок носіїв інформації. В області системотехніки – це розробка системи корекції помилок. В області матеріалознавства – це створення високостабільних реєструвальних середовищ. Більшість технічних рішень, розроблених для вирішення вищезазначених проблем, захищено авторськими свідоцтвами СРСР і патентами зарубіжних країн.

Практичною реалізацією зазначених досліджень була спільна з Кам'янець-Подільським заводом «Електроприлад» промислова розробка та налагодження виготовлення експериментальної партії першого в світі накопичувача інформації ЄС 5150 на оптичних дисках ЄС 5350 ємністю 2,5 Гбайт.

Швидке зростання кількості потужних персональних комп'ютерів, їхнє широке застосування в різних сферах життєдіяльності, в тому числі на рухомих об'єктах, вимагало створення запам'ятовуючих пристроїв, які би надійно працювали в умовах вібрацій, перенавантажень при здійсненні еволюцій об'єктів у просторі.

Для вирішення науково-технічної проблеми запису даних на рухомих об'єктах в умовах значних механічних навантажень і систем запису для персональних ЕОМ було розроблено принципово нову технологію побудови системи запису даних – використані циліндричні носії інформації і система рідинного імерсійного запису. Система імерсійного запису забезпечувала досягнення високої щільності запису та гарантувала запис/відтворення даних при наявності механічних пошкоджень поверхні носія інформації. Розміщення реєструвального середовища носія інформації у середині герметичної порожнини циліндричної підкладки забезпечувало тривалий термін зберігання інформації. Були розроблені оригінальні оптична система, системи безконтактного обертання циліндричного носія, гідравлічного позиціонування оптичного носія та інтерферометричного визначення положення носія інформації. Більшість технічних рішень, використаних при створенні оптичної імерсійної системи запису на циліндричний носій, захищена авторськими свідоцтвами СРСР та патентами зарубіжних країн.

Спільно з ЦНВО «Комета» (м. Москва) та Брестським виробничим об'єднанням засобів обчислювальної техніки було здійснено промислову розробку та налагоджено виготовлення першого в світі малогабаритного накопичувача інформації ЄС 5153 на оптичних циліндрах ЄС 5353 ємністю 250 Мбайт.

Надзвичайно важливою є ще одна практична реалізація результатів багаторічних досліджень з напрямку створення систем оптичного запису інформації. Для організації виробництва компакт-дисків в Україні було розроблено технологічну лінію виготовлення штампів для тиражування компакт-дисків. При створенні станції лазерного запису дисків-оригіналів, яка була головною системою технологічної лінії виготовлення штампів, використано наробки, створені при розробці ОМЗУ. Однією із базових систем технологічної лінії виготовлення штампів стали гальванічні ванни для вирощування штампів. Було створено оригінальну технологію виготовлення нікелевих штампів із використанням малогабаритних герметичних реакторів струминного типу, яка забезпечувала швидкісне (протягом 40 хв) вирощування штампів. Ця технологічна лінія дозволяла виготовляти металеві носії для довготермінового зберігання інформації.

Більші строки зберігання інформації можуть забезпечити оптичні носії з сапфіровими підкладками. Проведені дослідження дозволили вирішити проблему компенсації двопротинезаломлення при відтворенні інформації променем лазера крізь сапфірову підкладку. Запропоноване рішення захищено патентом України.

Про щільність запису інформації в оптичних запам'ятовуючих пристроях

(представив академік АН УРСР Г. Є. Пухов)

В. В. Петров, О. П. Токар

Доповіді академії наук Української РСР.

Серія А. Фізико-технічні та математичні науки. 1973. № 9. С. 835–839.

Увага до оптичних методів запису та відтворення цифрової інформації виникла у зв'язку з очікуваним підвищенням щільності запису інформації, яке дозволяє перевірити багато показників пристроїв, що працюють на основі використання магнітного запису.

Відомі два основних типи оптичних запам'ятовуючих пристроїв (ОпЗП) – з голографічним записом інформації (ГЗП), та з записом у вигляді окремих крапок (дискретний запис). До основних переваг ГЗП відносять розподіл кожної одиниці інформації по всій поверхні голограми, завдяки чому зменшується вплив окремих дефектів світлочутливого матеріалу (носія), але наявність таких дефектів веде до загального зменшення відношення сигнал/перешкода.

При дискретному запису інформації вплив окремих дефектів світлочутливого матеріалу можна усунути перешкодостійким кодуванням при збереженні високого значення відношення сигнал / перешкода, а технічну реалізацію таких ЗП, на нашу думку, здійснити простіше, ніж голографічних.

Мета цієї роботи – дослідити щільність запису інформації в ЗП з дискретним записом.

Для широкого класу ОпЗП процес реєстрації інформації може бути поданий у вигляді такої схеми:

$$P_3(t) \rightarrow R(x, y) \rightarrow P_{\text{пр}}(v_{3ч}, t) \rightarrow U_{\text{вих}}(t),$$

де $P_3(t)$ – потужність джерела світла при запису; $R(x, y)$ – розподіл коефіцієнта відбивання (або пропускання) по поверхні носія інформації; $P_{\text{пр}}(v_{3ч}, t)$ – потужність сигналу зчитування на приймачі світла; $U_{\text{вих}}(t)$ – вихідний сигнал; x, y – координати носія; $v_{3ч}$ – швидкість носія при зчитуванні; t – час.

Запис та зчитування провадяться променем лазера, що працює в одномодовому режимі (TEM₀₀), для якого розподіл інтенсивності виражається співвідношенням [1]

$$I(x, y) = \frac{P}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right),$$

де P – повна потужність випромінювання; σ – дисперсія інтенсивності випромінювання.

Розподіл енергії по поверхні носія при запису інформації визначається виразом

$$W(x, y) = \int_{-\infty}^x I_3(x, y) \cdot dt = \frac{1}{v_3} \int_{-\infty}^x I_3(x, y) \cdot dx,$$

де v_3 – швидкість руху носія по координаті x .

Для ряду світлочутливих матеріалів залежність коефіцієнта відбивання від падаючої енергії має вигляд

$$R(x, y) = C[W(x, y)]^{-\beta},$$

де C – стала, що характеризує чутливість носія; β – коефіцієнт контрастності.

Нехай потужність джерела світла при запису

$$P_3(t) = P_3 \cdot l(t),$$

де $l(t)$ – одинична ступінчаста функція.

Тоді при використанні позитивного фотоматеріалу з коефіцієнтом контрастності, який дорівнює одиниці,

$$R(x, y) = \frac{cP_3}{2\pi\sigma_3^2 v_3} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_3^2}\right) \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_3^2}\right) \cdot dx.$$

Нехай, далі, приймач світла з чутливістю $k_{пр}$ реагує на повну потужність відбитого від носія (або пропущеного) випромінювання; тоді вихідний сигнал при зчитуванні променем лазера потужністю $R_{зч}$ та дисперсією $\sigma_{зч}^2$ при швидкості носія $v_{зч} = v_3$ буде визначатися згортокою функцій $R(x, y)$ і $I_{зч}(x, y)$.

Частотна характеристика каналу запис – відтворення має вигляд

$$K(j\omega) = \frac{U_{вих}(j\omega)}{P_3(j\omega)} = \frac{k_{пр}cP_{зч}}{v_3\sqrt{2\pi(\sigma_3^2 + \sigma_{зч}^2)}} \exp\left(-\frac{y_0^2}{2(\sigma_3^2 + \sigma_{зч}^2)}\right) \times \\ \times \exp\left(-\frac{\omega^2(\sigma_3^2 + \sigma_{зч}^2)}{2}\right) = A(y_0)\exp\left(-\frac{\omega^2(\sigma_3^2 + \sigma_{зч}^2)}{2}\right)$$

де y_0 – зміщення зчитуючого променя відносно променя запису.

Щільність запису знайдемо для методу запису «по двох рівнях без проміжків»; наявність сигналу «1» будемо визначати всередині такту, порівнюючи вихідний сигнал з пороговим значенням. При цьому повинно виконуватися співвідношення

$$U_{1^{min}} \geq \gamma \cdot (U_{0^{max}} + U_{n^{max}}), \quad (1)$$

де $U_{1^{min}}$ – мінімальний вихідний сигнал при зчитуванні «1»; $U_{0^{max}}$ – максимальний вихідний сигнал при зчитуванні «0»; $U_{n^{max}}$ – максимальне значення сигналу перешкоди від сусідніх доріжок; γ – необхідне відношення сигнал «1»: сигнал «0».

Припустивши $y_0 = 0$, одержимо граничну щільність запису для даного методу.

$U_{1^{min}}$ знайдемо з виразу для вихідного сигналу одиночного імпульсу, розташованого симетрично відносно початку координат:

$$U_{1^{min}} = A(0)P_3 \cdot \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^L \exp(-\tau^2) d\tau = A(0)\Phi\left(\frac{L}{\sqrt{8(\sigma_3^2 + \sigma_{зч}^2)}}\right), \quad (2)$$

де $L = v_{зч}T$ – довжина імпульсу.

$$U_{0^{max}} = A(0)P_3 - U_{1^{min}}.$$

Максимальне значення перешкоди від сусідніх доріжок

$$U_{n''max} = 2P_3A(0)\exp\left(-\frac{d^2}{2(\sigma_3^2 + \sigma_{3q}^2)}\right),$$

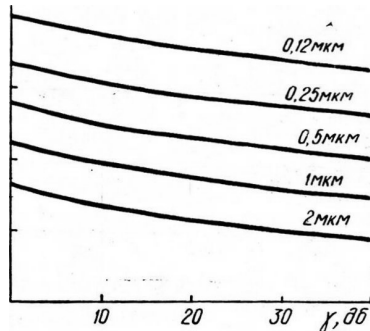
де d – відстань між доріжками.

Підставляючи в (1) співвідношення (2) – (4), одержимо

$$(\gamma + 1)\Phi \frac{L}{\sqrt{8(\sigma_3^2 + \sigma_{3q}^2)}} \geq \gamma \left[1 + 2\exp\left(-\frac{d^2}{2(\sigma_3^2 + \sigma_{3q}^2)}\right) \right],$$

що визначає мінімальну відстань між доріжками та період запису для заданого γ .

Додавши ще умову, щоб площа, необхідна для запису одного біту інформації, яка визначається добутком $L \times d$, була мінімальною, можна знайти залежність щільності запису від γ для різних σ (рисунки). Для одержаної частотної характеристики каналу «запис-відтворення» обраний метод запису «по двох рівнях без проміжків» забезпечує найбільшу щільність запису (2) і для видимої області спектру, наприклад, фокусуванні випромінювання ОКГ з довжиною хвилі 0,42 мкм ($\sigma = 0,12$ мкм [3]), щільність запису інформації досягає 10^9 біт/см². Використання як носія інформації нелінійних матеріалів може дещо збільшити цю оцінку.



В голографічних ЗП граничну щільність запису також оцінюють у 10^9 біт/см² [4], однак така голограма вже практично безнадмірна, тому губиться основна перевага ГЗП – нечутливість до окремих дефектів світлочутливого матеріалу.

При голографічному методі запису перешкодостійкість досягається збільшенням площі голограми, а при дискретному – введенням перешкодостійкого кодування, що також призводить до збільшення площі, яку займає інформаційний масив. Однак при малій кількості дефектів та виборі перешкодостійкого коду, що враховує характер дефектів, ефективна щільність запису знижується незначно (у 1,5–2 рази [5]), в той час як при голографічному методі доводиться збільшувати площу голограми у десятки разів.

ЛІТЕРАТУРА

1. H. Kogelnic, T. Li Proc. IEEE, 54, 1312 (1966).
2. А. Г. Зюко Помехоустойчивость и эффективность систем связи. Связьиздат, 1963.
3. P. H. Vorchers Amer. J. Phys., 39, 6, 680 (1971).
4. А. Л. Микаэлян, В. И. Бобринев, С. М. Наумов, Л. З. Соколова Радиотехника и электроника, 14, 122, (1969).
5. У. Питерсон Коды, исправляющие ошибки. М.: Мир, 1964.

Оптические запоминающие устройства большой емкости

В. В. Петров, А. А. Крючин, А. П. Токарь

Вычислительная техника и энергетика. Киев : Наук. думка, 1974. С. 111–119.

Непрерывное совершенствование вычислительных машин и создаваемых на их основе информационно-вычислительных систем, автоматизированных систем управления, необходимость выполнения большого объема невычислительных операций, связанных с обработкой больших массивов информации, ставит задачу дальнейшего увеличения емкости и быстродействия запоминающих устройств. В связи с этим интенсивно исследуется возможность использования новых методов и физических явлений для создания устройств хранения больших массивов информации.

Интерес к оптическим запоминающим устройствам обусловлен ожидаемым увеличением плотности записи, скорости обмена, надежности хранения информации. Разработка оптических ЗУ ведется по двум основным направлениям, которые определяются способами регистрации оптического изображения.

1. Создание оптических запоминающих устройств (ОпЗУ) с прямым методом регистрации изображения (ОпЗУ с дискретной записью информации), когда на регистрирующей среде формируется изображение непосредственно самого объекта.

2. Построение ОпЗУ с голографической записью информации (голографическое ЗУ). В этих устройствах информация хранится в виде интерференционной картины (голограммы), образованной информационной и опорной волнами.

Проведем сравнение основных характеристик и особенностей организации ОпЗУ с различными способами регистрации оптического изображения. Сравнение целесообразно проводить по следующим основным параметрам: организации, плотности записи, объему хранимой информации, времени обращения, скорости обмена, надежности, требованиям к точности механических систем, стоимости хранения одного бита информации.

1. ОРГАНИЗАЦИЯ ОпЗУ С РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ РЕГИСТРАЦИИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Возможны четыре основных типа организации ОпЗУ, соответствующие различным возможностям сочетания организации записи и считывания [1]:

При поэлементной записи единицы информации последовательно записываются на носитель в определенном порядке. В случае постраничной записи на регистрирующую среду проецируется изображение большого числа единиц информации (при прямом способе регистрации) или же голограмма этого изображения (при голографическом).

Считывание Запись	Поэлементное	Постраничное
Поэлементная	А	В
Постраничная	С	Д

При поэлементном считывании световой луч направляется в точку носителя, в которой записана считываемая единица информации и с помощью фотодетектора определяется состояние регистрирующей среды в данной точке. Постраничное считывание заключается в проецировании изображения совокупности единиц информации на матрицу фотодетекторов.

Применение постраничной записи и считывания позволяет значительно повысить скорость обмена в ОпЗУ и уменьшить время обращения. К сожалению, создание систем с постраничной записью и считыванием наталкивается на необходимость изготовления многоканальных систем формирования страниц и считывания информации, в то время как в ОпЗУ с дискретной записью информация записывается и считывается с помощью простой одноканальной системы.

Для голографических ЗУ наиболее подходящей формой организации является система с постраничной записью и считыванием. Это связано с тем, что для получения максимально возможной плотности записи информации при заданном отношении сигнал/шум запись информации должна осуществляться массивами по 10^3 – 10^4 бит микроголограмм диаметром около 1 мм [2]. При таком способе записи возможно только параллельное считывание информации, потому, что голограмма играет роль как носителя информации, так и оптической системы формирования восстановленного изображения.

При постраничной записи и считывании информации в ОпЗУ с дискретной записью необходимо устанавливать носитель информации перед объективом по двум координатам с точностью до малой доли отдельного пятна или использовать растровую оптику.

В ОпЗУ с дискретной записью целесообразно применение записи и считывания информации. Достоинством такого устройства является его простота и относительно легкая техническая реализуемость. Вместе с тем подобная организация ОпЗУ, как будет показано ниже, позволяет создавать устройства емкостью 10^{10} – 10^{11} бит с временем обращения, характерным для современных накопителей на магнитных дисках.

2. ПЛОТНОСТЬ ЗАПИСИ ИНФОРМАЦИИ

Высокая плотность записи информации в оптических запоминающих устройствах может быть получена, благодаря малой длине волны оптического излучения, используемого для записи и считывания информации.

В ОпЗУ с дискретной записью информации плотность записи, в основном, определяется размерами светового пятна на поверхности носителя. Минимальный диаметр пятна определяется длиной волны света, апертурой фокусирующего объектива и его аберрациями. Созданные в настоящее время объективы для монохроматического излучения характеризуются почти полным исправлением аберрации (разрешающая способность объектива может достигать 2000–3000 линий на мм) [3]. Минимальный диаметр пятна d , который может быть получен с помощью дифракционно-ограниченной оптики $d = 1,22\lambda/A_{об}$, где λ – длина волны излучения; $A_{об}$ – числовая апертура объектива.

Наибольшая апертура объектива, возможная без применения иммерсии, равна 0,95.

В голографическом ЗУ факторами, ограничивающими плотность записи, являются апертура фотодетекторной матрицы со стороны голограммы и аберрации голограммы. Экспериментально показано, что голографии можно достичь релеевского предела разрешения, когда ограничивающим фактором является только апертура фотодетекторной матрицы со стороны голограммы [4]. В работе [5] показано, что реальным значением для технических применений является апертура, равная $1/2$.

3. ОБЪЕМ ХРАНИМОЙ ИНФОРМАЦИИ

Емкость ОпЗУ с дискретной записью без механического перемещения ограничена числом точек, различными в поле зрения объектива. Лучшие современные объективы

позволяют различить в пределах поля зрения 10^6 – 10^7 точек [9]. Следовательно, объем информации, хранимой в таком устройстве, может быть не более 10^7 бит.

Для увеличения емкости ОпЗУ с дискретной записью приходится использовать систему с механическим перемещением носителя информации. Объем памяти ОпЗУ с такой организацией ограничен только размерами носителя информации.

Анализ, проведенный в работе [7], показал, что в ОпЗУ с дискретной записью информации на движущийся носитель для излучения с длиной волны $\lambda = 0,5$ мкм можно получить плотность записи вдоль дорожки порядка 500 бит/мм при расстоянии между дорожками 1,5 мкм. Пусть площадь носителя такая же, как в современных накопителях на магнитном барабане или на магнитном диске [6]. При записи на барабан (диаметр 60–630 мм, длина образующей 90–450 мм) оптическое ЗУ может иметь емкость $1,8 \cdot 10^9$ – 10^{12} бит и $1,5 \cdot 10^{10}$ бит при записи на диск (диаметр 356 и 600 мм).

Более общую оценку максимальной емкости ОпЗУ с дискретной записью можно сделать по формуле

$$C = \frac{h}{1,5} S \left(\frac{A_{об}}{\lambda} \right)^2,$$

где C – емкость ЗУ; S – площадь носителя; h – параметр, определяемый из требуемого отношения сигнал/помеха.

Для отношения сигнал/помеха, равного 10, h должно равняться 0,65 [7].

Анализ возможностей голографического ЗУ, приведенный в работе [5], показывает, что полная емкость ЗУ без смены носителя информации определяется следующим выражением:

$$C = \frac{1}{8} \left(\frac{\eta A}{\lambda} \right)^2 S,$$

где A – апертуры фотодетекторной матрицы со стороны голограмм; S – площадь голограммы; η – коэффициент запаса, учитывающий необходимость размещения голограмм с некоторым зазором.

Приведенное уравнение показывает, что в первом приближении полная емкость ЗУ ограничивается площадью самой голограммы. При оценке практически приемлемых размеров ЗУ важно иметь в виду, что в большинстве, если не во всех, предлагаемых системах имеется по меньшей мере один оптический компонент, размеры которого сравнимы с размерами носителя информации. Например, таким элементом может являться выходная линза телескопа отклонения луча. Диаметр этого компонента не может превышать 20–30 см. При размерах носителя (20×20) см, $\lambda = 0,5$ мкм, $\eta = 1/2$ полная емкость C составляет 10^9 бит. Такая же величина приведена и в работе [8]. Очевидно, что достичь в голографическом ЗУ емкости 10^{11} – 10^{12} бит с помощью одной запоминающей поверхности не реально. Следовательно, для получения объема свыше 10^9 бит потребуются механическая смена носителя информации. Время обращения в этом устройстве станет больше, чем в запоминающем устройстве с последовательной дискретной записью, но без смены носителя.

Увеличить емкость голографического ЗУ можно путем использования для записи информации объемных голограмм, записываемых при разных углах падения опорного луча. Однако техническая реализация этого метода записи информации является чрезвычайно сложной ввиду необходимости обеспечения селективной записи и стирания информации.

4. ВРЕМЯ ОБРАЩЕНИЯ

Для ОпЗУ со страничной организацией время обращения в пределах одной пластины полностью определяется параметрами оптической отклоняющей системы. При использовании электро- и акустооптических дефлекторов это время может составлять 1-2 микросекунды. Для современного уровня техники предельным является создание быстродействующих отклоняющих систем, способных обеспечить около 10^6 положений светового пятна [9].

Основным недостатком акустооптических и электрооптических отклоняющих систем в настоящее время является низкая эффективность (отклоняется только несколько процентов падающего света). Использование для отклонения луча электромеханических систем приводит к тому, что время поиска одной страницы становится больше одной миллисекунды.

В ОпЗУ с дискретной записью на движущийся носитель выбор дорожки осуществляется отклонением луча в радиальном направлении. Для уменьшения времени обращения по сравнению с системой, в которой поиск дорожки осуществляется путем перемещения объектива фокусирующей системы, может быть использована двухступенчатая система выбора дорожки. Первая ступень осуществляет механическое перемещение объектива фокусирующей системы, вторая – точную установку луча на требуемую дорожку путем изменения угла падения на объектив. Такое изменение угла падения может осуществляться как зеркальным гальванометром, так и акустооптическим и электрооптическим дефлекторами. Такая система сканирования позволяет без механического перемещения объектива обращаться к группе из 10^3 дорожек. Для точной установки луча в пределах поля зрения объектива используется информация о положении луча, записанная на дорожке. Для этого считывается номер дорожки и на отклоняющую систему выдается сигнал о требуемом перемещении [10]. Время обращения в рассматриваемой системе с использованием зеркального гальванометра составляет примерно 150 мсек.

Голографическое ЗУ обеспечивает значительно меньшее время обращения по сравнению с ОпЗУ с дискретной записью на движущийся носитель только при выборе информации в пределах одной запоминающей поверхности.

5. СКОРОСТЬ ОБМЕНА

Для ОпЗУ с дискретной записью на движущийся носитель скорость обмена определяется мощностью источника излучения (при записи), скоростью вращения носителя и плотностью записи информации вдоль дорожки. Для записи со скоростью $4 \cdot 10^6$ бит/сек на тонкой металлической пленке требуется мощность излучения 250 мВт [10]. Газовым лазером с мощностью менее 1 Вт запись информации с такой скоростью может осуществляться на целом ряде светочувствительных материалов с чувствительностью не менее $1,5$ Дж/см².

При записи информации в ОпЗУ с постраничной записью более высокие требования предъявляются к лазерам и к чувствительности регистрирующих материалов. Если чувствительность носителя составляет 1 Дж/см² и каждая голограмма, содержащая 10^4 бит, имеет диаметр 1 мм, пиковая мощность лазера должна составлять 1 кВт при длительности импульса 10 нсек. Таким требованиям могут удовлетворять только импульсные лазеры. Для получения скорости обмена 10^7 бит/сек необходимо обеспечить частоту повторения 10^3 импульсов в секунду. В голографическом ЗУ повышаются требования к когерентности лазерного излучения и постоянству интенсивности в связи с трудностями контроля процесса записи. Для получения указанной скорости обмена времени срабатывания формирователя страниц должно быть порядка $0,0001$ с.

Такую скорость переключения может обеспечить матрица модуляторов из сегнетоэлектрической керамики [11].

Скорость считывания в ОпЗУ с последовательной выборкой при вращении барабана со скоростью 1500 об/мин может достигать величины $2,5 \cdot 10^7$ бит/сек при размере считываемого массива от емкости одной дорожки (10^6 бит) до полной емкости ЗУ (при записи по винтовой линии).

Для ОпЗУ со страничной организацией времени считывания страницы информации определяется возможностями матрицы фотодетекторов и канала связи с ЭВМ. Так, при времени обращения к фотодетекторам в 0,5 мксек и длине слова 50 разрядов получим скорость обмена 10^8 бит/сек, т.е. в пределах страницы возможен произвольный доступ к информации со скоростью оперативного ЗУ.

Ввиду низкой дифракционной эффективности светочувствительных материалов, используемых в настоящее время в голографических ЗУ, потери света при считывании превышают 20 db [12], тогда как в ОпЗУ с дискретной записью эти потери составляют около 10 db [13].

Применение фазовых голограмм позволяет значительно снизить эти потери, однако для записи фазовых голограмм нужны одноступенчатые материалы с чувствительностью не менее 1 Дж/см². Этим требованиям отвечают тонкие пленки аморфных полупроводников [14], интенсивно разрабатываемые в настоящее время.

6. ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ В ОпЗУ З РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ РЕГИСТРАЦИИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Достоинством голографического ЗУ является возможность записи информации со значительной избыточностью, однако это достигается за счет значительного снижения плотности записи информации. Надежность хранения информации повышается потому, что информация, соответствующая каждому двоичному разряду, распределяется по всей площади голограммы. Наличие микродефектов и загрязнение носителя приводит только к некоторому уменьшению отношения сигнал/шум при считывании.

В ОпЗУ с дискретной записью при высокой плотности записи повреждения и дефекты носителя могут привести к потере части данных. Наряду с применением помехоустойчивого кодирования должны предъявляться и высокие требования к однородности регистрирующей среды. При малом количестве дефектов и выборе помехоустойчивого кода, учитывающего характер дефектов, эффективная плотность записи уменьшается незначительно [15] (в 1,5–2 раза), в то время как при голографическом методе записи приходится увеличивать площадь голограммы в 10–100 раз.

7. ТРЕБОВАНИЯ К ТОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СХЕМ

В ОпЗУ с дискретной записью должна обеспечиваться точность установки луча на дорожку 0,1–1 мкм, примерно с такой же точностью должно поддерживаться расстояние между носителями информации и объективом. Такая точность может быть достигнута благодаря использованию систем обратной связи. Используя отраженный от поверхности носителя луч, можно с требуемой точностью контролировать положение объектива относительно поверхности носителя информации и информационной дорожки считывание информации.

В голографическом ЗУ в процессе экспозиции допускаются смещения носителя относительно формирователя страниц не больше $\lambda/8$, хотя допускаемые отклонения абсолютной точности установки носителя при считывании сравнительно велики (100-

200 мк). В таком устройстве возрастают требования к точности углового положения запоминающей плоскости относительно лучей опорного и информационного (около 2,5 мкм/см).

8. УДЕЛЬНАЯ СТОИМОСТЬ ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Оценку стоимости ОпЗУ в настоящее время можно сделать лишь приблизительно. Считают, что в голографическом ЗУ удельная стоимость хранения информации будет такой же, как и в накопителях с магнитной записью, а в ОпЗУ с дискретной записью эта величина может быть уменьшена в сотни раз, так как она имеет более простое оборудование.

Первое (и пока единственное) оптическое ЗУ, поступившее в промышленное производство, – системы «Unipon» – стоит 1 млн долларов и имеет емкость 10^{12} бит, т. е. удельная стоимость хранения информации составляет 10^{-4} цент/бит, несмотря на то, что это первый образец [10]. Для ЗУ с магнитной записью эта цифра равна 10^{-3} –1,0 цент/бит. По мере совершенствования технология производства элементов для ОпЗУ следует ожидать значительного снижения их стоимости.

ВЫВОДЫ

1. Голографические ЗУ, обладающее рядом уникальных свойств, могут полностью раскрыть свои потенциальные возможности в запоминающих устройствах емкостью до 10^9 бит, в пределах которой возможно произвольное обращение к информации со скоростью оперативного ЗУ.

2. Для оптических устройств всех типов с объемом хранимой информации 10^{10} – 10^{11} бит необходимо обеспечить механическое перемещение носителя информации. Устройства такой емкости целесообразно создавать на основе дискретной записи информации на движущийся носитель.

3. В ближайшее время возможно создание ОпЗУ с дискретной записью емкостью 10^{10} – 10^{11} бит на одном носителе информации. Скорость обмена в ОпЗУ может быть одного порядка или даже превышать скорость обмена в устройствах с магнитной записью информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pirsher G. L'Onde Electrique, 51, 767, 1971.
2. Микаэлян А.Л., Бобринев В.И., Наумов С.М., Соколова Л.З. Радиотехника и электроника, XIV, 115, М., 1969.
3. Schutze H., Hennings K. Semic. Prod. 9, 31, 1968.
4. Гуревич С.Б. В кн.: Современные системы записи и воспроизведения, М., Искусство, 1972.
5. Anderson L.K. IEEE Trans, Nagn. 7. 601, 1971.
6. Князев Г.И., Назаров О.М., Раков Б.М., Шатилов В.И. Вопросы радиотехники, серия ЭВТ, вып. 10, М., 1971.
7. Петров В.В., Токарь А.П. В кн.: Точность и надежность кибернетических систем. К., Научно-ва думка, № 1, 1973.
8. Микаэлян А.Л., Бобринев В.И., Столяров А.К. Голографические системы памяти. Первая Всесоюзная конференция по голографии, Тбилиси, 1972.
9. Chen D., Tufte O.N. IEEE Spectrum. 10, 48. 1973.
10. Mc Farland K., Hashiguchi M. Proc. Fall Joint Computer Conference, p.2, 33, 1968.
11. Магдич А.Б., Чернобровкий Г.А. Новости зарубежной электронной техники, № 20, 1971.
12. Lipp I., Reynolds I.L. Applirations of holography. 377, Plenumress, New-york-London, 1971.
13. Kayl D.N. Electronic Des. 21, № 3, 1972.
14. Keneman S.A. Appl. Phys. Let. 19, 205, 1971.
15. Петерсон У. Коды, исправляющие ошибки. М., Мир, 1964.

Оптический диск как единый носитель информации в системах управления

Н. В. Горшков, В. В. Петров

Тезисы доклада на Всемирном электротехническом конгрессе, Москва, 21–25 июня 1977 г.

ВВЕДЕНИЕ

Цель настоящего доклада – обратить внимание на то, что наряду со значительным расширением ассортимента электронных вычислительных машин (ЭВМ) и внешних запоминающих устройств (ВЗУ) быстро возрастает количество типов невязанных носителей информации, используемых в ВЗУ. Это создает большие трудности при обмене информацией, в результате возникает необходимость иметь дополнительное оборудование для осуществления обмена информацией. Все это приводит к мысли о целесообразности создания универсального, «единого» носителя информации, широкое применение которого позволило бы разработать ВЗУ и ряд других внешних устройств ЭВМ, отвечающих основным современным требованиям и требованиям на ближайшее будущее.

В докладе определяются и обсуждаются основные требования к «единому» носителю информации, который мог бы использоваться в возможно более широкой сфере применения и прежде всего в ВЗУ крупных систем управления, в вычислительных комплексах.

При анализе современных ВЗУ прежде всего бросается в глаза их разнотипность – легко заметить, что имеется большое количество устройств различной производительности, работающих с различными носителями информации в виде магнитных дисков, лент и карт, перфолент и перфокарт, различных оптических носителей информации и т.д. При этом наблюдается «вертикальная» многоступенчатость применения и, следовательно, несовместимость носителей информации. Она состоит в том, что скорости передачи данных строго фиксированы и различны. В результате этого возникает необходимость первичную информацию, обычно записываемую на перфоленты или перфокарты, затем с помощью ЭВМ и специального устройства подготовки данных переносить на магнитную ленту, а затем на магнитный диск, который с помощью селективного канала связан непосредственно с оперативной памятью ЭВМ. Во многом похож и обратный порядок прохождения информации к потребителю, заканчивающийся выводом части информации на печатающее устройство.

Кроме «вертикальной» несовместимости носителей информации, имеет место и «горизонтальная» несовместимость – несовместимость для носителей информации одного и того же типа. Среди многочисленных устройств на магнитных дисках имеется несколько групп устройств с различной емкостью и скоростью передачи данных, носители информации в которых не являются взаимозаменяемыми. Аналогичная картина имеет место и для магнитных лент.

Все это приводит к тому, что значительная часть машинного времени затрачивается на пересылки информации с запоминающего устройства одного типа на другое. При этом необходимо иметь специальные устройства, допускающие осуществление обмена носителями информации. Этого недостатка не лишено и одно из малых совершенных устройств, разработанных в последнее время – IBM 3850.

Разработка все новых и новых ВЗУ еще более усугубляет это положение. Разнотипность носителей информации затрудняет создание крупных систем управления и даже в некоторой степени сдерживает расширение сферы применения ЭВМ. Особенно остро эта проблема может возникнуть при создании такой крупной системы управления, как общегосударственная автоматизированная система сбора и обработки экономической информации.

Выход необходимо искать в разработке средств хранения информации с использованием универсального, «единого» носителя информации, который позволил бы значительно уменьшить или вовсе устранить «вертикальную» и «горизонтальную» многоступенчатость носителей информации. Такой подход позволит значительно уменьшить необходимый ассортимент ВЗУ, упростить обмен информацией между ЭВМ различной производительности и подготовку данных.

ТРЕБОВАНИЯ К «ЕДИНОМУ» НОСИТЕЛЮ ИНФОРМАЦИИ

В данном разделе требования к «единому» носителю информации будут рассмотрены без ориентации на какой-либо конкретный физический метод записи информации. Как уже указывалось, основными параметрами для ВЗУ является емкость, время доступа и скорость передачи данных. Попытаемся сформулировать требования к «единому» носителю информации, исходя из условия достижения ВЗУ, созданными на его основе, оптимальных значений основных параметров.

А. СТОИМОСТЬ ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Это один из важнейших параметров. Его значение может существенно повлиять на выбор физических методов записи информации, которые могут быть использованы для «единого» носителя информации.

Наметившаяся тенденция создания крупных банков данных неизбежно ведет к тому, что почти все основные знания человечества, почти вся текущая информация будет храниться во внешней памяти ЭВМ. Поэтому необходимо, чтобы стоимость хранения информации на «едином» носителе информации была ниже стоимости хранения информации на бумаге, чтобы «единый» носитель информации допускал тиражирование и мог быть доступен для человека при использовании минимальных технических средств.

Столь жесткое требование к стоимости хранения информации заставляет отказаться от методов записи информации, требующих создания определенной геометрической структуры для локализации каждой единицы информации (запоминающие устройства на биполярных и униполярных транзисторах, запоминающие устройства с использованием магнитных доменов и зарядовой связи и т.д.), так как в этом случае стоимость хранения информации порядка $2 \dots 5 \cdot 10^{-8}$ руб/бит (такова стоимость хранения информации на бумаге) вряд ли может быть реализована в ближайшее десятилетие с применением известных в настоящее время методов микроэлектроники.

Столь низкая стоимость хранения информации может быть реализована в том случае, если для производства носителя информации не используются в больших количествах дорогостоящие материалы и если он выполнен в виде однородной среды, т.е. он не должен иметь собственной, обычно очень дорогой, системы адресации. Запись информации на такой носитель может осуществляться с помощью энергии полей или излучений с применением общей для большого количества носителей информации системы адресации, являющейся постоянной и несменяемой частью ВЗУ. Типичным примером такой записи является запись информации на однородную магнитную пленку.

Б. ЕМКОСТЬ «ЕДИНОГО» НОСИТЕЛЯ ИНФОРМАЦИИ

В связи с тем, что «единый» носитель информации должен использоваться для создания перспективных ВЗУ, его емкость должна быть не менее емкости носителей информации, используемых в настоящее время. Емкость современных носителей информации в виде магнитных лент и магнитных дисков достигает $2 \dots 5 \cdot 10^9$ бит, следовательно, емкость «единого» носителя информации должна быть не менее 10^{10} бит.

На такой носитель может быть занесена информация, содержащаяся в 500 томах по 500 страниц или содержание всей информации, издаваемой во всех видах изданий за год такого крупного информационного центра, каким является Всесоюзный институт научной и технической информации СССР. Применение носителя информации емкостью более 10^{10} бит вряд ли представляется целесообразным. Чрезмерное увеличение емкости «единого» носителя информации при индивидуальном использовании его в системах подготовки данных для решения задач со средним объемом может привести к увеличению стоимости хранения информации.

В. ВРЕМЯ ДОСТУПА К ИНФОРМАЦИИ

Время доступа к информации определяется выбором принципа построения системы адресации. Предыдущие требования предопределили выбор метода записи информации в виде воздействия энергии полей или излучений на однородную структуру «единого» носителя информации. Целесообразность создания системы адресации с малым (порядка долей или единиц микросекунда) временем доступа очевидна и в связи с этим возникает необходимость создания для «единого» носителя информации дешевой системы адресации, примерно на 10^{10} адресов.

Адресация энергия в виде магнитного или электрического полей, которые для достижения высокой плотности записи информации принципиально можно локализовать в малом объеме, всегда представляла трудную задачу. Магнитное и электрическое поле, будучи локализованным в щели магнитной головки или соответственно между обкладками конденсатора, не обладает направленностью воздействия и запись информации производится полем рассеяния на соответствующий носитель информации. В связи с отсутствием направленности воздействия для осуществления быстрой адресации необходимо создать столько мест локализации поля, сколько необходимо запоминать единиц информации. Это технически чрезвычайно трудно реализуемая задача и в связи с этим запись с помощью энергии поля значительно дешевле осуществлять на подвижный носитель информации при использовании всего нескольких концентраторов энергии поля. Время доступа при этом существенно возрастает и для современных магнитных дисков составляет несколько десятков миллисекунд.

Значительно более перспективным для осуществления возможности создания быстродействующей адресной системы со столь большим количеством адресов является использование излучений, например, электромагнитного излучения или потоков частиц. Анализируя спектр электромагнитного излучения, легко прийти к выводу, что из-за дифракции света для достижения высокой плотности записи информация необходимо использовать электромагнитное излучение с малой длиной волны (ближнее инфракрасное излучение, излучение видимого диапазона, ультрафиолетовое и рентгеновское излучение). Трудность управления электромагнитным излучением известна, большое количество исследователей работало в этой области и в настоящее время общепризнано, что при использовании концентраторов электромагнитной энергии (например, проекционных объективов для электромагнитного излучения светового диапазона) в связи с ограниченностью поля зрения концентраторов энергии вряд ли можно надеяться на практическую реализацию адресной системы более чем с

10^8 адресами. Надежды на разработку систем адресации с большим количеством адресов многие исследователи связывали с разработкой голографических методов адресации. Однако, проведенные в последние годы исследования показали, что и для голографических систем адресации имеет место ряд физических ограничений, в результате которых для реализации систем с количеством адресов более 10^8 потребуется создание уникальных оптических компонентов.

Анализ известных излучений в виде потоков частиц показывает, что наиболее легко управляется поток электронов, но для реализации 10^{10} адресов при расположении информации на плоскости носителя потребуется управляющие сигналы задавать в виде аналоговых сигналов с погрешностью менее 10^{-3} %. Лучшие из известных в настоящее время электронно-лучевые системы с одноступенчатыми системами адресации имеют до 10^7 адресов. В работе предложена двухступенчатая система адресации электронного пучка, которая может реализовать до $10^8 \dots 10^9$ адресов. Носитель информации и система адресации в такой системе представляет собой единый электровакуумный прибор, стоимость хранения информации в котором существенно более $2 \dots 5 \cdot 10^{-8}$ руб/бит.

В результате этого анализа очевидно, что в настоящее время не известны физические методы, позволяющие осуществить быструю и дешевую адресацию энергии в виде поля или излучения более чем по 10^8 адресам. Следовательно, реализация ВЗУ емкостью порядка 10^{10} бит на «едином» носителе информации в настоящее время может быть осуществлена только при наличии механических систем. Опыт конструирования магнитных запоминающих устройств показывает, что система имеет минимальное время доступа (порядка, единиц и десятков миллисекунд) при реализации носителя информации в виде вращающегося диска и перемещающихся по радиусу одного или нескольких концентраторов энергии или большого количества неподвижных концентраторов энергии. Таким образом, ВЗУ на основе «единого» носителя информации могут иметь время доступа не лучше нескольких единиц или даже десятков миллисекунд, а сам носитель информации должен иметь форму диска.

Г. ПЛОТНОСТЬ ЗАПИСИ ИНФОРМАЦИИ

В соответствии с разделами А, Б, В «единый» носитель информации уже можно представить себе в виде однородного носителя информации в виде вращающегося диска, на который с помощью концентратора энергии поля или излучения записывается порядка 10^{10} бит информации. Универсальность «единого» носителя представляет необходимость его вращательного движения и конструктивную простоту, так как он должен использоваться для создания ВЗУ емкостью $10^{12} \dots 10^{14}$ бит и для простых устройств сбора и подготовки данных. Для реализации автоматических устройств смены носителя информации в ВЗУ большой емкости «единый» носитель должен состоять не более чем из одного диска иметь всего одну рабочую поверхность, а для удобства работы с ним в устройствах сбора и подготовки данных он должен быть диаметром не более 200...400 мм. При оптимальном размещении данных на магнитных и оптических дисках ширина информационной полосы должна быть около одной трети радиуса, следовательно, при размещении на «едином» носителе около 10^{10} бит плотность записи информации должна составлять $2 \dots 6 \cdot 10^5$ бит/мм², линейная плотность (при равномерном размещении информации) порядка $4 \dots 8 \cdot 10^3$ бит/мм, что составляет около $5 \cdot 10^5$ бит на один оборот.

Д. СКОРОСТЬ ОБМЕНА ДАННЫМИ

Предполагаемая широкая область применения «единого» носителя информации должна предусматривать возможность широкого изменения скорости передачи дан-

ных. Минимальная скорость передачи данных должна обеспечивать работу использующих «единый» носитель устройства на такие медленные каналы как телефонный или телетайпный, работающие со скоростями несколько килобайт в секунду. Максимальная скорость передачи данных должна обеспечивать работу быстродействующего ВЗУ на основе «единого» носителя в режиме прямого доступа с предельно высокой скоростью передачи данных в оперативную память, которая для «единого» носителя информации при скорости вращения 50...100 оборотов в секунду может составлять 2...5 Мбайт в секунду по одному каналу. Скорость передачи данных в лучших накопителях на магнитных дисках в настоящее время составляет 1...1,5 Мбайт в секунду по одному каналу.

Е. ПЕРЕЗАПИСЬ ИНФОРМАЦИИ

Нужна ли для «единого» носителя информации регистрирующая среда с перезаписью информации? При первом рассмотрении кажется кошунственной даже сама постановка вопроса. Действительно, наличие перезаписи позволяет многократно использовать носитель информации и, следовательно, снизить стоимость хранения. А ведь прежде всего именно для сбора и хранения больших массивов информации, предполагается использовать «единый» носитель информации имеющий в соответствии с разделом А стоимость хранения информации менее $2 \dots 5^{-8}$ руб/бит, а значит и стоимость одного «единого» носителя информация емкостью порядка 10^{10} бит должна составлять менее 200...500 руб. Тем не менее, имеется ряд аргументов против использования регистрирующей среды с перезаписью:

- возможность перезаписи означает, что имеется некоторый физический фактор, способный полностью или частично испортить записанную информацию (среда с перезаписью принципиально должна иметь более низкую надежность хранения информации); информация, которую нельзя стереть – нельзя испортить;
- осуществление перезаписи потребует создание более сложной аппаратуры;
- регистрирующая среда с перезаписью информации, вероятно, должна иметь более высокую стоимость;
- в системах, предназначенных для хранения больших массивов данных, перезапись информации осуществляется редко и, следовательно, эффективность перезаписи низка.

Попытаемся показать, что если стоимость, хранения информации на регистрирующей среде всегда допускающей запись (например, лазерная перфорация отверстий в металлической пленке) и не допускающей перезаписи хотя бы на порядок ниже стоимости хранения информация на регистрирующей среде с перезаписью, то она может быть экономически выгодна. Действительно, информация, накапливавшаяся в крупных системах управления и вычислительных центрах, особенно информация архивного плана имеет в среднем период старения от 2 до 15 лет. Даже в такой универсальной и мощной вычислительной сети, какой является сеть Octopus, обслуживающей около 1500 пользователей, архивная память емкостью 10^{12} бит обновляется за 9–10 месяцев. Это позволяет сделать вывод, что при использовании «единого» носителя информации прежде всего для создания ВЗУ большой емкости (массовой памяти) и при наличии дешевого носителя информации «единый» носитель информации может иметь регистрирующую среду без перезаписи информация.

И, наконец, очевидно, что перезапись информация с целью многократного использования носителя информация оказывается экономически невыгодной, если стоимость хранения единицы информации, записанной на носитель информации, ниже стоимости пересылки ее по каналу передачи данных.

Ж. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ

В предыдущих разделах мы рассмотрели основные требования к единому носителю информации, ниже запишем их в кратком виде и ряд дополнительных требований:

1. Стоимость хранения информации менее $2...5 \cdot 10^{-8}$ руб/бит.
2. Емкость носителя информации порядка 10^{10} бит.
3. Время доступа к информации менее 0,1 с.
4. Средняя плотность записи информации порядка $2...6 \cdot 10^5$ бит/мм²
5. Скорость обмена данными 1...5000 Кбайт/с по одному каналу.
6. Диаметр диска 200...400 мм.
7. Возможность использования для ВЗУ емкостью $10^{12}...10^{14}$ бит (массовая память).
8. Высокая надежность и большое время хранения информации (более 5...10 лет).
9. Возможность использования «единого» носителя информации в простых и сложных устройствах.
10. Возможность тиражирования.
11. Высокая механическая прочность.
12. Процесс записи информации одноступенчатый (в реальном масштабе времени).
13. Стандартное расположение данных.

МЕТОД ЗАПИСИ ИНФОРМАЦИИ

Источник энергии и однородная регистрирующая среда в соответствии с требованиями 4 и 5 подраздела должны обеспечивать запись информации с плотностью $2...6 \cdot 10^5$ бит/мм² и со скоростью до $4 \cdot 10^7$ бит/с, следовательно, концентратор энергии должен осуществлять локализацию энергии на площади около $1...3$ мкм², а регистрирующая среда должна изменять свое физическое состояние за время около 20 нс. Рассмотрим возможность осуществления такой быстрой и очень плотной записи информации благодаря воздействию различных источников энергии.

А. ЗАПИСЬ ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ЭНЕРГИИ ПОЛЯ

Запись информации может быть осуществлена как электрическим, так и магнитным полем соответственно на сегнетоэлектрические и магнитные регистрирующие среды, однако, термодинамическая устойчивость магнитных доменов существенно выше и теоретически на магнитных носителях может быть получена плотность записи информации до 10^8 бит/мм².

Магнитная запись информации в настоящее время нашла самое широкое распространение благодаря возможности осуществления простой перезаписи и уже реализованы устройства, осуществляющей запись информации со скоростью до 10^7 бит/с и плотностью до $1,6 \cdot 10^4$ бит/мм². Магнитная запись во многом достигла совершенства и является одним из основных методов записи, которые могут быть использованы при создании «единого» носителя информации.

Основная трудность, сдерживающая применение магнитной записи для «единого» носителя информации, связана с тем, что магнитная энергия может быть сконцентрирована только в объеме щели магнитной головки и в непосредственной близости от нее на расстоянии, составляющем 10...50 % от продольной длины магнитного зазора, рабочая площадь которого для достижения плотности записи информация $2...6 \cdot 10^5$ бит/мм² должна составлять $1...5$ мкм², а продольная длина и величина зазора между головкой и магнитным слоем соответственно 0,5...2,0 и 0,1...1,0 микрометра. В современных накопителях на магнитных дисках при продольной плотности записи

240...280 бит/мм зазор между головкой к носителем должен составлять величину порядка 0,5 мкм.

Необходимость реализации субмикронных зазоров при использовании магнитного диска в качестве «единого» носителя информации ставит ряд таких серьезных вопросов, как поддержание в требуемых жестких допусках величины воздушного зазора в широком диапазоне скоростей записи-считывания, тщательной герметизации «единого» носителя информация от пыли и других воздействий внешней среды, решения проблемы достоверного считывания информации при изменении скорости записи-считывания на три-четыре порядка.

Имеющийся в ряде стран опыт разработки накопителей на магнитных дисках показывает, что практическая реализация сформулированных выше требований для «единого» носителя информации представляет чрезвычайно трудную задачу и потребует создания очень сложной а дорогой аппаратуры.

Б. ЗАПИСЬ ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ЭНЕРГИИ ПОТОКОВ ЧАСТИЦ

Трудность локализации и передачи энергии поля в малый объем носителя информации приводит к мысли предпочтительного использования для записи информации лучистой энергии в виде потоков частиц и электромагнитных волн.

Потоки электронов, протонов и других частиц имеют длины волн порядка долей нанометра и теоретически могут быть сфокусированы до размеров длины волны излучения. Однако практически остро сфокусированные пучки относительно легко удается получать только для потоков электронов. Существует ряд физических приборов, в которых электронный пучок сфокусирован до 2...100 нм и используется для формирования изображений с субмикронными размерами. Это удается сделать благодаря малой длине волны электронного потока, которая, например, при ускоряющем напряжении 10 киловольт составляет около 0,01 нм.

Оценим предельную скорость записи информации, которая может быть получена с помощью электронного пучка. Наиболее широко исследованный способ записи информации о помощью электронного пучка – термическое испарение металлических и полупроводниковых пленок. Теплота испарения таких металлов как Bi, Zn и др. составляет величину порядка 50 килокалорий на граммом и для металлических пленок толщиной несколько десятков нанометров составляет около 10^{-3} Дж/мм². Такого же порядка имеют значения минимальной плотности энергии записи таких наиболее исследованных и перспективных материалов, используемые для одноступенчатой /без дополнительной обработки материала/ электронно-лучевой или оптической записи информации, как MnBi, Te₂₃Ge₇As₆, EuO, BaTiO₃, Te₆₁Ge₁₅Sb₂S₃, большинство фотохромных материалов.

Определим, какая должна быть энергетическая яркость катода электронной пушки, чтобы осуществить запись информации со скоростью $4 \cdot 10^7$ бит в секунду. Пусть экспонируемая область S, соответствующая единице информации, составляет 10^{-6} мм² тогда для записи информации со скоростью $V = 4 \cdot 10^7$ бит/с при чувствительности регистрирующего материала $E = 10^{-3}$ Дж/мм² потребуется мощность электронного пучка не менее $P = SVE = 4 \cdot 10^{-12}$ Вт = $2,5 \cdot 10^{17}$ эВ.

Если энергия электронов равна 10 кэВ, то потребуется создать ток $4 \cdot 10^{-6}$ А для электронного пучка сечением около 1 мкм². В соответствии со вторым законом термодинамики при использовании любого концентратора энергия поверхностная плотность мощности излучения на облучаемой поверхности не может быть больше поверхностной плотности мощности излучения /или энергетической яркости/ источника излучения. Эмиссионная способность катодов электронно-лучевых устройств состав-

ляет всего лишь доли ампера на квадратный миллиметр, а с учетом того, что электронные пучки имеют апертурные углы порядка нескольких градусов, ток в электронном пучке диаметром около микрометра обычно не превышает $10^9 \dots 10^8$ А и резко уменьшается при дальнейшем уменьшения сечения пучка.

Следовательно, электронный пучок обладает низкой энергетической яркостью и не может быть использован для записи информации с большой скоростью. Помимо этого, электронно-лучевые системы требуют наличия высоковакуумных откачных систем, сложны в эксплуатации и, следовательно, не смогут найти применение для записывающих устройств широкого назначения.

В. ЗАПИСЬ ИНФОРМАЦИЯ С ПОМОЩЬЮ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Спектр электромагнитного излучения чрезвычайно широк и охватывает радиоволны, свет, рентгеновские и гамма-лучи. Известно, что электромагнитное излучение может быть сфокусировано в пятно, минимальное сечение которого из-за дифракции составляет величину порядка длины волны излучения. Отсюда следует, что для реализации плотности записи информации $2 \dots 6 \cdot 10^5$ бит/мм² может быть использовано электромагнитное излучение с длиной волны не более 1...2 мкм. Коротковолновое электромагнитное излучение с длиной волны менее 0,2 мкм и до жесткого рентгеновского излучения поглощается воздухом и требует как и для электронного пучка создания в рабочем пространстве вакуума.

Для жесткого рентгеновского и гамма-излучения в настоящее время не эффективны методы локализации энергии на малой площади и отсутствуют достаточно простые мощные источники энергии.

Это приводит нас к выводу, что во всем спектре электромагнитного излучения существует лишь узкий участок излучения с длиной волны примерно от 0,2 до 2,0 мкм (световой диапазон) которое может быть использовано для записи информации с высокой плотностью. Ранее было показано, что при использовании линейной регистрирующей среды в этом диапазоне длин волн теоретически предельная плотность записи равна $3 \cdot 10^7$ бит/мм², а экспериментально уже получена плотность $2 \cdot 10^6$ бит/мм².

Электромагнитное излучение взаимодействует с веществами, разрывая или перестраивая химические связи, нагревая его или изменяя какие-либо физические свойства. Большинство стабильных неорганических и органических веществ имеет край полосы поглощения в области 0,2...2,0 мкм; в результате этого имеется большой выбор веществ, изменяющих свои свойства в данном диапазоне электромагнитного излучения. Наличие в этом же диапазоне излучения мощных источников энергии, обладающих высокой энергетической яркостью (лазеры самых различных типов), и эффективных концентраторов энергии в виде проекционных оптических систем позволяет надеяться на возможность записи информации с большой скоростью.

Как было показано в предыдущем разделе, для регистрации информации со скоростью $4 \cdot 10^7$ бит/с на регистрирующую среду чувствительностью 10^{-3} Дж/мм² при экспонировании участка, соответствующего единице информации порядка 10^{-6} мм², требуется источник излучения с мощностью порядка 0,04 ватта. С учетом потерь в оптической системе требуемая мощность может возрасти до 0,1...0,2 ватта. В настоящее время промышленностью ряда стран выпускаются лазеры нескольких типов с мощностью значительно превышающей 0,2 ватта.

Все это позволяет сделать вывод, что в настоящее время наиболее реально создание «единого» носителя информации в виде диска с нанесенным на него светочув-

ствительный материалом, запись информации на который производится лазерным пучком, сфокусированным до размера менее одного микрометра, а считывание пучком света существенно меньшей мощности. Необходимо отметить, что при оптическом считывании амплитуда считываемых сигналов не изменяется при широком диапазоне изменения скорости считывания и это позволяет использовать оптическую запись в широком диапазоне скоростей записи-считывания информации.

ВНЕШНИЕ УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ «ЕДИНОГО» НОСИТЕЛЯ ИНФОРМАЦИИ

В данном докладе мы не будем рассматривать принципы создания устройств на основе «единого» носителя информации, а попытаемся определить сферу применения «единого» носителя информации и группы внешних устройств ЭВМ, которые могут быть созданы на его основе.

Эффективность систем управления на основе ЭВМ и собственно ЭВМ в значительной мере определяется номенклатурой внешних устройств и их параметрами. К числу основных групп внешних устройств относятся внешние запоминающие устройства, устройства ввода-вывода, устройства непосредственной связи оператора с машиной, устройства телеобработки данных, устройства подготовки данных.

А. ВНЕШНИЕ ЗАПОМИНАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Группа внешних запоминающих устройств должна содержать базовое универсальное внешнее запоминающее устройство с одним или несколькими шпинделями, имеющее минимальное время доступа к информации и большой диапазон скоростей записи-считывания информации для использования его с ЭВМ различного типа, с различными внешними устройствами ЭВМ, осуществляющими ввод-вывод информации, подготовку данных, связь с операторами и каналами связи.

На основе базового устройства могут быть созданы ВЗУ большой емкости для хранения $10^{12} \dots 10^{14}$ бит информации. Такое устройство должно содержать 1000...10000 «единых» носителей информации, устройство автоматической установки «единых» носителей на один или несколько шпинделей и должно допускать замену «единых» носителей информации для осуществления обмена данными без их передачи по каналам связи или для обновления носителей информации и иметь время доступа к информации 3...20 секунд. Такое устройство готово к обмену информацией с ЭВМ непосредственно после установки данных на шпиндель и не требует промежуточных пересылок данных. Если «единый» носитель информации будет иметь такой же диаметр как и магнитный диск и ячейки для его размещения будут иметь шаг 5 мм, то объемная плотность размещения информации составит $3 \cdot 10^{12}$ байт/м³, что на порядок больше, нежели объемная плотность хранения информации в системе IBM 3850.

Кроме рассмотренных выше ВЗУ двух типов, очевидно, что должно быть несколько типов специализированных упрощенных ВЗУ, предназначенных для работы в постоянном режиме.

Б. УСТРОЙСТВА ПОДГОТОВКИ ДАННЫХ

Устройства подготовки данных предназначены для перевода информации с носителей информации, не поддающихся машинной обработке, на один из "машинных" носителей информации (перфоленты, перфокарты или магнитная лента). Широкое применение «единого» носителя информации вызовет необходимость замены группы этих устройств устройством занесения данных оператором непосредственно на «единый» носитель информации. В качестве устройства подготовки данных может ис-

пользоваться дисплей, имеющий канал связи с одним из ВЗУ на «едином» носителе информации.

В. УСТРОЙСТВА ВВОДА-ВЫВОДА ИНФОРМАЦИИ

Группа устройств этого типа должна превратиться только в группу устройств вывода информации, так как устройства подготовки данных записывают информацию непосредственно на «единый» носитель информации и, таким образом, роль устройства ввода информации будет выполнять непосредственно ВЗУ.

Устройства вывода информации предназначены для вывода данных в форме, удобной для человека, и для вывода и долговременного хранения информации на одном из самых дешевых носителей информации – бумаге. По предварительным оценкам стоимость «единого» носителя информации в виде оптического диска на носителе, не допускающем перезапись информации, должна составлять 10...30 руб. В таблице приведено ориентированное сравнение различных носителей информации при хранении 10^{10} бит.

Носитель информации	Количество носителей информации	Скорость записи, кбайт/с	Время доступа, с	Стоимость носителей, руб.
Магнитные диски	12–150 шт.	150–1250	0,1–0,4	3000–20000
Магнитные ленты	5–50 шт.	50–1250	5–30	900–3000
Перфокарты	10^7	1–4	–	980
Бесконечный формуляр (бумажная лента)	30 км (1тонна)	1–4	–	400
Оптический диск	1 шт.	До 5000	0,1–0,4	10–30

Сравнение данных в таблице показывает, что экономически выгоднее информацию хранить не на бумаге, а на «едином» носителе информация в виде оптического диска, следовательно, при работе в системе управления и в крупных вычислительных системах может существенно уменьшиться объем данных, выводимых на бумагу в связи с тем, что информация может выводиться в ВЗУ большой емкости или на индивидуальными оптические диски пользователей.

Две оставшиеся группы устройств – устройства непосредственной связи оператора с машиной и устройства телеобработки данных могут и не претерпеть существенных изменений. Некоторые упрощения могут быть в модемах благодаря возможности реализации режима работы ВЗУ непосредственно на каналы связи различной производительности. Благодаря этому может возрасти достоверность передачи данных.

Таким образом, применение оптического диска в качестве «единого» носителя информации может привести, к существенному изменению состава и характеристик устройств.

ПРИМЕНЕНИЕ «ЕДИНОГО» НОСИТЕЛЯ ИНФОРМАЦИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Для оперативного управления крупными промышленной объектами, целыми отраслями хозяйства и промышленности, для управления уникальными экспериментальными установками во многих странах создаются системы управления с широким использованием ЭВМ. От обычного вычислительного центра такая система отличается наличием большого количества каналов связи и существенно большим объемом данных, подлежащих длительному хранению во внешней памяти.

Типичным примером такой системы может служить система управления энергохозяйством крупной страны. Такая система управления должна оперативно получать информация о состоянии нескольких сотен основных объектов (например, блоков тепловых электростанций или генераторов гидроэлектростанций), многих тысяч или десятков тысяч элементов энергосети (состояние разъединителей, выключателей, трансформаторов и т.д.) и о потреблении энергии десятками тысяч потребителей, о перетоках энергии в энергосетях и т.д. Огромные потоки данных в такой системе, их резкое возрастание в аварийных ситуациях приводят к необходимости создания гибкой системы внешних запоминающих устройств общей емкостью $10^{13} \dots 10^{14}$ бит.

Для такой системы трудно определить, насколько быстро устареет та или иная поступившая информация, так как для нее необходима предельно высокая надежность работы, что заставляет для оптимизации состояния системы многократно обращаться к данным о деятельности системы в различные периоды времени за несколько лет.

Широкое применение внешних устройств с использованием «единого» носителя информации позволит резко увеличить объем хранимых данных, согласовать и существенно поднять надежность приема и передачи данных, упростить структуру управляющей системы. При наличии защиты, предотвращающей повторную запись информации на «единый» носитель информации, оптический диск в системах сбора и обработки данных может являться официальным документом, так как информацию на записанных участках изменить нельзя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Необходимо определить место, которое могли бы занять существующие накопители с использованием магнитной записи и прежде всего накопителя на магнитных дисках при широком применении «единого» носителя информации на оптическом диске. Накопители на магнитных дисках, благодаря возможности перезаписи информации и большой скорости передачи данных, фактически являются буферной памятью и будут долго выполнять эту роль, по крайней мере, до тех пор, пока будут конкурентноспособны с системами большой памяти без использования механического перемещения типа памяти на приборах с зарядовой связью, цилиндрических магнитных доменах, оптической и электронно-лучевой памятью с электронной адресацией.

В настоящее время еще не создано ни одно устройство, использующее оптический диск как «единый» носитель информации, и материалы данного доклада во многом имеют постановочный характер. Тем не менее еще раз хотелось бы обратить внимание на то, что применение оптического диска как «единого» носителя информации в крупных системах управления вычислительных системах и сетях, в ЭВМ средней и даже малой производительности может привести к существенному прогрессу в технике внешних устройств и позволит:

- 1) повысить плотность записи информации более чем на два порядка и в несколько раз увеличить скорость передачи данных по одному каналу по сравнению с современными накопителями на магнитных дисках;

- 2) благодаря низкой стоимости использовать в качестве основного носителя информация для хранения человеческих знаний не бумагу, а оптический диск, удобный для ЭВМ и для широкого круга потребителей (как видеодиск);

- 3) уменьшать и сделать более гибкой номенклатуру внешних устройств ЭВМ и упростить обмен данными внутри и между ЭВМ;

- 4) внести оптический диск как официальный документ;

- 5) ускорить и упростить создание крупных информационных и управляющих систем.

Оптическое запоминающее устройство

В. В. Петров, А. А. Крючин, Л. И. Крючина,
В. А. Леонец, А. П. Токарь

Авторское свидетельство СССР № 469140 М.Кл. G 11с13/04. Опубликовано
30.04.1975. Заявитель Институт электродинамики АН Украинской ССР.

Изобретение относится к области вычислительной техники и может быть применено в системах хранения и обработки больших массивов информации.

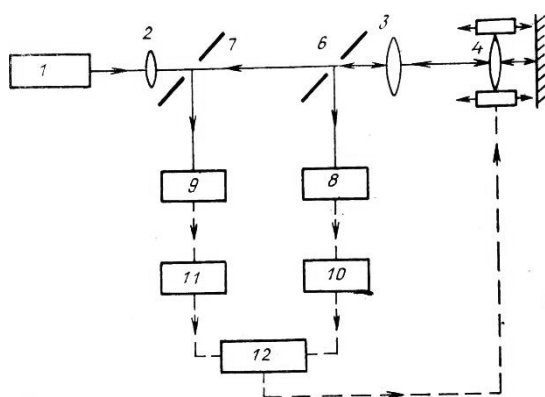
Известно оптическое запоминающее устройство, содержащее источник света, выход которого оптически связан с входом телескопической системы, фокусирующий объектив, установленный за телескопической системой, и носитель информации, расположенный в фокальной плоскости объектива. Также известна система автоматической фокусировки оптического запоминающего устройства, содержащая фокусирующий объектив, два фотоприемника, два полупрозрачных зеркала, дифференциальный усилитель, два электрических фильтра, входы которых соединены с выходами фотоприемников, а выходы – с входами дифференциального усилителя, и исполнительный механизм перемещения объектива, электрически соединенный с выходом дифференциального усилителя.

Наличие четырех линз усложняет конструкцию такого оптического устройства.

Цель изобретения – упрощение конструкции оптического запоминающего устройства.

Это достигается тем, что одно из полупрозрачных зеркал установлено между линзой, стоящей перед объективом, и ее фокусом, а другое – между фокусом и двойным фокусом данной линзы на пересечении оптических осей телескопической системы и фотоприемников перпендикулярно к биссектрисе угла, образованного этими осями. Зеркала выполнены с центральными эллиптическими отверстиями с размером, равным размеру отраженного пучка света при фокусировке объектива.

На чертеже приведена блок-схема предлагаемого устройства.



Луч лазера 1 (источник света) расширяется телескопической системой – линзами 2 и 3, а затем фокусируется объективом 4 на поверхность носителя 5 информации. Луч, отраженный от поверхности носителя, проходит через объектив 4 и линзу 3 телескопической системы. Между линзами 2 и 3 телескопической системы установлены два полупрозрачных зеркала 6 и 7 для отвода отраженного пучка на фотоприемники 8 и 9.

Одно из зеркал (7) находится между фокусом и двойным фокусом линзы 3, а другое (6) – между этой линзой и ее фокусом. В каждом зеркале имеется эллиптическое отверстие, центр которого лежит в точке пересечения оптических осей телескопической системы и фотоприемника. Раз-

мер отверстий должен быть таким, чтобы в случае точной фокусировки отраженный пучок полностью проходил бы через них, при этом сигналы на фотоприемниках равны нулю.

Если расстояние между поверхностью носителя 5 и объективом 4 меньше фокусного расстояния объектива, то на линзу 3 падает расходящийся отраженный пучок, который должен сходиться между фокусом и двойным фокусом этой линзы, т.е. крайние лучи пучка не проходят через отверстие в зеркале 6, а отражаются и попадают на фотоприемник 8. Когда расстояние между поверхностью носителя 5 и объективом 4 больше фокусного расстояния объектива, то на линзу 3 падает сходящийся пучок, который должен сходиться между этой линзой и ее фокусом, т.е. крайние лучи этого пучка беспрепятственно проходят через отверстие в зеркале 6 и, отразившись от зеркала 7, попадают на фотоприемник 9. Сигналы с фотоприемников проходят через электрические фильтры 10 и 11 для устранения модуляции информационных сигналов и поступают на дифференциальный усилитель 12, выделяющий разность этих сигналов. Отличная от нуля разность фототоков приводит к срабатыванию исполнительного механизма 13, который перемещает объектив до тех пор, пока сигналы обоих фотоприемников не станут равными нулю, что соответствует расположению поверхности носителя в фокальной плоскости объектива.

Предмет изобретения

Оптическое запоминающее устройство, содержащее источник света, выход которого оптически связан с входом телескопической системы, фокусирующий объектив, носитель информации, расположенный в фокальной плоскости объектива, два электрических фильтра, входы которых соединены с выходами фотоприемников, а выходы соединены с входами дифференциального усилителя, два полупрозрачных зеркала и исполнительный механизм перемещения объектива, электрически соединенный с выходом дифференциального усилителя, отличающееся тем, что, с целью упрощения конструкции оптического запоминающего устройства, одно из полупрозрачных зеркал установлено между линзой, стоящей перед объективом, и ее фокусом, а другое – между фокусом и двойным фокусом данной линзы на пересечении оптических осей телескопической системы и фотоприемников перпендикулярно к биссектрисе угла, образованного этими осями, зеркала выполнены с центральными эллиптическими отверстиями с размером, равным размеру отраженного пучка света при фокусировке объектива.

Перспективы развития в АН УССР исследований в области создания оптических запоминающих устройств большой емкости

В. В. Петров

Доклад на заседании Президиума АН УССР 11 ноября 1976 г.

Неуемное стремление человека больше знать приводит к тому, что с древнейших пор человечеству не хватает памяти для хранения информации и особенно для ее долговременного хранения. На всех этапах эволюции общества непременно совершенствовались методы записи и хранения информации – начиная от зарубок на деревьях, записях на пергаменте и наконец на бумаге. Книгопечатание позволило накапливать огромные объемы человеческих знаний и способствовать их широкому распространению. С созданием быстродействующих вычислительных машин появилась возможность обрабатывать значительно большие массивы информации, которые создало человечество.

В настоящее время вычислительные машины могут оперировать объемами информации порядка 10 миллиардов и более бит. Такие объемы информации для решения многих задач стали не редкостью. Задачи с таким объемом информации решаются при анализе данных в крупных отраслевых системах управления, в информационно-вычислительных центрах крупных исследовательских центров. Например, некоторые спутниковые системы за один оборот вокруг Земли могут накапливать информации до 10^{11} и более бит. Создаются крупные вычислительные центры общей производительностью десятки и сотни миллионов операций в секунду. Такие центры могут быть территориальными, национальными и даже международными. Это все приводит к тому, что в таких центрах возникает необходимость концентрации огромных массивов информации. Возникает необходимость создания банков данных емкостью 10^{12} – 10^{13} и более бит.

Если рассмотреть современное состояние техники запоминающих устройств, то бросается в глаза следующее: запоминающие устройства построены на различных принципах, используют различные типы носителей информации, а именно, магнитные ленты, диски и карты, перфоленты и перфокарты, оптические носители в виде фотолент и так далее. Все это приводит к тому, что при сборе и обработке информации приходится многократно переносить информацию с одного носителя на другой. Такая ситуация приводит к резкому увеличению стоимости и уменьшению производительности вычислительных комплексов.

Поэтому возникает предложение создать для цифровых вычислительных машин, и вообще для вычислительных систем, такой носитель информации, который мог бы стать универсальным для всех цифровых вычислительных комплексов. Ставится задача создать носитель, который был бы столь универсален, как книга стала универсальным носителем для человека, чтобы такой носитель информации мог работать как с быстродействующими вычислительными системами так и медленными устройствами сбора данных, чтобы он мог быть использован для обмена между различными центрами, между различными потребителями.

Каким же требованиям должен удовлетворять такой носитель информации, чтобы претендовать на универсальность? В связи с тем, что вычислительная техника быстро

прогрессирует, необходимо, чтобы скорость записи на такой носитель информации была не менее нескольких десятков миллионов бит/с. Чтобы записывать большие объемы информации, плотность записи на нем должна быть не менее 10^6 – 10^8 бит/см², а общая емкость носителя – порядка 10^{12} бит. Для оперативной обработки информации в вычислительных системах необходимо, чтобы время ее поиска на таком носителе было менее 1 с. Если еще он обеспечивает высокую надежность и длительное время хранения информации, то он может быть использован для создания баз данных большой емкости. Для того, чтобы он стал универсальным, опять же необходимо, чтобы он мог быть использован как в простых, так и сложных устройствах и системах. А коль он претендует на то, чтобы заменить в некотором смысле книгопечатание, то стоимость хранения информации на нем должна быть меньше стоимости хранения на бумаге и допускать возможность тиражирования.

Эти требования чрезвычайно жесткие. Если мы рассмотрим различные методы, которые могут быть использованы для создания такого носителя информации, то придем к следующему выводу: прежде всего методы записи можно рассматривать только физические, а не биологические, в связи с тем что требуется высокая максимальная скорость записи. Физический метод записи – это воздействие какого либо вида энергии на носитель информации. Сравнивая различные физические методы, мы приходим к следующему выводу, что для записи информации с высокой плотностью могут быть использованы электрические и магнитные поля, электромагнитные излучения во всем диапазоне частот, включая оптическое и гамма излучение, а также потоки частиц.

Сравнение возможных методов записи информации приводит к выводу, что наиболее перспективно в настоящее время использование оптической записи информации. Во-первых, оптическое излучение позволяет локализовать благодаря малой длине волны энергию поля на площади доли квадратного микрометра, то есть позволяет записывать информацию с высокой плотностью. Во-вторых, большинство стабильных органических и неорганических веществ имеют энергию химической связи, совпадающую с энергией квантов электромагнитного излучения видимого диапазона. Следовательно, в этой области спектра может быть значительно большее число регистрирующих материалов, чем для других источников излучения.

Кроме того, оптическое излучение позволяет записывать информацию без непосредственного контакта с носителем информации или без необходимости поддерживать очень малое расстояние между головкой записи и носителем информации, которое, например, требуется при высокоплотной магнитной записи. Все это создает целый ряд предпосылок для того, чтобы утверждать, что оптическое излучение наиболее перспективно для использования в качестве основного метода при создании универсального носителя информации. Физическая оптика за последние годы и десятилетия сделала очень много шагов вперед. Разработан такой перспективный метод как голографическая запись информации, получены предельные оценки по плотности записи информации таким методом. Сравнение двух принципиально различных методов оптической регистрации информации, таких как голографическая запись информации и побитовая (точечная) запись информации показывает, что голографическая запись может найти широкое применение только лишь при создании запоминающих устройств емкостью менее 10^9 бит, так как при построении запоминающих устройств большей емкости возникают чрезвычайно сложные технические проблемы, связанные с созданием высококачественных оптических систем со сложной архитектурой. Голографическая запись – это принципиально многоканальная запись, требующая сложной электронной и оптической аппаратуры.

Применение точечной оптической записи позволяет использовать одноканальные системы записи. Излучение оптического квантового генератора модулируется одноканальным электрооптическим или акустическим модулятором, расширяется с помощью телескопа для согласования диаметров лазерного луча и фокусирующего объектива и затем направляется фокусирующим объективом на носитель информации в виде оптического диска, который вращается на шпинделе. Запись информации на дисковый носитель осуществляется последовательно с очень высокой скоростью (до десятков миллионов бит в секунду). Примеры фотографий таких записей представлены в изданных информационных материалах. Запись осуществляется благодаря тому, что локализованное до размера микрометра излучение вызывает фотохимические превращения в регистрирующей среде носителя информации, в результате которых изменяется коэффициент отражения или коэффициент пропускания регистрирующей среды носителя информации. Таким образом последовательно осуществляется запись информации по дорожкам. Считывание информации может осуществляться по тому же каналу. Для этого излучение квантового генератора записи ослабляется на несколько порядков или же используется дополнительный квантовый генератор, излучение которого фокусируется до такого же размера (примерно один микрометр). Отраженный луч будет менять свою интенсивность в зависимости от того, попал ли он на точку экспонирования, или нет. Сигнал, несущий информацию, записанную на дорожке, считывается приемниками, анализируется, усиливается, формируется и вводится в ЭВМ.

Идея создания такого запоминающего устройства была сформулирована нами в 1970 году в Институте кибернетики и нашла широкую поддержку академиков В. М. Глушкова и Г. Е. Пухова. Большую поддержку работам по оптической записи оказали ведущие специалисты Научно-исследовательского центра электронной вычислительной техники (НИЦЭВТ г. Москва) в лице генерального конструктора ЕС ЭВМ Александра Максимовича Ларионова и начальника отделения внешних запоминающих устройств ЭВМ Владимира Григорьевича Макурочкина. И уже через год после научного доклада в 1975 году начались совместные работы с НИЦЭВТом по разработке оптических запоминающих устройств высокой производительности для ЕС ЭВМ. Таким образом, докладываемые результаты по созданию оптических запоминающих устройств с высокой производительностью получены благодаря широкому сотрудничеству с большим количеством организаций Академии наук Украины: Институтом кибернетики, Институтом полупроводников, Институтом сверхтвердых материалов, Институтом проблем материаловедения, Институтом физики и отраслевых предприятий, таких как Каневский электромеханический завод, Борский стекольный завод и другие.

Почему потребовалась координация усилий такого большого количества организаций? Это связано с необходимостью разработки большого количества новых систем, элементов и материалов. В связи с тем, что возникла острая потребность для перспективных информационных систем создания устройства регистрации информации с высокой скоростью на носителе большой емкости, были сформулированы технические требования на оптические запоминающие устройства для ЕС ЭВМ – емкость порядка 10^{10} бит, скорость записи около : 6,5 бит/с и время доступа к информации порядка 10 мс. Реализация этих требований возможна в том случае, если размер записываемых точек на носителе должен быть порядка одного микрометра.

Для того, чтобы достоверно записывать и считывать информацию, расстояние между объективом и диском должно выдерживаться с погрешностью не менее одного микрометра. Биение дорожек должно составлять одну десятую микрометра. Для со-

здания систем записи оптических запоминающих устройств необходима разработка быстродействующей системы управления оптическим излучением, стабильных, долговечных и мощных оптических квантовых генераторов, а для считывания информации квантовых генераторов со стабильными пространственными характеристиками. Для организации считывания и быстрого доступа к информации необходима разработка быстродействующих систем адресации.

Для создания быстродействующей исполнительных механизмов систем адресации нужно использовать легкие материалы, это один из вопросов которые необходимо решить для создания таких систем. Поэтому решить такой круг задач можно только используя широкую кооперацию с большим количеством организаций и совместную работу осуществить по хорошо налаженной научно-технической программе.

Разрешите мне остановиться на одной из особенно важных проблем, которые возникают при создании оптических запоминающих устройств. Это проблема создания регистрирующей среды, на которую необходимо выполнять запись с большой скоростью. Запись на регистрирующей среде производится имеющимися в настоящее время оптическими квантовыми генераторами с мощностью порядка 1 Вт. Плотность мощности сфокусированного оптического излучения оказывается высокой и может достигать 10^8 и более Вт/мкм². При такой концентрации излучения в области записи температура локально может достигать сотен и тысяч градусов. Поэтому ряд исследователей пошли по пути использования в качестве носителей информации тонких металлических пленок – в пленке просто прожигают микроотверстия. Однако, в связи с тем, что тепло чрезвычайно быстро распространяется вдоль металлической пленки, при времени экспонирования порядка 100 нс удается получить отверстие при записи информации диаметром около 4–5 мкм. В итоге оказывается, что получить скорости записи информации более 3,5 млн бит/с на металлической пленке не удается.

Поэтому возникает необходимость создания регистрирующих сред, которые обладали бы более высокой чувствительностью и более высокой разрешающей способностью по сравнению с металлическими пленками. Одной из наиболее интересных регистрирующих сред является регистрирующая среда полупроводник-металл, которая была создана около десяти лет назад в Институте полупроводников АН УССР. Такая среда работает на эффекте диффузии при облучении материала из слоя металла в пленку полупроводника, толщина которого составляет сотые доли микрометра, а разрешающая способность таких сред может достигать порядка 0,1–0,2 мкм. Такая среда является одноступенчатой, то есть после облучения сразу появляется изображение и не требуется дополнительная химическая обработка. Это важное преимущество, которое является необходимым условием для записи информации. Мы широко используем такие среды для разработки ряда макетов.

Однако, такая среда обладает и одним существенным недостатком. Для нее в широком диапазоне выполняется закон взаимозаменяемости, при длительном облучении излучением малой мощности (обычное комнатное освещение) возникает опасность испортить записанную информацию. Для надежной записи информации необходимы специальные регистрирующие среды. Очень большие объемы информации нужно хранить с очень высокой надежностью. Для этого нужны регистрирующие среды с пороговыми свойствами, которые не чувствовали бы освещения с малой интенсивностью. Мы поставили перед собой задачу создания такой среды и решили ее. Было предложено синтезировать трехслойную регистрирующую среду, в которой используется пленка полупроводника, слой диэлектрика и пленка металла. Под воздействием коротких импульсов света в верхнем слое полупроводника можно создать столь большое электрическое поле, которое может вызвать пробой пленки диэлектрика.

Металл и полупроводник начнут взаимодействовать друг с другом в зоне микропробоя. Такая среда будет чувствовать излучение только с большой концентрацией энергии. Разрешающая способность ее составляет 3-5 тыс. линий на мм. Такая регистрирующая среда не чувствует рассеянное солнечное освещение при воздействии его в течение нескольких сотен часов. Она позволяет записывать информацию с большими плотностью и скоростью, чем регистрирующие среды на основе на металлических пленок. Следует отметить, что это среда без перезаписи информации.

Еще одной из проблем, которые возникают при создании запоминающих устройств большой емкости, является передача информации в канале записи. Создание запоминающего устройства имеет ряд очень серьезных технических проблем, связанных с разработкой лазера. Мы надеемся на помощь в решении этого вопроса производственного объединения «Полярон» (г. Львов). При разработке и изготовлении сверхпрецизионных шпинделей, которые должны иметь биение порядка одной десятой микрона мы надеемся на помощь Института электросварки в части разработки технологии изготовления прецизионных деталей методом электрошлакового переплава.

Проблем возникает большое количество и можно задать вопрос, а, грубо говоря, стоит ли овчинка выделки, ведь сколько вопросов нужно решить? Оказывается, стоит – на создаваемый оптический носитель может быть занесена информация, содержащаяся в 500 томах по 500 страниц – это целая библиотека.

Одно такое быстродействующее и высокопроизводительное устройство имеет информационную производительность, которая определяется произведением емкости на скорость записи-считывания. Высокая производительность оптических запоминающих устройств поможет создать современный вычислительный центр на Украине. Использование таких запоминающих устройств позволит решить проблему создания банка данных экономической, научно-технической информации.

По данным, согласованным с Госпланом, на уровне 1980–1985 годов потребуются запоминать в год информации порядка 10^{13} – 10^{14} бит. Если эту информацию пришлось бы записать на магнитных лентах, то стоимость носителей на магнитных лентах могла бы составить от ста миллионов до миллиарда рублей. И только в Министерстве радиопромышленности СССР экономический эффект от использования этой разработки может составить около 120 млн рублей в год.

Естественно, если такая концепция записи информации получит поддержку, в дальнейшем может быть разработан ряд запоминающих устройств с меньшей производительностью для использования в системах сбора, дальнейшей обработки и хранения информации. При создании такого запоминающего устройства может измениться структура вычислительного комплекса. Действительно, в этом случае высокопроизводительная вычислительная машина может вводить информацию только с высокоэффективного запоминающего устройства. При этом можно отключить большое количество медленно действующих периферийных устройств.

Такой диск будет стоить от 5 до 10 рублей. С этого диска можно выводить нужную информацию на бумагу. Такой диск – это прошнурованная книга, лабораторный журнал в системе научных исследований, который нельзя подчистить и нельзя уничтожить. Разработка таких оптических запоминающих устройств может привести к ряду очень интересных результатов при создании систем специального назначения. Более того, высокая плотность записи информации, которая достигается при создании этих устройств, позволит сделать существенный задел для создания бытовых и профессиональных систем записи телевизионных программ.

В настоящее время большое количество западноевропейских и американских ком-

паний взяли за разработку систем видеозаписи. Интерес в мире к запоминающим устройствам огромен. В настоящее время выпускается уже одно ленточное оптическое запоминающее устройство «Юникон», имеющее носитель емкостью порядка двух миллиардов бит. В этом запоминающем устройстве используют для записи информации прожигание отверстий в тонких металлических пленках. Это устройство имеет плотность информации на порядок меньше, чем разрабатываемое в настоящее время в Академии наук УССР оптическое запоминающее устройство. Следует отметить, что скорость записи информации в устройстве «Юникон» тоже ниже. В целом в мире проявляется большой интерес к созданию оптических запоминающих устройств большой емкости.

Понимая важность поставленных задач по решению насущных вопросов создания запоминающих устройств, уже подписаны программы сотрудничества ряда институтов Академии наук Украины, промышленных предприятий страны с Министерством радиопромышленности СССР и решение задачи создания запоминающих устройств может оказаться под силу. Конечно, при решении этой задачи имеется ряд трудностей, которые мешают развитию этих работ. Трудности эти сформулированы в проекте постановления Президиум Академии наук и они, в основном, заключаются в том, что исследования, проводимые институтами Академии наук УССР требуются соответствующей материальной поддержки.

В заключение я хочу поблагодарить Президиум Академии наук УССР за поддержку и помощь в работе.

Устройство для измерения поворота объектов

В. А. Леонец, В. В. Петров

Авторское свидетельство СССР 559108 МПКG01 В 11/26 Опубликовано 25.05.77. Бюллетень № 19. Заявитель Институт электродинамики АН УССР.

Изобретение относится к измерительной технике.

Известно устройство для измерения углов поворота объекта, содержащее осветитель, светоделительный блок, два отражателя, образующие две ветви интерферометра и установленные на объекте, фазочувствительный и регистрирующие блоки [1].

Недостатком известного устройства является невозможность измерения углов поворота в статическом режиме, превышающих угол поворота, вызывающего смещение интерференционной картины на один период.

Известно устройство для измерения углов поворота объекта, содержащее основание с размещенными на нем осветителем, светоделительным блоком, двумя неподвижными отражателями, образующими две ветви интерферометра и установленными по разные стороны светоделительного блока, два плоских зеркала, располагаемых параллельно одно против другого на объекте между светоделительным блоком и одним из отражателей, блок фотоприемников и блок обработки сигнала с фотоприемников [2].

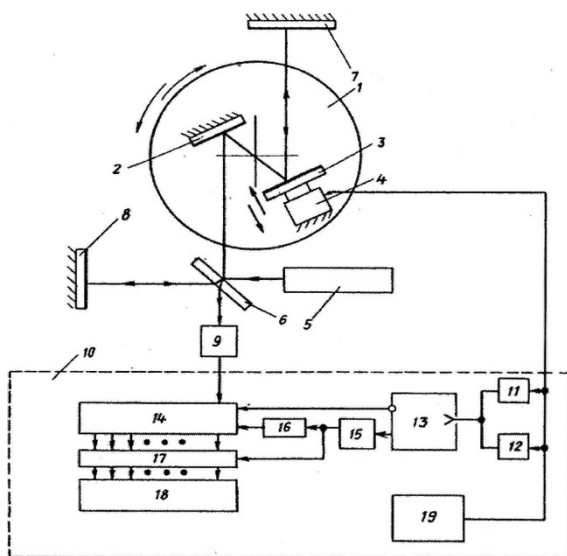
Недостатком известного устройства является невозможность измерения углов в статическом режиме в диапазоне от 0° до 90° , так как известным устройством можно измерять только приращение углов поворота.

Целью изобретения является измерение углов в статическом режиме в диапазоне от 0° до 90° .

Это достигается тем, что устройство снабжено модулятором изменения расстояния между двумя плоскими зеркалами, вход которого подключен к блоку обработки сигналов, устанавливаемым неподвижно на объекте и кинематически связанным с одним из плоских зеркал.

На чертеже показана схема устройства.

Устройство содержит вращающееся основание 1, два параллельных зеркала 2, 3, одно из которых выполнено с возможностью поступательного перемещения, модулятор 4 изменения расстояния между зеркалами, выполненный, например, в виде магнитоэлектрической системы, токовая катушка которой соединена с зеркалом 3, а магнитная система жестко укреплена на основании 1, осветитель 5, светоделительный блок 6, два неподвижных зеркала 7, 8, блок 9 фотоприемни-



ков, блок 10 обработки сигналов, в который входят две пороговые схемы 11 и 12, входы которых соединены со входом 5 модулятора 4, триггер 13 со счетным входом, управляемый счетчик 14 импульсов, схема формирования импульсов 15, линия задержки 16, группа логических вентилях 17, блок индикации 18, задающий генератор 19.

Работает устройство следующим образом. В исходном состоянии на выходе генератора 19 поддерживается постоянный ток, величина которого соответствует максимальному удалению зеркала 3 от зеркала 2, а триггер 13 установлен в состояние, при котором на его выходе, соединенном с управляющим входом счетчика 14, поддерживается напряжение, запрещающее счет импульсов. (Соответствующие цепи, блокировки генератора 19 и триггера 13 на чертеже не показаны). При пуске снимается блокирующий сигнал с триггера 13 и генератора 19. Триггер остается при этом в прежнем состоянии, а выходной ток генератора начинает изменяться по некоторому периодическому закону, например по синусоиде, в соответствии с которым модулятор 4 перемещает в направлении к зеркалу 2 зеркало 3.

Для упрощения конструкции блока 9 фотоприемников и счетчика 14 сигнал генератора 19 целесообразно выбрать таким, чтобы скорость изменения его между моментами реверса не изменяла своего знака. Вследствие перемещения зеркала 3 длина первой ветви интерферометра начинает изменяться, блок 9 фотоприемника вырабатывает импульсы, соответствующие интерференционным полосам, проходящим перед входной щелью блока 9.

При достижении определенного уровня сигнала на входе модулятора 4 срабатывает пороговая схема 11. Импульс с этой схемы перебрасывает триггер 13 во второе устойчивое состояние и тем самым снимает запрещающий сигнал с управляющего входа счетчика 14. Счетчик 14 начинает регистрировать импульсы, поступающие с блока 9 фотоприемников. Сигнал на выходе схемы 15 в этот момент отсутствует, так как схема 16 вырабатывает импульс только при переходе триггера 13 со второго состояния в первое. Сигнал на входе модулятора 4 продолжает уменьшаться и в какой-то момент времени достигает уровня срабатывания пороговой схемы 12. Импульс с нее перебрасывает триггер 13 в первое состояние, счетчик 14 прекращает счет импульсов, поступающих с блока 9, а схема 15 вырабатывает импульс, поступающий на группу логических вентилях 17 и на линию задержки 16. С поступлением импульса на группу вентилях 17 содержимое счетчика 14 переносится в блок индикации 18.

Через некоторое время, определяемое параметрами линии задержки 16, импульс со схемы 15 поступает на установочный вход счетчика 14 и устанавливает все разряды его в нулевое состояние.

Достигнув минимального значения, ток на выходе генератора 19 начинает увеличиваться, а зеркало 3 изменяет направление своего движения на обратное. При достижении сигналом на выходе генератора 19 уровня срабатывания схемы 11 вырабатывается импульс, перебрасывающий триггер 13 во второе устойчивое состояние. Счетчик начинает регистрацию импульсов. Состояние блока индикации 18 остается при этом неизменным. При срабатывании через некоторое время схемы 12 происходит переключение триггера 13 из второго состояния в первое. При этом счет импульсов с блока 9 прекращается, а содержимое счетчика, полученное к этому моменту времени, переносится в блок индикации 18. В последующие периоды колебания зеркала 3 описанные процессы повторяются.

Таким образом, устройство индикации отражает количество интерференционных полос, прошедших перед щелью блока 9 фотоприемников за время между двумя очередными срабатываниями пороговых схем 11 и 12, т. е. отражает изменение длины

плеча интерферометра при изменении расстояния между зеркалами 2 и 3 на строго определенную величину.

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Устройство для измерения углов поворота объекта, содержащее основание с размещенными на нем осветителем, светоделительным блоком, двух неподвижных отражателей, образующих две ветви интерферометра и установленных по разные стороны светоделительного блока, два плоских зеркала, располагаемых параллельно одно против другого на объекте между светоделительным блоком и одним из отражателей, блок фотоприемников и блок обработки сигнала с фотоприемников, отличающийся тем, что, с целью измерения углов в статическом режиме в диапазоне от 0° до 90° , оно снабжено модулятором изменения расстояния между двумя плоскими зеркалами, вход которого подключен к блоку обработки сигналов, устанавливаемым неподвижно на объекте и кинематически связанным с одним из плоских зеркал.

Источники информации, принятые во внимание при экспертизе:

1. Авторское свидетельство СССР № 347561, М. Кл. G1 B 9/02, 1970.
2. Авторское свидетельство СССР №154059, М. Кл. G01 B 9/02, 1962 (прототип).

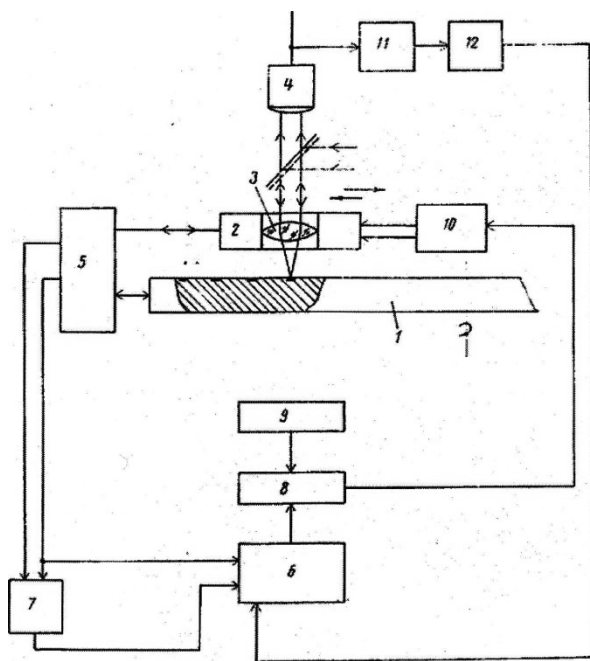
Оптическое запоминающее устройство

В. А. Леонец, В. В. Петров, А. П. Токарь

Авторское свидетельство СССР № 572848 МПК G 11С 13/04 Опубликовано 15.09.77. Бюллетень № 34. Заявитель Институт электродинамики АН УССР.

Изобретение относится к вычислительной технике и может применяться в цифровых накопителях с применением оптических элементов.

Известны оптические запоминающие устройства, содержащие фотоэлектронный преобразователь перемещений в виде интерферометра и электронный блок определения по сигналам с преобразователя текущего адреса головки [1]. Точность работы устройства ограничивается тепловыми расширениями носителя. Наиболее близким к изобретению техническим решением является оптическое запоминающее устройство, содержащее информационный диск, оптически связанный через фокусирующую систему, установленную на подвижной каретке, с фотоприемником, фотоэлектронный преобразователь, оптически связанный с кареткой и информационным диском, реверсивный счетчик, соединенный с одним из выходов фотоэлектронного преобразователя, фазочувствительный элемент, входы которого подключены к выходам фотоэлектронного преобразователя, а выход – к управляющему входу реверсивного счетчика, схему сравнения, входы которой соединены с регистром заданного адреса и реверсивным счетчиком, а выходы подключены к серводвигателю каретки с дополнительной головкой [2]. Однако наличие в этом устройстве дополнительной головки в виде оптической фокусирующей системы существенно усложняет его, а также снижает надежность и точность работы.



Целью изобретения является повышение точности и надежности считывания и записи информации. В описываемом устройстве это достигается тем, что в него введены последовательно соединенные усилитель и пороговый 10 элемент, выход которого соединен с установочным входом реверсивного счетчика, а вход усилителя подключен к выходу фотоприемника.

На чертеже представлена блок-схема описываемого устройства.

Оно состоит из информационного диска 1, подвижной каретки 2, фокусирующей системы 3, установленной на каретке 2, фотоприемника 4, оптически связанного через фокусирующую систему 3 с диском 1, фотоэлектронного преобразователя 5, выполненного, например, в виде лазерного интер-

ферометра, оптически связанного с кареткой 2 и диском 1, реверсивного счетчика 6, соединенного с одним из выходов преобразователя 5, фазочувствительного элемента 7, входы которого подключены к выходам фотоэлектронного преобразователя 5, а выход – к управляющему входу реверсивного счетчика 6, схемы сравнения 8, входы 30 которой соединены с регистром 9 заданного адреса и реверсивным счетчиком 6, а выходы подключены к серводвигателю 10 каретки 2, последовательно соединенных усилителя 11 и порогового элемента 12, выход которого соединен с установочным входом счетчика 6, а вход усилителя подключен к выходу фотоприемника 4.

При выходе на новую дорожку по сигналам от ЭВМ содержимое регистра 9 заданного адреса изменяется. Схема сравнения 8 вырабатывает сигналы рассогласования, которые включают серводвигатель 10 каретки 2. Каретка 2 перемещается параллельно рабочей поверхности информационного диска 1. Фотоэлектронный преобразователь 5 вырабатывает импульсы, которые поступают на реверсивный счетчик 6 и в зависимости от состояния фазочувствительного элемента 7 увеличивают или уменьшают содержимое счетчика 6. Интенсивность сфокусированного луча яри этом равна интенсивности луча при считывании, т. е. не вызывает существенной засветки информационного диска 1. При пересечении лучом экспонированных участков информационной дорожки световой поток, отраженный от диска 1, изменяется, что приводит к изменению сигнала на выходе фотоприемника 4. Изменение сигнала усиливается усилителем 11 и подается на вход порогового элемента 12. При определенном уровне сигнала на выходе усилителя 11 пороговый элемент вырабатывает импульс, который поступает на установочный вход счетчика 6 и производит округление содержимого счетчика до ближайшего значения, кратного шагу (минимальному расстоянию) между дорожками.

Округление производится установкой триггеров младших разрядов, соответствующих шагу между дорожками, в некоторое заранее выбранное состояние. После прекращения действия импульса с элемента 12 счетчик 6 продолжает (уже с нового состояния) счет импульсов, поступающих с фотоэлектронного преобразователя 5.

Путем выбора последовательности записи дорожек расстояние между ними может быть получено достаточно малым и описанная коррекция содержимого счетчика 6 – эквивалентна введению в него точного адреса пересекаемой лучом дорожки.

Для обеспечения произвольной последовательности записи информационных дорожек на рабочей поверхности диска 1 могут быть нанесены однородные по длине опорные дорожки, расположенные одна от другой на расстоянии, кратном шагу между информационными дорожками.

В качестве порогового элемента могут быть использованы пороговые схемы с плавающим уровнем срабатывания, устанавливаемым в зависимости от интенсивности падающего на 5 диск 1 луча, интенсивности светового потока, отраженного от половины пересекаемой дорожки, или в зависимости от максимального уровня предыдущего сигнала.

Таким образом, введение через последовательно соединенные усилитель 11 и пороговый элемент 12 связи фотоприемника 4 с установочным входом счетчика 6 позволяет осуществлять коррекцию текущего адреса луча на информационном диске без считывания и декодирования какой-либо контрольной информации, записанной вдоль дорожек, что повышает точность определения текущего адреса, а отсутствие дополнительной головки упрощает устройство, что в целом увеличивает точность, а надежность считывания и записи информации в оптическом запоминающем устройстве в 1,2–1,5 раза.

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Оптическое запоминающее устройство, содержащее информационный диск, оптически связанный через фокусирующую систему, установленную на подвижной каретке, с фотоприемником, фотоэлектронный преобразователь, оптически связанный с кареткой и информационным диском, реверсивный счетчик, соединенный с одним из выходов фотоэлектронного преобразователя, фазочувствительный элемент, входы которого подключены к выходам фотоэлектронного преобразователя, а выход – к управляющему входу реверсивного счетчика, схему сравнения, входы которой соединены с регистром заданного адреса и реверсивным счетчиком, а выходы подключены к серводвигателю каретки, отличающееся тем, что, с целью повышения точности и надежности считывания и записи информации, устройство содержит последовательно соединенные усилитель и пороговый элемент, выход которого соединен с установочным входом реверсивного счетчика, а вход усилителя подключен к выходу фотоприемника.

Источники информации, принятые во внимание при экспертизе:

1. Патент США № 3800317, кл. G 11 В 5/52,
2. Патент США № 3821804, кл. G 11 В 5/56, 1974.

Повышение эффективности защиты от ошибок при считывании информации с дисковых оптических запоминающих устройств

В. В. Петров, А. О. Типикин

Электронное моделирование. 1987. Т. 9, № 5.

При внедрении в вычислительных системах (ВС) дисковых оптических внешних запоминающих устройств (ВЗУ) с емкостью одного диска более 1 Гбайт и скоростью обмена информацией более 3 Мбайт/с увеличивается частота ошибок при считывании информации [1–3]. Оптические и электрические искажения информационных сигналов оптических ВЗУ [3] возникают, в частности, вследствие наличия микронеоднородностей и локальных дефектов носителя информации и приводят к группированию многократных ошибок, в результате чего появляются вторичные искажения, обусловленные кратковременной потерей тактовой синхронизации (ТС) контроллера ВЗУ, соответствующим искажением фазы выделенного сигнала, а также вставками и выпадениями тактовых импульсов. Названные типы ошибок проявляются при повышении плотности записи и в магнитных ВЗУ. Например, в винчестерских накопителях на магнитных дисках протяженность сгруппированных многократных ошибок увеличивается до 200–300 бит [4], а в накопителях на магнитных лентах из-за локальной неравномерности покрытия лент частота ошибок повышается до 10^{-4} на один бит [5].

Производительность ВС существенно зависит от быстродействия ВЗУ. Поэтому в ВЗУ с высокой плотностью записи для коррекции считанных данных применяют быстродействующие устройства защиты от ошибок (УЗО), основанные на избыточных кодах [6]. Наибольшее распространение получил блочный разделимый код Рида – Соломона (РС-код) [6]. Однако необходимость разбиения информационного потока на блоки кодовых слов (КС) РС-кода предъявляет жесткие требования к стабильности работы системы синхронизации УЗО. Кратковременная потеря ТС может привести к сбою цикловой синхронизации (ЦС) УЗО, невозможности точного нахождения границ блоков КС и, следовательно, к неправильному функционированию УЗО. Эффективность УЗО можно оценить следующим образом:

$$\Xi = K/C = P/QC, \quad (1)$$

где K – коэффициент снижения частоты ошибок, $K = P/Q$, P – вероятность ошибок в ВЗУ, приведенная к биту; Q – вероятность ошибок на выходе УЗО на один бит; C – стоимость УЗО. Высокую эффективность (1) необходимо обеспечить при пропускной способности УЗО, превышающей достигнутую в ВЗУ скорость обмена информацией. Вероятность Q зависит от исправляющей способности кода, собственной ненадежности УЗО и нестабильности системы синхронизации:

$$Q = Q_{\text{н.ош}} + Q_{\text{с.о}} + Q_{\text{с.с}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{н.ош}}$ – вероятность ошибок, неисправимых кодом УЗО; $Q_{\text{с.о}}$ – вероятность сбоя или отказа УЗО; $Q_{\text{с.с}}$ – вероятность сбоя ТС или ЦС. Составляющие вероятности в формуле (2) должны быть приведены к одному и тому же временному интервалу, например ко времени передачи одного бита. В соответствии с выражением (2) необходимо, чтобы $Q_{\text{с.с}} < Q_{\text{н.ош}}$. Это требует применения специальных методов уменьшения влияния нестабильности ТС и ЦС.

Из выражений (1), (2) очевидно, что эффективность УЗО существенно зависит от объема оборудования, величина которого определяет значительную часть стоимости и собственной ненадежности УЗО. В то же время необходимость повысить быстродействие УЗО и применить коды с достаточным кодовым расстоянием ($d > 5$ [6]) приводит к увеличению затрат оборудования.

Высокая эффективность УЗО достигается путем решения следующих задач:

- повышение стабильности ТС и ЦС при вероятности ошибок в считанной информации $P \leq 10^{-4}$ на один бит, характерной для новых типов ВЗУ;
- уменьшение влияния нестабильности ТС и ЦС на правильность функционирования УЗО;
- уменьшение потока ошибок, подлежащих исправлению корректирующим кодом УЗО, например, автоматическим обходом дефектов носителя информации в процессе записи с целью снижения требуемого кодового расстояния и соответственно объема оборудования УЗО;
- упрощение алгоритмов декодирования РС-кода с целью уменьшения времени декодирования и достижения требуемой пропускной способности УЗО без резкого повышения затрат оборудования;
- изменение форматов записи данных на носителях информации с учетом пп. 1–4;
- учет измененных форматов записей и начальных задержек кодеков УЗО при создании устройств управления накопителями и программного обеспечения систем внешней памяти.

Каждая из задач 1–4 достаточно сложна и требует исследования. Например, задача 1 решается с помощью новых способов записи информации и групповых кодов записи, повышением стабильности автоматически подстраиваемых генераторов тактовой частоты, переходом от аналоговых к цифровым методам слежения за фазой и частотой считанного сигнала, повышением надежности и скорости обнаружения потерн ЦС и ее восстановления [7, 8].

Рассмотрим некоторые методы решения задач 2–4. Решить задачу 2 можно, используя метод перемежения символов РС-кода с ресинхронизационными вставками (РВ) запрещенных в основной записи кодовых комбинаций, разделяющих группы одноименных символов разных перемеженных КС [9]. Однако эффективность данного метода существенно зависит от помехоустойчивости ЦС, так как обнаружение искажения фазы выделенного сигнала и потери ЦС основано на логическом анализе последовательности нескольких повторений инверсии кода РВ и ее сдвига относительно цикловых отметок.

Если выбрать длину цикла ЦС равной длине группы одноименных символов между соседними РВ, то при многократном совпадении указанных искажений в области РВ, например в двух из трех последовательных циклах, наиболее правдоподобным решением является обратная инверсия фазы выделенного сигнала и восстановление ЦС принудительной начальной установкой всех резервированных циклов счетчиков. Достаточно надежная система ЦС, необходимая для реализации описанного принципа, может быть построена на основе технических предложений [7, 8], которые обеспечивают минимальное время вхождения в ЦС в начале записи не более чем за один цикл, обнаружение ЦС и ее восстановление не более чем за 4 цикла с вероятностью неправильного функционирования 10^{-12} при $P = 10^{-4}$ на бит.

Все символы групп, коды заключительных РВ которых или были инвертированы, или (и) сдвинуты относительно цикловых отметок, или вовсе не выделены блоком их селекции, считаются ошибочными. Такие символы ошибок с известным их местоположением называются стираниями [10]. Несмотря на то, что в результате крат-

современной потери синхронизации образуется блок многократных ошибок длиной 3–4 группы, после восстановления перемежения в каждом КС будут не более 4 стираний, так как в группу объединяются по одному символу от каждого из перемеженных КС. Таким образом, возможно совместно исправлять сбои синхронизации и другие ошибки одним и тем же РС-кодом с относительно небольшим кодовым расстоянием ($d=5-6$) и преодолевать требование абсолютной стабильности системы синхронизации, обусловленное блоковой структурой РС-кода.

Частота дополнительных ошибок с неизвестными локаторами x_{oi} их местоположения в КС при решении задачи 3 снижается с помощью метода адаптивной совмещенной записи – чтения с обходом дефектов носителя информации. Идея метода заключается в контрольном чтении в процессе записи, сравнении записанной и сразу же считанной информации и повторной записи блока перемеженных КС (БПКС), если число обнаруженных в нем ошибок превысит допустимое. Для отличия неповторенных БПКС от повторенных требуется надежное маркирование последних, осуществляемое заменой одних запрещенных кодовых комбинаций РВ другими, что позволяет достичь высокой избыточности маркирования без записи специальных дополнительных кодовых указателей. БПКС, выделенный по маркерам в процессе считывания как повторный, передается на декодирование, а предыдущий БПКС отбрасывается; в противном случае предыдущий БПКС не отбрасывается. Такой принцип отбрасывания БПКС с целью пропуска неустранимых дефектов позволяет исключить хранение и постоянную обработку системных таблиц дефектных мест носителя информации.

Предложенные методы решения задач 2, 3 частично упрощают решение задачи 4, так как создают предпосылки для уменьшения кодового расстояния d корректирующего кода УЗО и соответствующего снижения сложности алгоритмов кодека. Однако сложность алгоритмов декодирования РС-кода даже при небольшом кодовом расстоянии ($d = 5 \div 6$) достаточно высока [6, 10, 11], поэтому достижение пропускной способности УЗО более 3 Мбайт/с связано с большими затратами оборудования. Уменьшить объем оборудования можно, построив декодер РС-кода по схеме конвейерного вычислительного устройства, содержащего последовательно соединенные блок вычисления синдромов, блок вычисления коэффициентов полинома ошибок и полинома локаторов стирания x_{ci} и ошибок x_{oi} , блок вычисления значений ошибок y_i и блок обобщенных локаторов: $\{x_i\} = \{x_{ci}\} \cup \{x_{oi}\}$. Первый и третий блоки достаточно просто реализуются на быстродействующих параллельно работающих сдвиговых регистрах с логическими обратными связями, осуществляющих вычисления соответственно по схемам Горнера и Ченя [10, 11]. Наибольшие трудности при аппаратной реализации представляет второй блок, обычно выполняемый по итеративному алгоритму Берлекэмпа [10, 11]. Ниже предлагается модификация алгоритмов его работы, которая при $d \leq 10$ имеет преимущество в скорости по сравнению с алгоритмом Берлекэмпа при одинаковых затратах оборудования.

Во втором блоке декодера по известным синдромам РС-кода $\{S_i\}$, найденным в первом блоке, вычисляются полином ошибок $Y_v(z)$ и полином локаторов стираний и ошибок $\sigma_v(z)$ [10]:

$$\begin{aligned} Y_v(z) &= S_{d-1}(z) \cdot \sigma_v(z) \bmod z^d = \\ &= (S_1 z + S_2 z^2 + \dots + S_{d-1} z^{d-1}) \times (l + \sigma_1 z + \dots + \sigma_v z^v) \bmod z^d, \\ \sigma_v z &= \sigma_c^{(\mu)}(z) \cdot \sigma_o^{(l)}(z), \end{aligned} \quad (4)$$

где z – переменная в конечном поле $GF(2^a)$, обратная значениям локаторов, $z = 1/x$; μ – число стираний, обнаруженных в декодируемом КС; l – число дополнительных ошибок в КС с неизвестными локаторами x_{oi} , v – общее число стираний и ошибок в

данном КС; $v=\mu+l$; $\sigma_c^{(\mu)}(z)$ – нормированный полином локаторов стираний степени μ ; $\sigma_o^l(z)$ – полином локаторов ошибок степени l .

Алгоритмы вычисления полиномов (3), (4) существенно зависят от значения числа μ . При $\mu \neq 0$ полином (3) вычисляется за два шага. На первом шаге находится промежуточный полином

$$Y_{d-1}^{(\mu)}(z) = S_{d-1}(z) \cdot \sigma_c^{(\mu)}(z) \bmod z^d = \sum_{j=1}^{d-1} T_j^{(\mu)} z^j, \quad (5)$$

где

$$\sigma_c^{(\mu)}(z) = \sum_{k=0}^{\mu} \sigma_{ck} z^k = \prod_{i=1}^{\mu} (1 + x_{ci} z), \quad (6)$$

$T_j^{(\mu)}$ – синдромы Форни [11]. Причем часть или все синдромы $T_j^{(\mu)} \neq 0$ при $j = \mu=1, \dots, d-1$, если $l \neq 0$; все $T_j^{(\mu)} = 0$ при $j = \mu = 1, \dots, d-1$, если $l = 0$ [11]. Коэффициенты полиномов (5), (6) могут быть вычислены по рекуррентным формулам

$$T_{j+1}^{(i+1)} = T_j^{(i)} x_{c,i+1} + T_{j+1}^{(i)}, \quad (7)$$

$$\sigma_{c,k+1}^{(i+1)} = \sigma_{ck}^{(i)} x_{c,i+1} + \sigma_{c,k+1}^{(i)}, \quad (8)$$

где i, j, k – соответственно номера рекуррентной приближения ($i = 0, \mu$), коэффициента полинома (5) ($j=1, d-1$), коэффициента полинома (6) ($k=0, \mu$) начальные условия в (7) и (8) $T_j^{(i)} = S_j$ и $\sigma_{co} = 1 \dots = 0$; граничные условия в (7) и (8) $T = 0$ при $j \geq d$ и $\sigma = 0$ при $k > i$.

Затем на первом шаге при $\mu \neq 0$ вычисляете полином локаторов ошибок $\sigma_o^l(z)$ по известным синдромам Форн (5) $T_{\mu+p}^{(\mu)} \neq 0$, где $p=1, d-1-\mu$. Определение $\sigma_o^l(z)$ можно упростить на основании теоремы, приведенной в работах [12, 13], и следствий из нее [13], по которым ненормированный полином локаторов ошибок определяется по формуле:

$$\sigma_o^l(z) = \sum_{k=0}^l z^k \sqrt{M_{l+1, l-k+1, l-k-1}}, \quad (9)$$

Где $M_{l+1, pp}$ – миноры элементов главной диагонали левого верхнего определителя Δ_{l+1} порядка $l+1$ ганкелевой матрицы синдромов Форни $\{T_{\mu+p}^{(\mu)}\}$. Определитель Δ_{l+1} выбирается согласно классификации числа ошибок l по следующему критерию. Число l равно рангу матрицы синдромов или порядку верхнего левого углового определителя $\Delta_1 \neq 0$, после которого все угловые определители более высоких порядков равны нулю: $\Delta_{l+1} = \Delta_{l+2} = \dots = 0$ [11, 12].

Диагональные миноры $M_{l, pp}$ являются промежуточными результатами вычисления угловых определителей Δ_1 в соответствии с рекуррентными выражениями, справедливыми в поле $GF(2^a)$ характеристики 2 и выведенными из формулы окаймленного определителя:

$$\Delta_l = T_{\mu+2l-1, \Delta_{l-1}}^{(\mu)} + \sum_{i=1}^{l-1} (T_{\mu+l-1+i}^{(\mu)})^2 M_{l-1, ii}, \quad (10)$$

$$M_{l ii} = T_{\mu+2l-1}^{(\mu)} \cdot M_{i-1, ii} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{l-1} (T_{\mu+l-1+k}^{(\mu)})^2 (M_{l-1, ii})_{kk},$$

$M_{ll} = \Delta_{l-1}$ при $i=l$; $i=l, l-1$, где $(M_{l-1, ii})_{kk}$ – диагональный минор определителя Δ_{l-1} , получаемый после вычеркивания из него двух строк и двух столбцов с номерами i, k при $i \neq k$. Миноры $(M_{l-1, ii})_{kk}$ рекуррентно вычисляются по минорам более низких по-

рядков до тех пор, пока порядок миноров не станет равным единице, а их значения – соответствующим синдромам.

На втором шаге при $\mu \neq 0$ определяется искомым полином ошибок

$$Y_v(z) = Y_{d-1}^{(\mu)}(z) \cdot \sigma_o^{(l)}(z) \bmod z^d, \quad (11)$$

а по формуле (4) – полином локаторов стираний и ошибок. Если $\mu = 0$, то по формулам (9), (10) находится полином локаторов ошибок при $v=l$ и замене синдромов $T_{\mu+p}^{(\mu)}$ исходными синдромами S_j , приняв $T_{\mu+p}^{(\mu)} = S_p$, а затем вычисляется полином ошибок по формуле (3).

В предлагаемой модификации алгоритмов применена ненормированная форма представления полинома локаторов ошибок (9). Это не влияет на локализацию ошибок по схеме Ченя и не искажает результатов ний ошибок y , по известной формуле [11]

$$y_i = \frac{x_i Y_v\left(\frac{1}{x_i}\right)}{\sigma_v'\left(\frac{1}{x_i}\right)}, \quad (12)$$

где $\sigma_v'(z)$ – формальная производная полинома $\sigma_v(z)$, так как полином (9) и его формальная производная, исходя из выражений (11) и (4), входят сомножителями в числитель и знаменатель формулы (12), а предварительное нормирование полинома (9) связано с делением числителя и знаменателя этой формулы на один и тот же свободный член. В то же время это позволяет полностью исключить операцию деления в рассматриваемом втором блоке декодера.

Сравнительно простая реализация блока декодера в виде микропрограммного специализированного однопроцессорного вычислителя с совмещением выполнения в каждом командном цикле процессора трех операций: изменения корня квадратного, умножения и сложения в конечном поле $GF(2^a)$. В этом случае число командных циклов, требующихся для вычислений по формуле (7), составит $2\mu(d-1)$; по формуле (8) – $0,5(\mu+1)(\mu+4)$; по рекуррентным выражениям (10) – около 3^l [14]; по формулам (3), (5), (11) – $0,5m(m+3)+(m+2)(d-m-1)$, где в (3) $m = v$, в (5) $m = \mu$, а в (11) $m = l$; по формуле (4) – $n(n+3)+(n+2)(q-n+1)$, где при $\mu > l$ получим $n = \mu$, $q = l$.

Приведем оценки количества микрокоманд в микропрограмме вычислителя в зависимости от гарантированно исправляемых РС-кодом чисел μ и l с учетом известного неравенства $2l + \mu \leq d - 1$, найденные по этим формулам:

Число стираний	5	4	3	2	1	0	0
Число ошибок	0	0	1	1	2	2	1
Число микрокоманд							
во втором блоке декодера	58	50	70	70	66	40	32

Следует учесть затраты времени на загрузку в память процессора всех исходных синдромов за $d-1$ тактов и параллельную выгрузку из его памяти вычисленных коэффициентов полиномов (3), (4) за v тактов.

Число микрокоманд и соответственно время декодирования можно уменьшить вдвое по сравнению с приведенным вариантом, если построить данный вычислитель по параллельной двухпроцессорной схеме с общим управлением [13].

Упрощение и повышение быстродействия декодера РС-кода связано с необходимостью усложнения алгоритмов работы блока управления УЗО, на который дополнительно возлагаются функции обнаружения потери ТС и ЦС и их восстановления, обра-

зования индексов стираний РС-кода, управления режимом адаптивной совмещенной записи-чтения. Указанные дополнительные алгоритмы, по-видимому, будут разветвленными с большим числом условных вершин, что повысит вероятность сбоев в работе УЗО. При сбое в блоке управления УЗО целесообразно отказываться от декодирования соответствующих КС, передавая на выход декодера их информационные части без изменения. Требуемое для этого повышение достоверности контроля правильности переходов в микропрограмме блока управления УЗО достигается специальной модификацией микропрограммы и введением в микропрограммный автомат дополнительного регистра сдвига и схемы сравнения [15].

Таким образом, на основе комплекса системных методов, описанных выше, представляется возможным уменьшить влияние нестабильности тактовой и цикловой синхронизации на правильность функционирования УЗО, снизить величину кодового расстояния РС-кода, повысить надежность выделения БПКС, отбрасываемых при автоматическом обходе дефектов носителей информации, увеличить быстродействие д уменьшить затраты оборудования в УЗО, осуществить коррекцию считанных данных без снижения скорости обмена информацией и тем самым повысить эффективность защиты от ошибок воспроизведения в ВЗУ вычислительных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Петров В. В., Токарь А. П.* Влияние шумов на плотность записи информации в оптических запоминающих устройствах // Гибридные вычислительные машины. – Киев : Наук. думка, 1977. С. 99–102.
2. *Берни К.* Планы создания автоматизированной информационно-поисковой системы для Патентного управления США // Электрон. 1983. 56, № 9. С. 73–76.
3. *Буль В. А.* Оптические запоминающие устройства. Л. : Энергия, 1979. 184 с.
4. *Тэм Р.* Контроллер винчестерских НМД – устройство с обширным набором функциональных средств // Электрон. 1983. 56, № 14. С. 65–71.
5. *Willaschek K.* Experimentelle Untersuchung von Störstellen in Magnetbandern // J. fur Signalaufzeichnungsmaterialien. 1982. 10, h. 5. S. 331–340.
6. *Берлекэмн Э. Р.* Техника кодирования с исправлением ошибок // Тр. Ин-та инж. по электротехнике и радиоэлектрон. 1980. 68, № 5. С. 24–58.
7. *А. с. 1092510 (СССР), МК.И G06F11 /12.* Устройство цикловой синхронизации для внешней памяти / А. П. Типикин, П. Е. Добрянский, С. И. Егоров // Бюл. изобрет. 1984. № 18. С. 129.
8. *О повышении надежности синхронизации в НМЛ при использовании кодов Рида – Соломона* / В. А. Новиков, А. П. Типикин, П. Е. Добрянский, С. И. Егоров // Вопр. радиоэлектрон. Сер. ЭВТ. 1984. Вып. 5. С. 39–46.
9. *Patel A. M.* Error Recovery Scheme for the IBM 3850 Mass Storage // IBM J. Res. Develop. 1980. 24, № 1. P. 32–42.
10. *Блох Э. Л., Зяблов В. В.* Обобщенные каскадные коды. М. : Связь, 1976. 240 с.
11. *Питерсон У., Уэлдон Э.* Коды, исправляющие ошибки. М. : Мир, 1976. 594 с.
12. *Типикин А. П., Бабанин А. Г., Егоров С. И.* Декодирование кода Рида-Соломона методом вычисления определителей // Тез. докл. VIII симпоз. по проблеме избыточности в информационных системах (Л., 1983). Л. : Ленинград. ин-т авиацион. приборостроения. 1983. Ч. 1. С. 143–146.
13. *Типикин А. П., Бабанин А. Г.* Повышение скорости определительного метода декодирования кода Рида-Соломона / Курск. политехи. ин-т. Курск, 1982. 46 с.: ил. Деп. в ЦНИИТЭИприборостроения 15.12.82. № 1988 пр. Д82.
14. *Типикин А.П., Бабанин А.Г., Пеньков А.Г.* Анализ определительного метода декодирования кода Рида-Соломона в быстродействующем устройстве защит от ошибок внешней памяти // Электрон. моделирование. 1984. 6, № 3. С. 41–45.
15. *А. с. 711573 СССР, МК.И G06F11/12.* Микропрограммное устройство с контролем переходов / А. П. Типикин, Е. А. Бабанин, В. Д. Колосков, Г. П. Денисова. Бюл. изобрет. 1980. № 3. С. 220.

Optical Storage Device

Vyacheslav V. Petrov, Alexandr A. Antonov, Alexandr P. Tokar,
Andrei A. Kryuchyn, Vladimir P. Skuridin, Nikolai V. Gorshkov,
Valery D. Kovtun, Leonid M. Gapchenko, Anton V. Vozovik

United States Patent 4,811,327 G11B 7/00; G01D 15/10; H04N 1/21 Mar. 7, 1989.
Assignee: Institut Problem Modelirovania v energetiki AN Ukr. SSR.

Disclosure is made of an optical storage device wherein a cylindrical information carrier (2) with a recording medium (12) applied on a tubular base (9) is disposed in a stationary cylindrical container (3) having a window (4) in the lateral wall thereof. A lens (5) is secured in the window (4) of the cylindrical container (3) to let through the radiation flux from a source (1) of modulated coherent radiation. The cylindrical container (3) is filled with a liquid or gaseous medium transparent for the radiation flux. The length of this cylindrical container (3) is at least twice as long as that of the recording coating (12) applied on the tubular base (9) of the cylindrical information carrier (2) equipped with drives for rotation and axial motion.

BACKGROUND ART

This invention is to provide an optical storage device having such an arrangement as to increase the sharpness of focus of the radiation beam carrying information and, simultaneously, to make more dense recording more reliable.

This is achieved by that in an optical storage device comprising a source of modulated coherent radiation, which is optically connected to a cylindrical information carrier equipped with a drive for rotation, and provided with a recording coating applied on the substrate of the cylindrical information carrier, according to the invention, the cylindrical information carrier is disposed in a stationary cylindrical container having, in the side wall thereof, a window wherein a lens is placed to transmit modulated coherent radiation, said cylindrical container being filled with a liquid or gaseous medium for the radiation flux from the source of modulated coherent radiation and the length of said cylindrical container being at least twice as large as that of the recording coating applied on the substrate of the cylindrical information carrier equipped with a drive for axial motion.

Since the proposed optical memory makes use of a stationary lens, it permits much better adjustment of the optical system, the sharpness of focusing the flux of modulated coherent radiation on the surface of the recording coating of the cylindrical information carrier can be drastically improved. Since the cylindrical information carrier is arranged inside a stationary cylindrical container, it is well protected from damage and dirt, thus making information storage more reliable. The lens is placed in a window in the wall of the stationary cylindrical container and, during addressing, the cylindrical carrier has to be axially moved in relation to the stationary container. The length of the inner space of the cylindrical container should, therefore, be equal to or exceed the double length of the recording coating on the cylindrical information carrier.

Advisably, when the cylindrical container is being filled with a gaseous medium, the axial drive of the cylindrical information carrier should be the electric linear drive whose stationary part is disposed on the lateral wall of the cylindrical container, while the movable part thereof is placed on at least one butt face of the cylindrical movable information carrier.

It is also advisable that, when the cylindrical container is being filled with a liquid medium, the drive for axial motion of the cylindrical information carrier should be a reversible hydraulic drive whose piston is the cylindrical information carrier.

It is also advisable that, when the cylindrical container is being filled with a liquid medium, the drive for axial motion of the cylindrical information carrier should be a reversible hydraulic drive whose piston is the cylindrical information carrier and whose cylinder is the cylindrical container, while the working fluid is the liquid medium which is desirably a low-viscosity immersion oil.

It is desirable that at least one impermeable radial partition should be placed in the internal space of the cylindrical information carrier.

It is also advisable that a protective coating should be applied on the recording coating provided on the base of the cylindrical information carrier. Since the cylindrical information carrier of the proposed optical memory is disposed within a cylindrical container filled with immersion oil, the numerical aperture of the objective lens can be significantly increased and the sharpness of focusing of the radiation flux can, therefore, be substantially improved. The axial hydraulic drive becomes extremely convenient for addressing information. The cylindrical information carrier is provided with impermeable radial partitions in order to increase its hydraulic resistance and improve the efficiency of the hydraulic drive. The purpose of the protective coating is to prolong the service life of the recording coating on the cylindrical information carrier in the working fluid medium.

BRIEF DESCRIPTION OF ACCOMPANYING DRAWINGS

The invention will now be described in more detail with reference to specific embodiments thereof and accompanying drawings wherein:

FIG. 1 shows a general section view of an optical memory according to the invention;

FIG. 2 shows a view of an optical memory equipped with a drive for axial motion of the cylindrical information carrier, which is made as an electric linear drive, according to the invention;

FIG. 3 shows a view of an optical memory wherein the cylindrical container is filled with a liquid medium and the drive for axial motion of the cylindrical information carrier provided with one impermeable radial partition is a bidirectional hydraulic drive, according to the invention;

FIG. 4 shows the view of FIG. 3 wherein the cylindrical information carrier is fitted with two impermeable radial partitions, according to the invention.

An optical memory comprises, according to the invention, a source 1 of modulated coherent radiation and, optically connected thereto, a cylindrical information carrier proposed in a stationary cylindrical container 3 made of a nontransparent material, such as metal, alloys, plastic. A window 4 is provided in the lateral surface of the container 3 and a lens 5 is secured therein to let through the radiation flux from the source 1 of modulated coherent radiation. The inner space of the cylindrical container 3 is filled with a gaseous medium, e.g. air. Butt faces of the cylindrical container 3 are provided with openings 6 to which is connected a pipeline 7 equipped with a bidirectional pump 8 of the pneumatic drive which is, in this embodiment, the drive for axial motion of the cylindrical information carrier 2, while the cylindrical information carrier 2 performs as a piston of this pneumatic drive. The cylinder of this pneumatic drive is the cylindrical container 3. The cylindrical information carrier 2 comprises a tubular base 9 transparent for the radiation flux of the source 1 of modulated coherent radiation. A recording coating 12 is applied on the external and internal surfaces 10 and 11 of the tubular base 9. It is possible that the recording layer 12 may be applied to only one surface 10 or 11 of the tubular base 9. A protective coating 13 is also applied over the

recording coating 12. The recording coating 12 on the tubular base 9 may, for example, be a chalcogenide layer, while the protective coating 13 may be made from metallic oxides, e.g. ferric oxide Fe_2O_3 . A radial impermeable partition 14 is secured on one of the butt faces of the tubular base 9. A rotor 15 of the motor for rotating the cylindrical information carrier 2 is installed on this radial partition 14, while a stator 16 of this motor is installed on the lateral surface of the cylindrical container 3. The length of the cylindrical container 3 is at least twice as long as the length of the recording coating 12 applied on the tubular base 9.

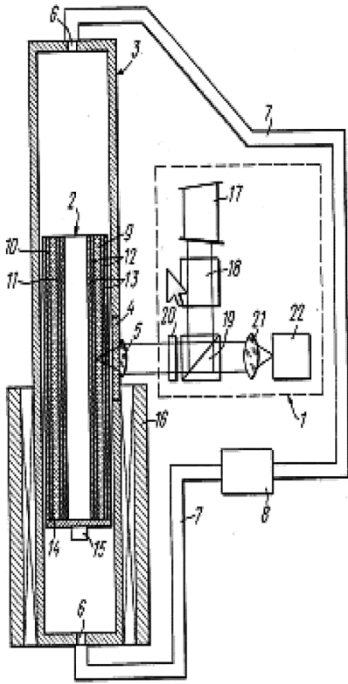


Fig. 1

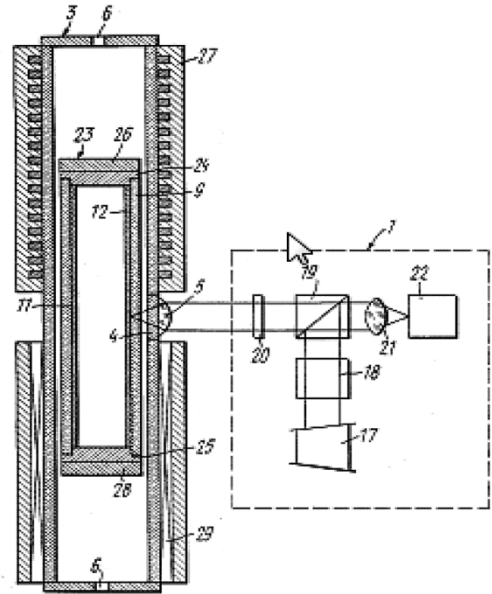


Fig. 2

The source 1 of modulated coherent radiation comprises a laser 17, an optical modulator 18, and a polarization divider 19, all optically connected. One output of the polarization divider 19 is optically coupled, via a quarter wave plate 20, with the lens 5, while the other output of the polarization divider 19 is optically coupled, via a lens 21, with a photoreceiver 22.

The optical memory claimed in this description operates as follows. Reference tracks and service information are recorded on the cylindrical information carrier 2 prior to placing it into the cylindrical container 3. Then the pipe-line 7 of the pneumatic drive for axial motion of the cylindrical information carrier 2 is connected to openings 6 in the butt faces of the stationary cylindrical container 3. The optical memory is ready for operation. When operating, the cylindrical information carrier 2 is rotated by the motor to a specific speed, the source 1 of modulated coherent radiation emits a low- power unmodulated radiation flux which corresponds to readout process. The radiation flux is reflected from the cylindrical information carrier 2 and is modulated by service information recorded in the information track under the lens 5.

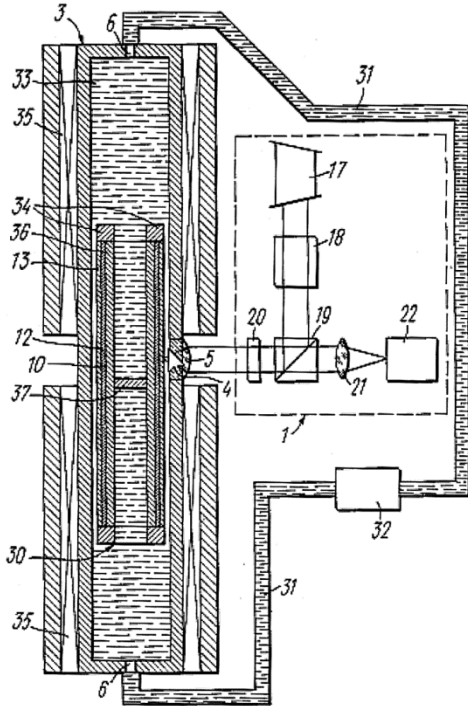


Fig. 3

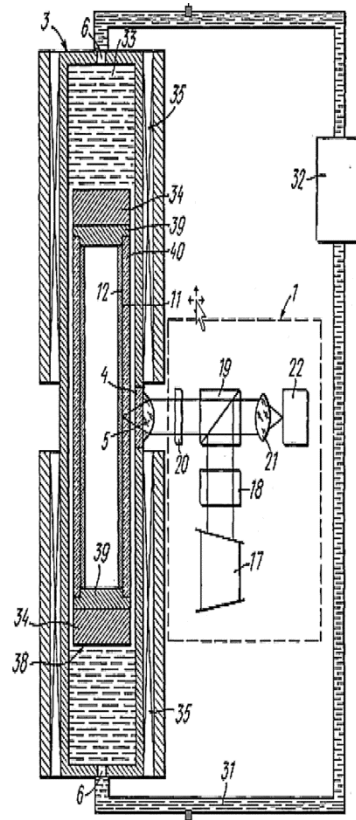


Fig. 4

The reflected radiation flux passes the quarter wave plate 20 twice, in the direct and reverse directions. The polarization plane of the flux is changed by 90° , the radiation flux is admitted to the polarization divider and, further on, to the photoreceiver 22 where the optical signal is converted into an electrical signal to be supplied to a control unit (not shown in the drawings for simplicity). The control unit processes the read out service information and extracts information on the number of the track hit by the radiation flux. This information is compared with the number of the information track corresponding to a given address and the control unit instructs the pneumatic drive for axial motion of the cylindrical carrier 2 to switch over to a specific information track. Since the lens 5 is secured stationary on the cylindrical container 3, addressing process in the claimed optical memory is performed by axial motions of the cylindrical information carrier 2 in relation to the cylindrical container 3. It is for this reason that the inner space of the cylindrical container 3 should be twice as long or even longer than the recording coating 12 on the cylindrical information carrier 2. If necessary, an instruction can be produced to re-focus the radiation flux from the recording coating 12 on the external surface 10 of the tubular base 9 to the recording coating 12 applied on the internal surface 11 or vice versa. When the control unit determines that the desired track is hit by the radiation flux, it starts processing the readout service information to separate data on the number of sector under the lens 5. After the control unit is satisfied

that the desired address is found, the readout process is started to obtain the required information or recording of information fed from the control unit. To record, the signal to be recorded is supplied to the optical modulator 18 and the intensity or some other quality of the radiation flux of the laser 17 is modulated. Since in this optical memory lens 5 through which the radiation flux hits the recording coating 12 is stationary on the fixed cylindrical container 3, the optical system can be very finely adjusted and focus becomes much more sharp as compared to prior art devices.

Besides, the cylindrical container 3 protects the cylindrical information carrier 2 from dirt and damage. The cylindrical information carrier 2 is still more protected because the pneumatic system is sealed off. This makes the recording and readout processes in the proposed optical memory extremely reliable.

In another embodiment of the invention, a cylindrical information carrier 23 (FIG. 2) is sealed by installing two impermeable radial partitions 24 and 25 in the butt ends of the tubular base 9.

In this embodiment, the recording coating 12 is applied only on the internal surface 11 transparent for the radiation flux emitted by the source 1 of modulated coherent radiation. A moving part 26 of an electrical drive for linear motion is secured on the partition 24, while a stationary part 27 thereof is secured on the lateral surface of the cylindrical container 3. The electric drive for linear motion is at the same time the drive for axial motion of the cylindrical information carrier 23. A rotor 28 of the electric motor is secured on the partition 25, while a stator 29 of the motor is secured on the lateral surface of the cylindrical container 3 and envelops the rotor 28. The motor is rotational drive of the cylindrical information carrier 23. Butt faces of the cylindrical container 3 are provided with opening 6, as in the former embodiment of the optical memory, but in this case they are intended as air inlets and outlets during axial motions of the cylindrical information carrier 23. In all other respects the optical memory of FIG. 2 is similar to that of FIG. 1.

The operation of the optical memory of FIG. 2 is somewhat different. Since the recording coating 12 is available only on the internal surface 11 of the transparent tubular base 9, no commands are required to switch over to the other recording coating. In all other respects the optical memory of FIG. 2 is analogous to that of FIG. 1.

In still another embodiment of an optical memory according to the invention there is provided a bidirectional hydraulic drive for axial motion of a cylindrical information carrier 30 (FIG. 3). In this case, a pipeline is connected to the cylindrical container 3 via the openings 6 available in the butt faces thereof. The pipeline 31 is connected to a bidirectional hydraulic pump of the bidirectional hydraulic drive. The cylindrical container 3 is filled with a fluid, e.g. low-viscosity immersion oil 33, and has a lens 5 secured on the lateral surface thereof. The cylindrical information carrier 30 is arranged within the cylindrical container 3. Rotors 34 of the motor for rotating the cylindrical information carrier 30 are installed on the butt ends thereof, while stators 35 of the motor are installed on the lateral surface of the cylindrical container 3, each stator 35 enveloping its rotor 34. A recording coating 12 and a protective coating 13 are applied on the external surface 10 of a tubular base 36, which is non-transparent for the radiation flux emitted by the source 1 of modulated coherent radiation. An impermeable radial partition 37 is installed in the inner space of the tubular base 36. The cylindrical container 3, like in the other embodiments, is at least twice as long as the recording coating 12 on the tubular base 36. The source 1 of modulated coherent radiation is similar to that of the optical memory of FIG. 1. In this embodiment, the immersion oil 33 is the working fluid of the bidirectional hydraulic drive for axial motion of the cylindrical information carrier 30, where the function of the piston is performed by the cylindrical information carrier 30 and the function of the cylinder by the container 3.

The optical memory according to the invention operates as follows.

During recording, a radiation flux, in the visible or near infrared range, is modulated and projected by the lens 5 on the recording coating 12 of the sealed cylindrical information carrier 30. This modulated flux records information in the desired address. The addressing process is performed by rotating the cylindrical information carrier 30 about its axis inside the stationary cylindrical container 3 and, also, by its axial motions effected by the bidirectional hydraulic drive for axial movements.

During readout, a radiation flux is not modulated and weakened by the optical modulator 18. The lens 5 projects this radiation flux on the cylindrical information carrier 30 whose movements are effected like during recording. The reflected radiation flux is modulated by the signal recorded on the cylindrical information carrier 30 and is supplied to the photoreceiver 22 where it is converted into an electrical reproduction signal.

The immersion oil 33 of low viscosity, which is filling the cylindrical container 3 wherein the cylindrical information carrier 30 is placed, permits a higher numerical aperture of the lens 5. The radiation flux is more sharply focused on the recording coating 12, thus increasing the information recording density.

Since in this embodiment the cylindrical information carrier 30 rotates in a low-viscosity fluid medium 33 which can be compressed much less than air, radial wobbling of the carrier cylinder during rotation is significantly reduced. This adds to a more sharp focus of the radiation flux.

In one more embodiment of the invention, the optical memory can be equipped with a bidirectional hydraulic drive wherein a cylindrical information carrier 38 (FIG. 4) is provided with two impermeable radial partitions 39 installed in the butt ends of a transparent tubular base 40, the recording coating 12 being applied onto the internal surface 11 thereof.

In all other respects the design of the optical memory as shown in FIG. 4 is analogous to that of FIG. 3. In this embodiment the reliability of recording is still more improved because the recording coating 12 is not exposed to the immersion fluid 33. Moreover, a dirt layer which may occur on the external surface 10 of the tubular transparent base 40 is outside the focus of the lens 5 and has no practical effect on the operation of the optical memory according to the invention.

To summarize, an optical memory described herein above and its embodiments can ensure more sharp focus of the information-carrying radiation flux and a substantial respective rise in the recording density. In addition it makes recording more reliable.

We claim:

1. An optical storage device comprising a source (1) of modulated coherent radiation, which is optically connected with a cylindrical information carrier (2, 23, 30, 38) equipped with a rotational drive and a recording coating applied on a tubular base (9, 36) of the cylindrical carrier (2, 23, 30, 38), characterized in that the cylindrical carrier (2, 23, 30, 38) is disposed in a stationary cylindrical container (3) provided window (4) in the lateral wall thereof and a lens (5) secured in said window (4) to let through the radiation flux from the source (1) of modulated coherent radiation, the inner space of the cylindrical container (3) being filled with a liquid or gaseous medium transparent for the radiation flux and permits movement of said cylindrical carrier within said cylindrical container, the length of the stationary cylindrical container (3) being twice as long as that of the recording coating (12) applied on the tubular base (9, 36) of the cylindrical information carrier (2, 23, 30, 38) equipped with a drive for axial motion.

2. An optical storage device as claimed in claim 1, characterized in that, in order to fill the stationary cylindrical container (3) with a gaseous medium, the drive for axial motion of

the cylindrical information carrier (23) is an electrical linear drive having a stationary part (27) disposed on the lateral surface of the stationary cylindrical container (3), while a movable part (26) there of is disposed on at least one of the butt ends of the cylindrical information carrier (23).

3. An optical storage device as claimed in claim 1, characterized in that, in order to fill the stationary cylindrical container (3) with a liquid medium, the drive for axial motion of said cylindrical information carrier (30, 38) is a bidirectional hydraulic drive having as its piston the cylindrical information carrier (30, 38), as its cylinder the stationary cylindrical container (3), and as its working fluid the liquid medium.

4. An optical storage device as claimed in claim 3, characterized in that the liquid medium is a low-viscosity immersion fluid (33).

5. An optical storage device as claimed in claim 3, characterized in that at least one impermeable radial partition (14,24, 25, 37) is installed in the internal space of the cylindrical information carrier (2, 23, 30, 38).

6. An optical storage device as claimed in claim 5, characterized in that a protective coating (13) is applied on the recording coating (12) on the tubular base (9, 40) of the cylindrical information carrier (2, 23, 30, 36).

References Cited

U.S. PATENT DOCUMENTS

3,373,414	3/1968	Carter	346/138X
3,925,607	12/1975	Hauber	346/138X
4,074,282	2/1978	Balas, Jr. et al	346/76 L X
4,233,612	11/1980	Hirayama et al	346/160
4,297,713	10/1981	Ichikawa et al	346/160X
4,351,005	9/1982	Imai et al	358/300X
4,528,580	7/1985	Inoue et al	346/160
4,564,850	1/1986	Kazuham	346/76 L X
4,693,548	9/1987	Tsunoi	346/160X
4,717,925	1/1988	Shibata et al	346/160X

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

0051339	5/1982	European Pat. Off.	369/111X
3203599	8/1982	Fed. Rep. of Germany	369/111X
2222718	10/1981	France	369/111X
1580398	12/1980	United Kingdom	369/100X

Optical information carrier, method for erasing information therein, and optical storage device realizing this method

V. V. Petrov, N. V. Gorshkov, A. A. Antonov,
A. A. Kryuchyn, A. P. Tokar, D. A. Grinko, T. I. Sergienko,
G. J. Judin, E. E. Antonov, V. I. Popovich

United States Paten 4,864,555 Int. Cl. G11B 7/00; G01D 15/10; H04N 1/21,
Assignee: Institut Problem Modelirovania v energetiki AN Ukr. SSR, Kiev,
U.S.S.R. Date of Patent: Sep. 5, 1989.

An optical information carrier includes a cylinder (1) with a recording layer (2) and bushings (3,4) located at butt ends of the hollow cylinder (1) and insulating the recording layer (2) from the environment. A method for erasing information recorded on the optical carrier uses a high-frequency electrical discharge is produced inside the air-tight closed space (5) of the hollow cylinder (1). An optical storage device realizing the method includes an erasing unit (11) having a circuit for initiating a high-frequency discharge, which has electrodes (12,13) between which the optical carrier (10) is located so that the high-frequency discharge is initiated inside the closed air-tight space (5).

SUMMARY OF THE INVENTION

The invention is to provide an optical information carrier, a method of erasing information therein, and an optical memory realizing this method, which offer the advantage of multiple repeated recordings of information on the same optical carrier after each erasure of information therefrom.

The above objectives are achieved by an optical information carrier comprising a hollow cylinder, a recording layer interconnected with the hollow cylinder and intended for recording information thereon, and two bushings disposed each in the butt end of the hollow cylinder to form a closed space in said cylinder. According to the invention, the closed space is air-tight and the recording layer disposed inside the sealed internal space is insulated from the environment. It is advisable that the air-tight space be filled with a gas inert to the materials of the recording layer and the hollow cylinder.

The optical information carrier may comprise a second hollow cylinder disposed coaxially inside the first hollow cylinder and provided with a recording medium located on the external surface thereof, which faces the recording layer of the first cylinder, while bushings may be made ring-shaped and form an air-tight closed space between the cylinders.

The objects of the invention are also achieved by that in a method of erasing information recorded on an optical information carrier, consisting in that the optical information carrier is exposed to an external irradiation erasing recorded information. According to the invention, the external irradiation is an electrical field ensuring a high frequency discharge within the air-tight closed space of the optical information carrier. It is desirable that the optical information carrier be capable of rotating about its axis. High-frequency discharge is initiated only inside the air-tight closed space thereof.

It is advisable that each electrode of the high-frequency discharge initiating circuit be arranged so that a part of a surface is formed coaxial with the cylindrical optical carrier.

It is also advisable that one electrode of the high-frequency discharge initiating circuit be

located inside the air-tight closed space of the hollow cylinder, while other electrodes are arranged outside this hollow cylinder.

In case the optical information carrier is provided with two coaxial hollow cylinders with an air-tight closed space located between said cylinders, the optical memory should advisably have one electrode of the high-frequency discharge initiating circuit located inside the space of the second hollow cylinder, while other electrodes may be located outside the first hollow cylinder. The optical information carrier disclosed herein can be used many times since its design and the method for erasing information, combined with a device of erasing information, ensure that a high-quality recording layer is each time regenerated on the surface thereof.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

The invention will now be described in greater detail with reference to specific embodiments and to the accompanying drawings, wherein:

Fig. 1 illustrates an optical information carrier, according to the invention;

Fig. 2 illustrates an optical memory equipped with a cylindrical optical information carrier, according to the invention;

Fig. 3 illustrates an optical memory equipped with coaxially arranged electrodes, according to the invention;

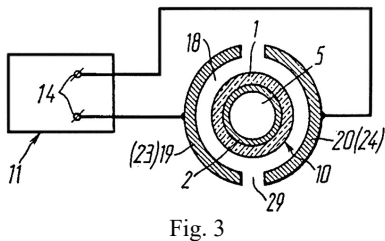


Fig. 3

Fig. 4 illustrates an optical memory featuring an electrode located inside the space of the optical information carrier, according to the invention; and

Fig. 5 illustrates one more embodiment of an optical memory, according to the invention;

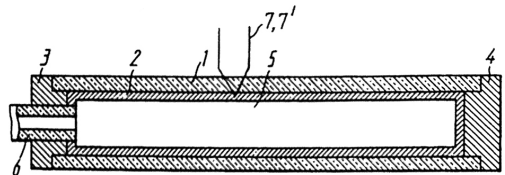


Fig. 1

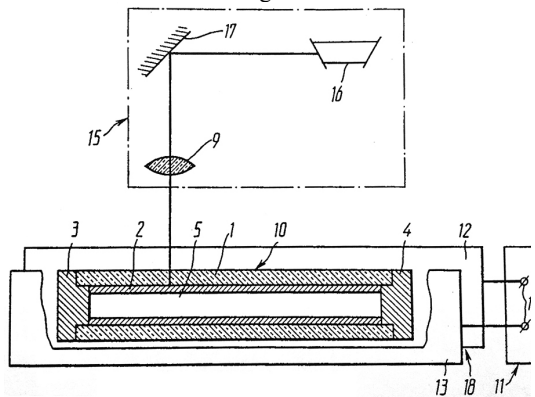


Fig. 2

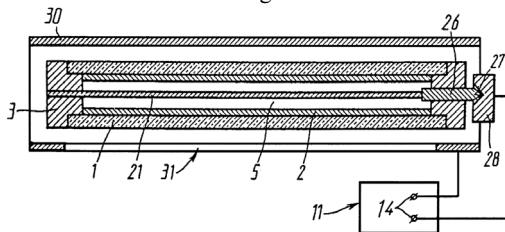


Fig. 4

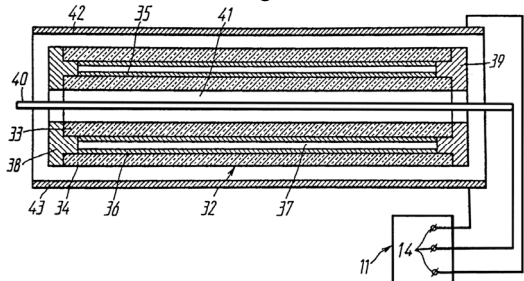


Fig. 5

DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENT

An optical information carrier comprises a hollow cylinder 1 (FIG. 1) made of, for example glass or some other material transparent to laser radiation. A recording layer 2 is applied on the internal surface of the hollow cylinder 1, this layer 2 being a 50-200 nm thick film.

The recording layer 2 is made by a known method and the material of the layer 2 is Te, In, Ag, Au, Tl, Ge, or Cd or combinations of alloys of Te, Bi, Cd, Tl with S, Se or Sb.

Bushings 3 and 4 are placed in the butt ends of the hollow cylinder 1 to form a closed air-tight space 5, the layer 2 being disposed inside said space 5 and is thus insulated from the environment.

A pipe 6 is provided in the bushing 3 to evacuate air from the space 5.

The air-tight space 5 is filled with a gas, e.g. argon or nitrogen, which is inert in relation to the material of the layer 2 and the cylinder 1. The pressure of gas inside the cylinder 1 can be 0,001-1,0 mm Hg or 0,1-100 Pa and it is achieved by the evacuation through the pipe 6.

Both the external and internal pressures are surplus pressure in relation to the carrier. This is the reason the carrier is made as a cylinder because with minimal wall thickness such carrier can better withstand excess pressure from any direction. In this way the carrier is made substantially stronger mechanically.

The optical information carrier operates as follows.

During recordings, a focused beam 7 is directed to the recording layer 2 of the optical information carrier, said beam 7 having its intensity or the spot shape or area modulated by any known method by the signal to be recorded.

The optical information carrier is capable of rotating about its geometrical axis 8 by any known drive, e.g. an electrical drive (not shown).

The laser beam 7 makes respective changes in the relief of the surface of the recording layer 2 to record information. In this case, all other conditions being equal, the power of the laser beam required for recording is inversely proportional to the amount of surface energy of the material of the thin film of the recording layer 2. In other words, the less the material of the recording layer 2 wets the walls of the cylinder 1, the less laser power is needed.

During readout, unmodulated laser beam T whose intensity is much less than during recording is applied to the recording layer 2 of the optical information carrier rotating about its axis 8. The laser beam $7'$ is focused by an objective lens 9 and, when reflected from the recording layer 2, is modulated by the recording contained therein. A photodetector (not shown) converts the information contained in the reflected laser beam into electrical signals. An optical memory, according to the invention, includes a hollow optical carrier 10 (FIG. 2) and an erasing unit 11 provided with a circuit initiating a high-frequency discharge, which is a high-frequency generator of any known type equipped with electrodes 12 and 13 electrically connected to generator terminals 14.

The optical information carrier 10 is placed between the electrodes 12 and 13 so that a high-frequency discharge can be initiated in the space 5 thereof.

An information recording and reading unit 15 comprises a laser 16, a mirror 17 and an objective lens 9 optically connected to the laser 16. The unit 15 transmits a radiation flux to the carrier 10.

This optical memory can erase information recorded on the optical information carrier 1. To this end, the carrier 1 is placed into an electrical field produced between the electrodes 12 and 13 by the high-frequency generator. A high-frequency discharge is produced in the space 5 of the carrier 10. The surface of the recording layer 2 is levelled or smoothed over by ionic dispersion and reverse diffusion of dispersed atoms of the material of the recording

layer 2 on the walls of the air-tight space 5 and, also, by the heating of the recording layer 2 by bombardment by charged particles. This means that information contained in the layer 2 is erased without serious destruction or even elimination of the layer 2 itself. As the optical carrier 10 rotates about its axis 8, the entire recording layer 2 is levelled off on the cylinder 1.

The electrodes 12 and 13 are made as plates. The space 5 of the optical carrier 10 is completely enveloped by these electrodes 12 and 13. This arrangement makes it possible to erase information from the entire carrier 10. This construction of the memory is extremely compact. The axis 8 of rotation of the optical carrier 10 is arranged parallel to the electrodes 12 and 13. However, the optical carrier 10 may be arranged so that its axis 8 is inclined. The electrodes 12 and 13 are arranged either parallel or at an angle to each other and in relation to the optical carrier 10 which, in this case, is placed between the electrodes 12 and 13 so that the recording layer 2 is in a electrode gap 18. The electrodes 12 and 13 should for this purpose be longer than the layer 2.

It is convenient and efficient to make electrodes 19 and 20 (FIG. 3) as two half-cylinders having the same radius which exceeds the external radius of the optical carrier 10. The electrodes 19 and 20 are arranged so that a surface is formed coaxial to the carrier 10.

The number of electrodes enveloping the optical information carrier 10 may be more than two and depends on the desired shape of the electrical field.

Referring to FIG. 4, another embodiment of the optical memory according to the invention features a different arrangement of electrodes. Here, an electrode 21 is placed inside an air-tight space 22, while two other electrodes 23 and 24 are placed outside an optical carrier 25 as illustrated in FIG. 3. The electrode 21 is equipped with an electrical terminal 26 with a needle 27 contacting a support 28 and, therefore, connected to the unit 11.

A slot 29 between the electrodes 19 and 20 runs parallel to the axis 8 of rotation of the optical carrier 10. The radiation flux from the laser 16 (FIG. 2) is supplied through this slot 29 to the recording layer 2. In FIG. 4 the flux of the laser 16 is supplied to the optical carrier 25 between the electrodes 19 and 20. But, it should be noted that the optical memory of FIG. 4 is provided with two electrodes 21 and 30, the latter being enveloped by the carrier 25. For the radiation flux of the laser 16 to hit the recording layer 2 a slot 31 is provided in the electrode 30.

In one more embodiment of an optical memory, a cylindrical optical information carrier 32 comprises two hollow coaxial cylinders 33 and 34. A recording layer 35 is available on the external surface of the internal cylinder 33, while a recording layer 36 is available on the internal surface of the cylinder 34 and faces the layer 35. A space 37 between the cylinders 33 and 34 is made air-tight by bushings 38 and 39 and is filled by a gas inert in relation to the material of the carrier 32 and layers 35 and 36.

One electrode 40 is placed inside a space 41 of the internal cylinder 33, while other electrodes 42 and 43 are placed outside the carrier 32. The length of electrodes 19-20, 23-24, 30, and 40-43 (FIGS. 3-5) exceeds the length of the recording layer 2 or layers 35-36.

The optical memory operates as follows. During recording, the beam of the laser 16 is focused and modulated by the signal to be recorded and supplied to the optical information carrier 1 (FIGS. 1, 2). Craters are produced in the recording layer 2 of the optical carrier 1 rotating about its axis 8. These craters are produced by ejection of the material of the recording layer 2 from the irradiated zone with beads around craters. In this manner, portions of the layer 2 change their reflectivity and thus store recorded information.

After the erasure process is over, the recording layer 2 is completely regenerated and the optical carrier is once more ready for recording information.

Devices of FIGS. 3-6 operate similarly both during recording and readout. The electrical field produced by the electrodes 19 (FIG. 3) and 20 is not uniform, but rotation of the optical

carrier 10 in this embodiment of the invention ensures an extremely high quality of erasure.

The regenerated recording layer 2 (FIGS. 1-4) and 35-36 (FIG. 6) is of a very high quality. It makes the optical memory very reliable and increases the number of rewrite cycles to several millions. This means that its service life is, in practical terms, unlimited.

This invention can be used in computers, in video and sound recording devices, information storing and processing systems and, in particular, in external storage devices.

We claim:

A method for erasing information recorded on an optical information carrier comprising the step of exposing optical information carrier (10) to an external action erasing recorded information, said external action being an electrical field ensuring a high-frequency discharge within an air-tight closed space (15) of the optical carrier (10).

A method as claimed in claim 1, characterized in that the optical information carrier (10) rotates about its axis (8).

An optical storage device comprises an optical information carrier (10) with a recording layer (2), an information recording and reading unit (15), and an information erasing unit (11), said erasing unit (11) comprising a circuit for initiating a high-frequency discharge, which is equipped with at least two electrodes, while the optical information carrier (10) has an air-tight closed space (5) filled with gas inert in relation to the material of the recording layer (2) and the hollow cylinder (1) and is disposed between the electrodes so that the high-frequency discharge is initiated within the air-tight space (5) thereof.

An optical storage device as claimed in claim 3, wherein each electrode (19,20) of the high-frequency discharge initiating circuit is arranged so that a part of a surface is formed coaxial to the cylindrical optical information carrier (10).

An optical storage device as claimed in claim 3, wherein one electrode (21) of the high-frequency discharge initiating circuit is located inside the air-tight closed space (22) of the hollow cylinder (1), while other electrodes (23,24) are located outside the hollow cylinder (1).

An optical storage device as claimed in claim 3, wherein the optical information carrier (32) comprises two coaxial hollow cylinders (33,34) with an air-tight closed space (37) between them, one electrode (40) of the high-frequency discharge initiating circuit (3) being located inside the space (41) of the second cylinder (34), while other electrodes (42,43) are located outside the first hollow cylinder (33)

References Cited

U.S. PATENT DOCUMENTS

4,074,282	2/1978	Balas, Jr. et al	346/76L
4,403,318	9/1983	Nagashima et al	369/100
4,443,806	4/1984	Ando	346/76L
4,449,138	5/1984	Ando	346/76L
4,517,574	5/1985	Comet	346/76L
4,519,061	5/1985	Dahneke et al	369/109
4,561,086	5/1983	Geyer	369/100
4,585,933	4/1986	Ando	369/44X
4,616,356	10/1986	Wilkinson et al	369/111
4,710,779	12/1987	Funaki et al	346/76L
4,716,283	12/1987	Ando	369/45X
4,801,950	1/1989	Frehling	346/76L

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

2721334	12/1977	Fed. Rep. of Germany	346/76 L
3203599	12/1982	Fed. Rep. of Germany	369/100 X
2482756	11/1981	France	369/100X
1580398	12/1980	nited Kingdom	369/100X

Оптический запис та його внесок у розвиток обчислювальної техніки та інформатики

В. В. Петров

Виступ на загальних зборах НАН України 18 листопада 1988 року.

Вісник АН УРСР. 1989. № 3. С. 65–67.

У комплексі значних народногосподарських і соціальних проблем, які визначають темпи перебудови, інформатизація суспільства посідає одне з найважливіших місць. У своєму виступі академік АН УРСР В. І. Скурихін повідомив про те, що близька до завершення розробка концепції інформатизації країни, яка визначить основні цілі і завдання в цій справі на тривалий період.

Необхідно підкреслити, що особливістю підходу до розв'язання проблеми інформатизації в нашій країні є те, що теоретичні розробки у галузі обчислювальної техніки та інформатики перебувають, як правило, на високому рівні, а технічний рівень елементної бази, спеціального матеріалознавства, а отже, і засобів обчислювальної техніки, відносно низький. Тому розв'язання поставлених завдань неможливе без широкої участі вчених відділень фізико-технічних проблем матеріалознавства, фізики і астрономії, хімії та хімічної технології АН УРСР. Тим паче, що в цьому напрямі існує значний науковий доробок. Тому Відділення інформатики, обчислювальної техніки і автоматизації АН УРСР готує сформуванню спеціальну програму по створенню нових матеріалів для інформатики з участю цих відділень.

Учені АН УРСР вносять істотний вклад у розвиток інформатизації країни, особливо в галузі створення систем по обробці потужних інформаційних потоків. Зокрема, розробляються ЕОМ макроконвейерного типу, АСУ різного призначення, банки даних, програмні мови високого рівня, системи автоматизації проектування, запам'ятовуючі пристрої великої ємності, пакети прикладних програм для обробки великих потоків інформації тощо. Інститути АН УРСР, особливо Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова, посідають провідне місце у країні з ряду найважливіших напрямів обчислювальної техніки. Фронт робіт по інформатизації країни надзвичайно великий. Спинюся тільки на деяких проблемах.

Через кілька років у нашій республіці будуть діяти мільйони персональних ЕОМ, у тисячі разів зросте потужність інформаційних потоків. Практично вся наукова, технічна, економічна, комерційна та інша інформація стане комп'ютерною. Якщо не забезпечити ЕОМ високоякісною інформацією (актуальною, повною і надійною), то ефект від багатомільярдних затрат на цю справу буде мізерним.

Актуальність інформації багато в чому визначається оперативністю її одержання. Особливо важливим цей фактор стане в умовах формування ефективного ринкового господарства. Нині у країні засобів для оперативної передачі комп'ютерної інформації практично немає. Створити потужну систему телекомунікацій важко, а час минає. Однак існує реальна можливість швидкого поширення інформації в масштабах усього Радянського Союзу – це передача її по загальносоюзних та республіканських телевізійних каналах.

Пропускна здатність телевізійного каналу дуже висока. Відводячи для трансляції лише одну хвилину в день, можна передати безпосередньо в пам'ять персональних ЕОМ з відповідним розподілом по сотнях рубрик реферати всіх світових публікацій

в галузі науки, техніки, культури, ділову комерційну і будь-яку іншу інформацію і, отже, радикально вирішити питання про поширення інформації в країні. Головний момент тут полягає в тому, що людина використовує на багато порядків більше інформації, ніж видає. В світі вже нагромаджено чималий досвід передачі інформації по локальних телевізійних мережах. Та особливо ефективним це може виявитися у масштабах нашої величезної країни. Дещо спинюся на повноті інформації, яка зберігається. Щоб забезпечити досить повне її зберігання, необхідно, по-перше, мати центри комп'ютерної інформації, здатні вмістити в себе практично всі знання, нагромаджені людством (а це 10^{14} – 10^{15} біт); по-друге, дати можливість кожному користувачеві зберігати потрібну йому інформацію в пам'яті своєї персональної ЕОМ. Обсяг такої особистої бібліотеки може становити тисячі томів інформації, а це 10^{10} – 10^{11} біт. Обидві умови диктують необхідність різкого зниження вартості зберігання інформації, що на практиці можна реалізувати тільки з допомогою оптичних методів її реєстрації.

Такі методи запропоновані і розробляються в Інституті проблем реєстрації інформації АН УРСР. Тут створено перший вітчизняний накопичувач інформації на оптичних дисках ємністю 2500 Мегабайт, який почав випускати Кам'янець-Подільський завод «Електроприлад». За кордоном налагоджено виготовлення ряду аналогічних накопичувачів. Однак вартість і нашої і закордонної техніки такого типу ще висока.

Оптичні методи реєстрації інформації вже продемонстрували свою високу ефективність, тепер завдання полягає у зменшенні вартості пристроїв.

На сьогоднішніх Загальних зборах я можу доповісти про розробку принципово нового малогабаритного накопичувача інформації на оптичних циліндрах для персональних ЕОМ, що багато в чому сприятиме розв'язанню проблеми різкого зниження вартості зберігання інформації. Ми вперше в світі запропонували і реалізували в цьому пристрої принцип імерсійного оптичного запису інформації. Для його практичної реалізації організована кооперація більш як 30 інститутів, організацій і підприємств (у тому числі інститутів кібернетики, надтвердих матеріалів, гідромеханіки і органічної хімії АН УРСР).

Пристрій за розміром не більший від звичайної книги середнього формату, але його змінний носій інформації має ємність 200 Мбайт (близько ста томів друкованої інформації по 500 сторінок). До того ж технологічність його дуже висока. Одна технологічна лінія по виробництву основної деталі носія інформації – оптичного циліндра забезпечує 1 млрд виробів на рік, які можуть замінити 200 млн тонн паперу, а це в 30 разів перевищує річний обсяг його випуску в нашій країні. Завершується конструкторська розробка пристрою, йде підготовка до його виробництва на одному з промислових підприємств. Серійний випуск такої техніки і носіїв інформації до неї планується на 1990 р. Накопичувачі можна буде експортувати, оскільки основні технічні вирішення захищені у 24 провідних країнах світу.

Тепер про надійність зберігання інформації. Сьогодні найпоширенішим методом її реєстрації є магнітний запис, який не забезпечує надійного і тривалого зберігання. Так, на жаль, назавжди втрачена телеметрична інформація про перші космічні польоти, записана на магнітні стрічки. Впровадження оптичного запису сприятиме значному підвищенню надійності збереження інформації, оскільки оптичні реєструючі матеріали нечутливі до електромагнітного та іонізуючого випромінювань, мають високу термодинамічну стійкість. За нашими оцінками, носій інформації у вигляді герметичного оптичного циліндра може забезпечити надійне зберігання інформації протягом більш як ста років. На закінчення хочу висловити дві пропозиції, спрямовані на прискорення процесу інформатизації.

По-перше, було б доцільно звернутися до Ради Міністрів СРСР з пропозицією про прирівнювання виробництва масових засобів інформатизації до виробництва товарів народного споживання. Нині вони через високу вартість в основному не доступні для особистого використання. У разі вирішення цього питання можна буде для виробництва засобів інформатизації скористатися вивільненими виробничими потужностями оборонних галузей промисловості, швидко розгорнути масове виробництво такої техніки, істотно знизити ціну і, значить, невдовзі зробити її доступною для широкого користування.

По-друге, необхідно створити Центр комп'ютерної інформації Академії наук УРСР, який мав би банки даних з усіх основних розділів науки, техніки, літератури, мистецтва, економічної і комерційної інформації та забезпечував би широкий обмін комп'ютерною інформацією з провідними вітчизняними і зарубіжними інформаційними центрами. Науковий і технічний доробок у галузі створення високопродуктивних систем обробки інформації, запам'ятовуючих пристроїв великої ємності, програмного забезпечення, необхідний для вирішення такого важливого завдання, в нашій Академії існує. Є конкретна пропозиція побудувати центр на площі Держинського поряд з Інститутом технічної інформації і новою бібліотекою АН УРСР, які разом з ним можуть стати єдиним сучасним інформаційним комплексом.

Центр комп'ютерної інформації може і повинен бути створений якнайшвидше, щоб вирішення такого важливого питання, як зберігання і поширення комп'ютерної інформації, було організоване ефективно, а не пущене на самоплив.

Optical Immersion Recording of Computer Data

V. V. Petrov, S. M. Shanoilo

Experimentelle Technik der Physik. Kiev. 1990. 38, 5/6. P. 487-490.

The authors suggest a way of increasing the storage density based on the use of the optical immersion. It is shown that in case of the information optical immersion recording the most acceptable type of the carrier is the carrier in the shape of an optical tube with the information recorded on its inner surface. The effect of the carrier substrate parameters and the moving immersion liquid onto the aberrations in the optical recording procedure are examined. The results of the experiments on the information immersion recording on the carrier in the shape of an optical cylinder are presented.

It is shown that the application of immersion makes it possible to increase the storage density 2... 5 times as compared with the recording in the "dry" system with a considerable reduction of requirements for the variable thickness of the substrate.

It is pointed out that in the case of implementation of the proposed recording principle the use of the immersion liquid makes it possible along with the increase of the recording density to considerably simplify the design of the information recording system as a whole and to reduce the physical volume of the carrier.

1. INTRODUCTION

In the recent years, after two decades of intensive scientific and laboratory researches, the information optical recording has become a practical reality. It is implemented and used in dozens of developed optical disk drives. The information recording density of $5 \cdot 10^5$ bit/mm² has been achieved in practice. The tremendous progress in this field has spurred the research work in the development and creation of a small-size spherical and aspherical microoptics, has a stimulating influence on the wide-scale development of investigations in physics and technology of semiconductor lasers and optical recording materials, researches in the field of fast processing of the optical signals.

Now many physical principles and technical solutions have been developed. But the necessity of further reduction of the carrier overall dimensions with the preservation of its great informational capacity causes us to look for new ways of increasing the information recording density.

The carried out analysis of physical and technical problems of increasing the optical recording density such as the use of the threshold properties of the recording medium, apodization of the input aperture of focusing objective, decrease of the radiation source (laser) wave length, increase of the focusing objective numerical aperture has shown that the most effective way of increasing the optical recording density is the application of the optical immersion which increases 1.5...2.7 times the focusing objective numerical aperture.

The general theory of the optical immersion systems design has been already developed. The distinguishing feature of the computer data recording systems is that the information recording is performed on a movable carrier. Therefore the optical immersion liquid is also a movable one and is subjected to considerable accelerations, heating due to the viscous friction forces. In this case the immersion liquid should remain optically homogeneous and not introduce distortions into the optical system.

It is obvious that the immersion liquid moving at a high speed will be optically homogeneous if laminar regime of its flow has been ensured.

The analysis of factors affecting the immersion liquid, the results of investigation of liquid flow regime in the space between the carrier and the focusing objective has shown that the application of immersion does not impose constraints on the carrier shape. The carrier may be made as a flat one, in the shape of an optical card or optical disk, as well as a three-dimensional one, in the shape of an optical cylinder. However the most acceptable shape of the carrier in case of the optical immersion recording is the carrier in the shape of optical tube, the information being recorded onto its inner surface [1]. The flow instability condition for the liquid flowing between two coaxial cylinders with the rotating inner cylinder and the external one being immovable in the immersion unit with the cylindrical carrier will be determined by the Taylor number

$$Ta = \frac{Vd}{\nu} \sqrt{\frac{d}{R}}, \quad (1)$$

where d is the gap width between the cylinders (thickness of the immersion liquid layer), R and V are radius and circumferential speed of rotation of the cylindrical information-carrier, ν is the kinetic viscosity of the liquid.

At $Ta < 41.3$ the immersion liquid flow in the gap will be steady, laminar. The flow of the moving immersion liquid will be optically homogeneous and will not introduce any distortions into the optical system.

In the case of information immersion recording, like in the “dry” system, special attention should be paid to the variable thickness of the information-carrier substrate, to its influence on the optical system quality. Since the carrier substrate is rather thick (>0.4 mm) and is set in the radiation beam converging at a large angle, the deviation of the substrate thickness from the nominal value will introduce a spherical aberration into the system. The spherical aberration value is determined by the equation:

$$S'_{sph} = h_0 \Delta d \left(\frac{1}{n_2} - \frac{\tan \alpha_2}{n_1 \tan \alpha_1} \right), \quad (2)$$

where n_0, n_1, n_2 are the indices of refraction of the last objective lens, immersion liquid, and substrate material, respectively, Δd is the value of substrate thickness deviation from the nominal value, $\alpha_1 = \arcsin A/n_1$ and $\alpha_2 = \arcsin A/n_2$ – are the aperture angles in the immersion liquid and the carrier substrate, A is the numerical aperture of the focusing objective.

Having made use of the Rayleigh number, according to which the radiation intensity in the diffraction focus may be considered close to the theoretical one if the wave front in the exit pupil is at a distance from the Gauss reference sphere less than one quarter of the wave length, and having solved (2) relative to Δd we will obtain the allowable deviations Δd of the substrate thickness of the carrier from the nominal value. The dependences of allowable deviation of the substrate thickness from the numerical aperture of the focusing objective for the “dry” and immersion systems are shown in Fig. 1.

The immersion recording of information on the carrier in the shape of an optical cylinder 14.2 mm in diameter and 0.6 mm wall thickness has been carried out on an experimental device the optical scheme of which is illustrated in Fig. 2.

The immersion recording of points having up to 0.5 μm in diameter and 0.92 μm spacing between the track axes has been carried out by a semiconductor laser with $\lambda = 0.82$ μm wavelength using focusing objectives with 0.75 and 1 numerical aperture at a recording rate

of 750 Kbit/s and laser beam power of 6 mW on the recording medium surface.

Fig. 1. Allowable deviation of substrate thickness Δd vs numerical aperture of focusing objective for “dry” and immersion systems

--- “dry” system,

o – $n_2 = 1.55, n_1 - n_2 = 0.15$;

Δ – $n_2 = 1.65, n_1 - n_2 = 0.15$;

□ – $n_2 = 1.75, n_1 - n_2 = 0.15$

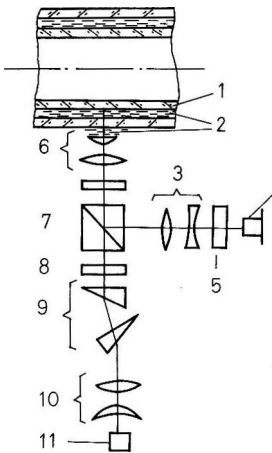
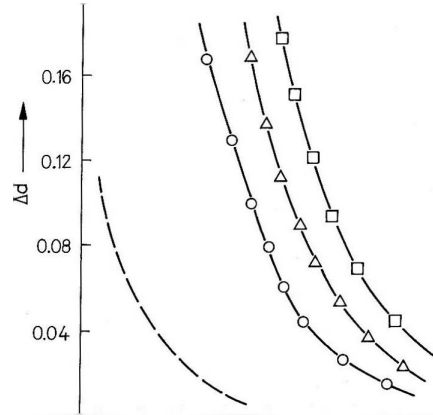


Fig. 2. Optical system of experimental apparatus for information immersion recording on a cylindrical carrier: 1 – carrier, 2 – immersion liquid, 3 – ocular, 4 – photodetector, 5 – cylindrical lens, 6 – objective, 7 – beam splitter, 8 – grating, 9 – prisms, 10 – collimator, 11 – laser

Our investigations indicated that at the same allowable values of the substrate variable thickness in information immersion recording a focusing objective with the numerical aperture of 1.5...2.2 times greater than in the “dry” system may be used which makes it possible to increase the storage density 2...5 times.

Электромеханические узлы ОМЗУ

В. В. Петров, А. А. Крючин, А. П. Токарь,
С. М. Шанойло, В. Я. Сандул

В кн.: Оптико-механические запоминающие устройства. Гл. 5.
Киев : Наукова думка, 1992.

В течение всего периода развития вычислительной техники основные усилия в области запоминающих устройств направлены на решение задачи увеличения емкости и быстродействия ЗУ при одновременном уменьшении стоимости, физического объема и обеспечения надежности, по крайней мере, на уровне надежности операционных устройств ЭВМ. Дальнейшее увеличение емкости ВЗУ путем применения десятков и сотен однодисковых оптико-механических запоминающих устройств (ОМЗУ) для создания банков данных емкостью 10^{13} – 10^{15} бит не представляется целесообразным, так как может привести к значительному снижению надежности работы всей системы. Следовательно, необходимо искать пути создания накопителей, использующих большое количество носителей информации. По сравнению с техникой магнитной записи оптическая техника предоставляет дополнительные возможности в создании систем позиционирования – строить изображения точечных источников, расположенных в некотором объеме. На основе этого свойства создаются различные многоканальные оптические тракты, схемы со сканированием лазерного пучка без перемещения фокусирующего объектива, схемы оптической компенсации погрешностей движения носителя. Возможность передачи сигналов по оптическому лучу позволяет исключить вращающиеся контактные устройства. Нечувствительность многих регистрирующих сред к магнитным полям способствует применению оригинальной компоновки приводных электродвигателей. Указанные особенности и, главным образом, на порядок большая поперечная плотность размещения информации на оптических носителях создают предпосылки для миниатюризации ЗУ. Под миниатюризацией понимается как уменьшение размеров непосредственно запоминающих элементов, так и создание конструкций ЗУ с минимальной протяженностью связей.

5.2.1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ УЗЛОВ ОМЗУ

В связи с высокой плотностью записи информации оптико-механические узлы ОМЗУ не должны обладать высокой погрешностью, а в связи с малым временем перехода с дорожки на дорожку (среднее время перехода около 30 мс) одновременно должны обладать высоким быстродействием. Жесткие требования к точности и быстродействию основных систем ОМЗУ приводят к необходимости создания исполнительных узлов, обеспечивающих максимальную точность работы системы.

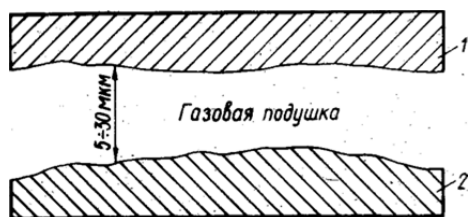


Рис. 5.1. Схема перемещения деталей на газовой смазке

Анализ различных принципов реализации высокоточных быстродействующих систем показывает, что в настоящее время наивысшая точность работы в механических системах перемещения может быть достигнута с использованием газовой

смазки (рис. 5.1), что позволяет осуществлять перемещения с погрешностью, на порядок более низкой, нежели погрешность изготовления деталей системы. Это возможно благодаря тому, что при перемещении деталей 1 и 2 друг относительно друга по воздушной смазке толщиной в несколько микрометров, движение происходит по некоторой усредненной траектории, отклонение которой от идеальной прямолинейной или круговой траектории может достигать нескольких десятых или даже сотых долей микрометра при точности изготовления деталей, в 10–30 раз меньшей.

Применение газовой смазки приводит также к отсутствию сухого трения и высокой теплопроводности тонкого воздушного слоя между перемещающимися деталями, что подробнее будет рассмотрено при анализе различных узлов ОМЗУ.

5.2.2. ШПИНДЕЛЬ С ПРИВОДОМ ВРАЩЕНИЯ ДИСКА

Реализация в одном устройстве режима записи-считывания информации и режима разметки дисков требует применения шпинделя с биением не более $\pm 0,1$ мкм. Кроме высокой точности для уменьшения времени смены диска система вращения диска должна обладать малой электромеханической постоянной.

В настоящее время в обширной научно-технической и патентной литературе [1–3] рассматриваются теория, технические решения и опыт эксплуатации аэроstaticеских и аэродинамических шпинделей, поэтому в данном разделе мы рассмотрим лишь две основные схемы аэроstaticеских шпинделей [3, 4], имеющих широкое применение (рис. 5.2).

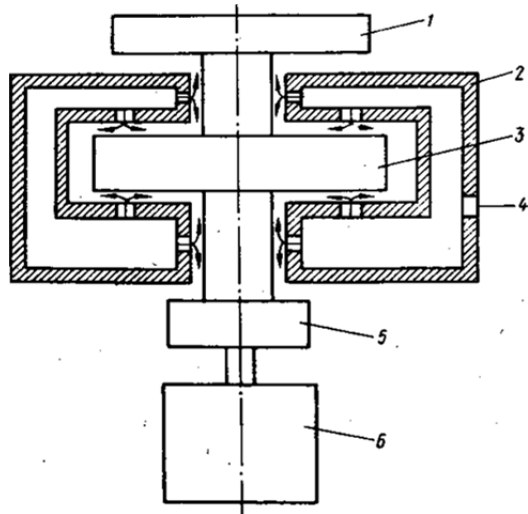


Рис. 5.2. Схема аэроstaticеского шпинделя замкнутого типа: 1 – стол шпинделя; 2 – корпус; 3 – вал; 4 – воздух; 5 – муфта шпинделя; 6 – двигатель

На рис. 5.2 приведена схема аэроstaticеского шпинделя замкнутого типа. Вал его замкнут в осевом и радиальном направлении аэроstaticескими силами, создаваемыми воздушными подушками в области истекания воздуха из жиклеров или канавок. В результате воздействия аэроstaticеских сил, например в радиальном направлении, ось вала устанавливается в геометрическом центре отверстия корпуса, так как аэроstaticеские силы обратно пропорциональны величине зазора жиклеров или канавок того или иного типа. Зазор между валом и корпусом составляет несколько десятков микрометров, и в связи с тем, что величина аэроstaticеской силы резко убывает с увеличением зазора, в результате их взаимодействия ось вала устанавливается в геометрическом центре отверстия корпуса и вал вращается на газовой смазке без сил сухого трения. В осевом направлении в связи с наличием силы тяжести вал устанавливается несимметрично по отношению к корпусу (нижний зазор несколько меньше верхнего).

Схема аэростатического шпинделя такого типа является наиболее распространенной. В некоторых отечественных и ряде зарубежных фирм реализованы аэростатические шпиндели с биением до 0,01 микронметра.

На рис. 5.3 представлена схема аэростатического шпинделя разомкнутого типа, который значительно проще в изготовлении. По такой схеме реализован ряд шпинделей для магнитных дисков, в том числе шпиндель сервоайтера для разметки магнитных дисков американского филиала фирмы "Philips".

Попытки сделать систему более компактной, отказаться от муфт и двигателей, имеющих, как правило, большие вибрации ротора из-за недостаточной балансировки и биения шарикоподшипников, приводят к необходимости устанавливать непосредственно на валы аэростатических шпинделей "беличьи клетки" и турбинки. Однако в данном случае резко возрастают требования к точности изготовления магнитных систем, так как неуравновешенные электромагнитные силы приводят к значительному увеличению радиальных биений оси шпинделя и, в связи с разогревом "беличьей клетки", ухудшается температурный режим шпинделя. Наличие турбинки также приводит к повышению вибрации в связи с турбулентностью движения воздуха в области лопаток.

В ОМЗУ, как и в других системах со сменными дисковыми носителями информации, для дисков должна быть предусмотрена система центрирования.

Принципы создания большинства систем центрирования основаны на механическом контакте двух поверхностей. Для таких систем предельная точность установки составляет несколько микронметров и существенно зависит от условий и времени эксплуатации (рис. 5.4).

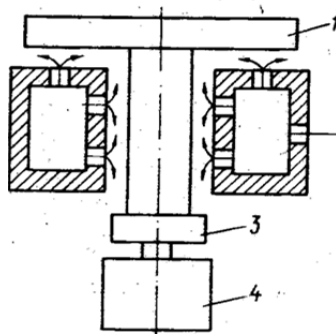


Рис. 5.3. Схема аэростатического шпинделя разомкнутого типа: 1 – стол шпинделя; 2 – воздух; 3 – муфта шпинделя; 4 – двигателя

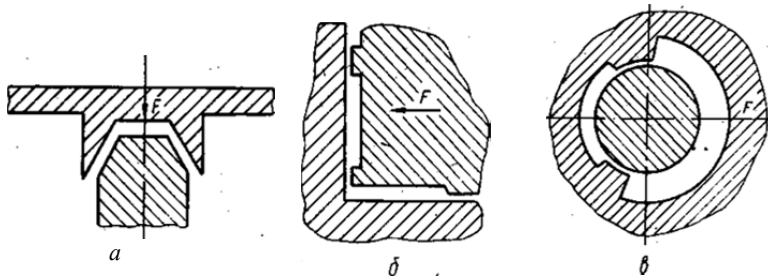


Рис. 5.4. Схема контактной установки: установка на конус (а), на опорную плоскость (б), прижим к валу (в)

На рис. 5.5 представлен вариант аэростатической системы центрирования диска. Диск с цилиндрическим аэростатическим центром под действием аэростатических сил устанавливается относительно своего геометрического центра и фиксируется с помощью сил трения на электромагнитном столе шпинделя. Вращение диска вместе со столом осуществляется с помощью аэростатического шпинделя. В данном случае точность центрирования значительно выше точности центрирования в системах с контактной установкой, однако в связи с неточностью изготовления стола и цилиндри-

ческого аэростатического центра диска возникает опасность несоосной установки центров диска и вала шпинделя, что в результате и будет определять погрешность центрирования.

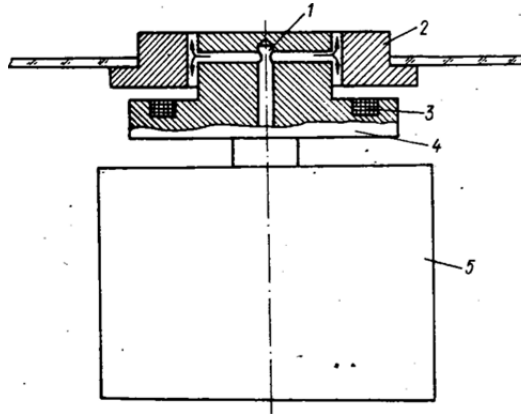
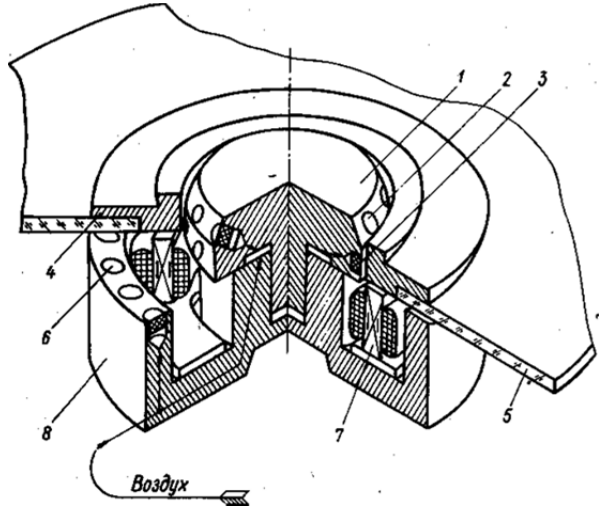


Рис. 5.5. Аэростатическая система центрирования: 1 – воздух; 2 – диск с аэростатическим центром; 3 – электромагнит, 4 – стол шпинделя; 5 – шпиндель аэростатический

Рис. 5.6. Аэростатический шпиндель ОМЗУ: 1 – корпус шпинделя; 2 – торцевой электродвигатель; 3 – центр; 4 – подложка диска; 5 – ротор диска; 6–8 – пористые вставки



Свободной от указанного недостатка является система центровки и вращения диска, предложенная в [4] (рис. 5.6). Основная идея динамического центрирования диска, вращающегося на воздушной подушке, состоит в том, что в случае совпадения суммарного центра тяжести оптического диска 4 и жестко соединенного с ним кольца 5 с геометрическим центром кольца, траектория движения вращающегося диска не будет зависеть от переустановки оптического диска.

При достаточно высокой точности изготовления цилиндрической поверхности центра 3 (некруглость 0,2–0,5 мкм), когда его вкладом в вариацию траектории можно пренебречь, смещение центра тяжести s на величину σ (рис. 5.7) приведет к искажению траектории движения диска; при условии стабилизации давления воздуха и температуры она также не будет зависеть от переустановки.

Оценим допустимое значение эксцентриситета центра тяжести оптического диска и геометрического центра центрирующего кольца при следующих условиях:

- а) масса оптического диска с кольцом – 1,73 кг;
- б) жесткость аэростатической центровки – $1 \cdot 10^7$ Н/м;
- в) скорость вращения – 1260 об/мин.

На рис. 5.8 приведена экспериментально полученная зависимость жесткости системы аэростатического центра от зазора между центром и кольцом. Для зазора 20 мкм жесткость равна $1 \cdot 10^7$ Н/м. Данные приведены для диаметра 92 мм, высоты кольца 12 мм и давления 0,5 МПа.

Определим, каким допускается эксцентриситет σ , чтобы искажение траектории x из-за него не превышало $\pm 0,1$ мкм:

$$F = m \sigma w^2, \quad (5.1)$$

$$x = Fc, \quad (5.2)$$

где F – центробежная сила; m – масса диска; σ – эксцентриситет; w – угловая скорость вращения диска; c – жесткость воздушной подушки. Подставляя в уравнение (5.2) значение для силы в соответствии с уравнением (5.1), получаем

$$x = c m \sigma w^2 \quad (5.3)$$

и, следовательно,

$$\sigma = x/c m w^2, \quad (5.4)$$

Принимая $x = \pm 0,1 \cdot 10^{-6}$ м, запишем

$$\sigma = 0,1 \cdot 10^{-6}/10^{-7} \cdot 1,73 (131,9)^2 = 33,2 \cdot 10^{-6} \text{ (м)}. \quad (5.5)$$

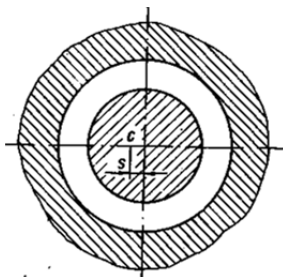


Рис. 5.7. Схема взаимного расположения центра тяжести и геометрического центра

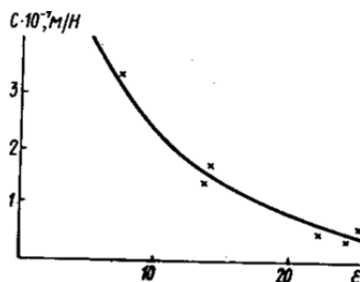


Рис. 5.8. Зависимость жесткости аэростатического центра от зазора между центром и кольцом

Отсюда, величина допустимого эксцентриситета составляет 33,2 микрометра; такая степень балансировки легко осуществляется на балансировочных машинах и на других приборах. Другой важной величиной является резонансная частота диска

$$w_{\text{рез}} = \sqrt{1/mc} = \sqrt{1/(1,73 \cdot 10^{-7})} = 2400 \text{ с}^{-1}, \quad (5.6)$$

которая в данном случае в 18 раз превышает угловую скорость вращения диска. Следовательно, аэростатическая система является устойчивой.

Во время проведения экспериментов на систему центрирования устанавливались диски с эксцентриситетом до 0,5 мм; механического контактирования и колебаний при этом не наблюдалось.

Таким образом, вращение оптического диска с центрирующим кольцом при соблюдении допустимых требований на эксцентриситет приводит к возможности смены и переустановки дисков. В случае неточного изготовления центрирующих колец траектория движения диска определяется формой этого кольца и является собственной характеристикой диска. Траектория диска будет воспроизводиться на различных устройствах.

Полная конструкция аэростатического шпинделя ОМЗУ показана на рис. 5.6.

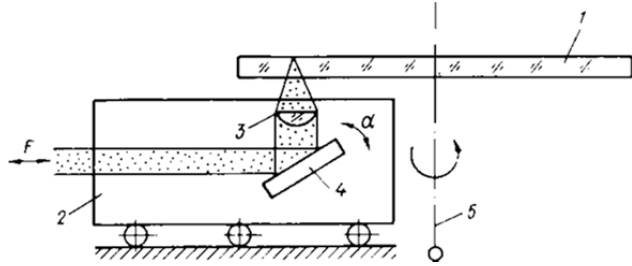
Оптический диск 4 с центрирующим кольцом 5 устанавливается на воздушный центр 3, причем, конической поверхностью (заходный конус) проводится предварительное центрирование, а цилиндрической – окончательное. Воздух в конический и цилиндрический зазоры подается через пористые жиклеры с высокой воздухопроницаемостью.

Для получения высокой точности вращения систему необходимо замкнуть в осевом направлении. Осевое замыкание комбинированное – снизу между внутренним краем стекла шириной 14 мм и корпусом шпинделя 1 образуется воздушная подушка. Воздух подается через пористые жиклеры 6. Такая опора дает возможность диску 3 вращаться без сухого трения. Осевое замыкание осуществляется электромагнитом 2, который является многополюсным, и вместе с центрирующим кольцом 5 образует торцевой асинхронный двигатель, гладким ротором которого является кольцо 5.

5.2.3. ПОЗИЦИОНЕР

Система позиционирования ОМЗУ предназначена для быстрого перемещения фокусирующего объектива на заданную информационную дорожку и слежения за ней.

Рис. 5.9. Оптико-механическая система позиционирования с использованием линейного перемещения и гальванометра для дисковой системы: 1 – оптический диск; 2 – каретка; 3 – фокусирующий объектив; 4 – гальванометр; 5 – ось вращения диска



В большинстве описанных схем оптических ЗУ с побитовой записью информации системы позиционирования и слежения за информационной дорожкой выполняются отдельно, так как основной задачей системы позиционирования является быстрое перемещение фокусирующего объектива на большое расстояние, основной задачей системы слежения за информационной дорожкой – точное слежение (порядка 0,1 мкм) за колебаниями информационной дорожки и обычно реализуется с помощью гальванометра (рис. 5.9). Однако практически оказывается, что для гальванометров с зеркалом 16 мм и более трудно реализовать частоту выше 500 Гц при амплитуде биений более 20–50 мкм. Для объектива с фокусным расстоянием 10 мм это приводит к предельным линейным ускорениям светового пучка в поле зрения объектива

$$a_f = x(2\pi f)^2 = 50 \cdot 10^{-6} \cdot (6,28 \cdot 500)^2 = 500 \text{ м/с}^2, \quad (5.7)$$

где x – амплитуда колебаний луча в поле зрения объектива; f – частота среза гальванометра.

Такое предельное ускорение близко к требуемому ускорению для перемещения позиционера в целом (порядка 200–400 м/с²), что приводит к мысли осуществления слежения за дорожкой непосредственно позиционером. Следовательно, целесообразно создавать одноступенчатую систему позиционирования. Действительно, рассмотрим, каково должно быть ускорение позиционера при перемещении его на расстояние S_{\max} с учетом ограничения скорости перемещения $V = V_{\max}$ и максимального времени перемещения каретки $t = t_{\max}$. С учетом этих ограничений можно показать, что

$$S_{\max} = V_{\max} t - \frac{V_{\max}^2}{a}, \quad (5.8)$$

где t – время перемещения; a – ускорение каретки.

Тогда параметр

$$t = \frac{S_{\max}}{V_{\max}} + \frac{V_{\max}}{a}. \quad (5.9)$$

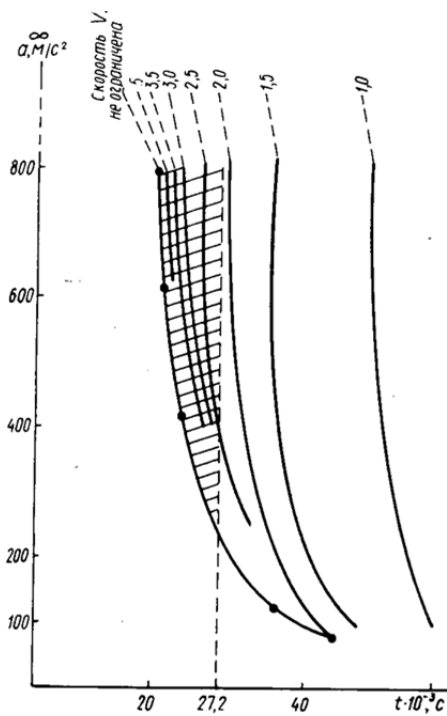


Рис. 5.10. Зависимость времени перемещения позиционера (t) на расстояние 50 мм от ускорения (a) и предельной скорости перемещения позиционера (V)

На рис. 5.10 показана зависимость минимального времени перемещения позиционера от заданных параметров V_{\max} и a (при $S_{\max} = 50$ мм). Типичное максимальное время поиска дорожки в современных накопителях на магнитных дисках составляет 30–40 мс, следовательно, позиционер должен развивать ускорение 200–300 м/с^2 , что сравнимо с быстроедействием гальванометров.

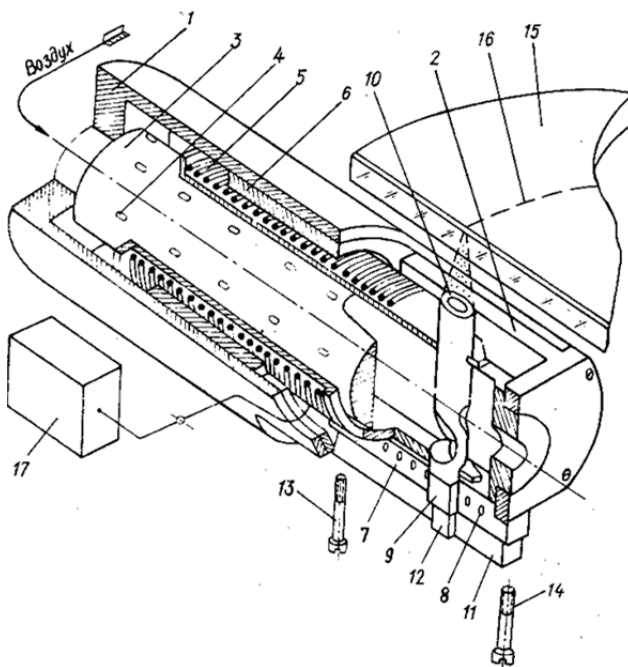
Одноступенчатые системы позиционирования в настоящее время реализованы в большинстве современных накопителей на магнитных дисках, однако наличие значительной силы сухого трения шарикоподшипниковой каретки приводит к низкой степени точности работы системы.

Стремление резко уменьшить силу сухого трения для увеличения точности позиционирования заставляет использовать газовую смазку в узле каретки. Такая система реализована в стенде разметки магнитных дисков фирмы “Philips”, однако эта каретка имеет довольно значительную массу и обладает малым быстроедействием, что допустимо лишь для стендовой аппаратуры [5]. Существенно более высокие требования к точности позиционирования в ОМЗУ по сравнению с накопителями на магнитных дисках и требование более высокого быстроедействия позиционера по сравнению с накопителями на магнитных дисках заставило искать принципиально новые пути решения этой задачи.

Один из вариантов представлен на рис. 5.11. Основная идея системы позиционирования ОМЗУ состоит в том, что kern 3 линейного двигателя одновременно выполняет роль цилиндрической направляющей аэростатической каретки, которой является корпус катушки линейного двигателя. Непосредственно на этом корпусе укреплен фокусирующий объектив 10 с подвижным зеркалом. Такое совмещение линейного двигателя и каретки привело к следующим положительным результатам:

- 1) резко уменьшилась масса подвижных частей;
- 2) значительно упростилась кинематическая схема и увеличилась жесткость каретки;
- 3) заметно улучшилась передача тепла из силовой катушки на kern;
- 4) практически полностью отсутствует сухое трение;
- 5) значительно увеличились резонансные частоты позиционера;
- 6) при использовании одинаковой магнитной системы в 5–10 раз увеличил ось ускорение;
- 7) упростилась технология изготовления позиционера.

Рис. 5.11. Механизм позиционирования: 1 – корпус; 2 – фланец; 3 – керн; 4 – пористый жиклер; 5 – якорь; 6 – обмотка статора (магнит); 7 – направляющая; 8 – пористый жиклер; 9 – стабилизатор; 10 – объектив; 11 – ферромагнитная планка; 12 – магнит; 13, 14 – винт; 15 – диск оптический; 16 – информационная дорожка; 17 – блок питания к управлению



5.2.4. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ФОКУСИРОВКИ

В оптико-механических ЗУ могут быть реализованы два принципиально разных метода автоматической фокусировки лазерного пучка на поверхность регистрирующего материала оптического диска.

Первый метод состоит в перемещении вдоль оптической оси фокусирующего объектива (рис. 5.12, а), который нашел широкое применение в видеопроекторных системах, использующих системы слежения за опорными дорожками оптического диска [6].

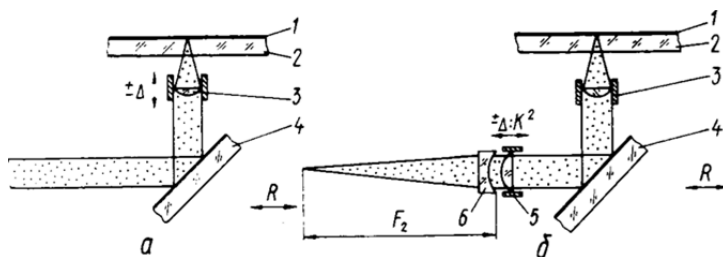


Рис. 5.12. Система автоматической фокусировки: а – автоматическая фокусировка с подвижным объективом: 1 – регистрирующая среда; 2 – оптический диск; 3 – фокусирующий объектив с фокусным расстоянием F_1 ; 4 – поворотное зеркало; б – автоматическая фокусировка с подвижной тубусной линзой: 1 – регистрирующая среда; 2 – оптический диск; 3 – неподвижный фокусирующий объектив с фокусным расстоянием F_1 ; 4 – поворотное зеркало; 5 – подвижная тубусная линза; 6 – неподвижная тубусная линза

Второй метод (рис. 5.12, б) основан на изменении положения фокуса путем перемещения тубусной линзы при жестко укрепленном объективе. В этом случае тубусная

линза должна перемещаться с ускорением в k раз большим, где $k = F_2/F_1$ – увеличение оптической системы. Однако это дает следующие преимущества:

- возможность измерения точного положения фокусирующего объектива с помощью интерферометра;
- возможность реализации малого времени позиционирования в связи с отсутствием подвижных оптических элементов на каретке позиционера;
- отсутствие жестких ограничений на массу исполнительного элемента автофокусировки в связи с его установкой вне каретки позиционера;
- возможность использования вместо электромеханического исполнительного элемента магнитооптических или электрооптических линз с переменным фокусным расстоянием, обладающих значительно большим быстродействием.

Выбор того или иного варианта фокусировки в первую очередь связан, как ни удивительно, с выбором толщины подложки оптического диска. Действительно, с увеличением толщины подложки при сохранении постоянной апертуры объектива практически пропорционально должно увеличиваться фокусное расстояние объектива. С учетом того, что масса линзового объектива возрастает примерно пропорционально кубу фокусного расстояния, изменение толщины подложки в 3 раза приводит почти к 30-кратному увеличению массы объектива, а, следовательно, и к значительному увеличению массы исполнительного элемента автофокусировки. Однако система автофокусировки с подвижной тубусной линзой в связи с ограничениями на величину изменения фокусного расстояния объектива приводит к более жестким требованиям на разнотолщинность и плоскостность подложек оптических дисков.

Реализуемость системы автофокусировки зависит от выбора оптимального значения коэффициента увеличения системы. При $K = 1$ перемещения исполнительных элементов обоих вариантов равны, однако в связи с тем, что исполнительный элемент системы автофокусировки с тубусной линзой находится на неподвижной части, для него нет ограничений на вес исполнительного элемента и, следовательно, могут быть реализованы большие ускорения подвижного элемента. При возрастании коэффициента увеличения возрастают в квадрате требуемые ускорения, пропорционально уменьшается апертура подвижной линзы, следовательно, уменьшаются требования к ее установке и уменьшается ее подвижная масса. В итоге для выбора коэффициента увеличения используем соотношение

$$K = \sqrt{a_{из}/a_{под}}, \quad (5.10)$$

где K – коэффициент увеличения системы автофокусировки; $a_{из}$ – максимальное ускорение исполнительного элемента; $a_{под}$ – максимально-допустимое торцевое ускорение подложки.

С учетом этого требования для ОМЗУ ЕС 5150 был разработан исполнительный элемент автофокусировки со следующими параметрами:

- максимальное ускорение – 200 м/с²;
- масса подвижного элемента – 13 г;
- диапазон перемещения – 3 мм.

Такой исполнительный элемент позволяет выбрать увеличение до 4,5 и осуществить обработку торцевых биений до $\pm 0,15$ мм.

Исполнительный элемент выполнен в виде цилиндра диаметром 50 мм (рис. 5.13), в котором установлены подвижная и неподвижная линзы. Высокая плотность тока и большее предельное ускорение достигаются благодаря высокой теплопроводности воздушной подушки между керном и подвижной катушкой и охлаждению воздухом, поступающим для создания воздушной подушки.

Система автоматической фокусировки с подвижной тубусной линзой является наиболее перспективной для многодисковых систем в связи с тем, что механические вибрации при ее работе не передаются на систему позиционирования и, что особенно важно для ряда вариантов многодисковой массовой памяти, такая система автоматической фокусировки может работать с большим количеством простых оптических головок, содержащих лишь объектив и поворотный элемент.

Известны идеи создания систем автоматической фокусировки с использованием электрооптических линз с переменным фокусным расстоянием [7], однако в связи с малыми величинами электрооптических коэффициентов необходимо использовать управляющие напряжения величиной до десятков киловольт и в связи с различным значением электрооптических коэффициентов по разным осям электрооптических кристаллов сложно устранить асферичность системы. Магнитооптическая система автофокусировки может быть создана при использовании стекол, обладающих магнитооптическим эффектом, однако для получения приемлемых величин перефокусировки необходимо создавать большие индукции и сложные многополюсные магнитные системы, быстрдействие которых ограничено полосой в несколько килогерц в связи с большой индуктивностью магнитных систем.

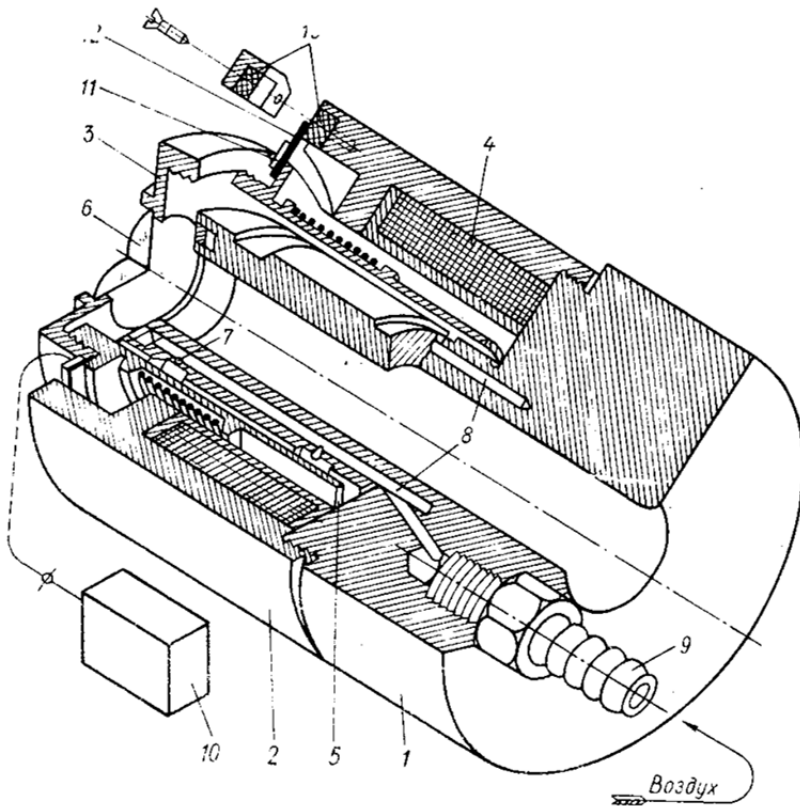


Рис. 5.13. Механизм автофокусировки: 1 – kern; 2 – корпус; 3 – оправа; 4 – обмотка возбуждения; 5 – обмотка управления; 6 – линза; 7 – жиклеры; 8 – воздушные каналы; 9 – штуцер; 10 – блок управления; 11 – плата; 12 – пружина; 13 – изолятор

5.3. ИССЛЕДОВАНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Магнитоэлектрические исполнительные механизмы находят широкое применение в различных устройствах, которые должны обладать высоким быстродействием. Традиционное применение – при создании различной акустической аппаратуры (динамических громкоговорителей, микрофонов, шлейфов для звукозаписи и т.д.), магнитоэлектрических измерительных приборов, а в последние годы - при создании быстродействующих позиционеров магнитных и оптических дисковых накопителей информации, роботов и манипуляторов. Быстродействие исполнительных механизмов в таких системах является важнейшим параметром, определяющим основные характеристики устройства, поэтому поиск путей увеличения быстродействия является основной задачей при их разработке.

Под быстродействием магнитоэлектрической системы будем понимать максимальное ускорение, с которым она может перемещать некоторую суммарную массу, состоящую из массы проводника магнитоэлектрической системы, находящегося непосредственно в магнитном поле, и “присоединенной массы”, включающей в себя массу полезной нагрузки, а также массы всех остальных подвижных элементов конструкции магнитной системы (каркас обмотки, изоляцию, часть катушки, находящейся вне магнитного поля, детали крепежа и т.п.). В результате

$$m = m_k + m_{\text{пр}} \quad (5.11)$$

где m_k – масса проводника магнитоэлектрической системы, находящегося непосредственно в магнитном поле; $m_{\text{пр}}$ – масса всех остальных подвижных элементов, или “присоединенная масса”. Отношение этих масс назовем коэффициентом нагрузки

$$\sigma = m_{\text{пр}} / m_k . \quad (5.12)$$

При $\sigma = 0$ проводник движется в магнитном поле без нагрузки.

В данном разделе рассматривается вопрос о выборе материала проводника для достижения максимального быстродействия магнитоэлектрической системы. Конструктивные особенности системы могут быть учтены выбором соответствующего значения коэффициента нагрузки σ , который для элементарного проводника в магнитном поле равен 0. Рассмотрим влияние физических свойств материала элементарного проводника на ускорение, с которым он может двигаться в магнитном поле.

Известно, что сила, действующая на элементарный проводник с током, находящийся в магнитном поле, равна [8]

$$\Delta F = j B \Delta V, \quad (5.13)$$

где ΔF – сила, действующая на элементарный проводник; j – плотность тока в проводнике; ΔV – объем проводника; B – индукция магнитного поля.

$$\Delta m = \Delta V \gamma, \quad (5.14)$$

где γ – плотность вещества проводника.

С учетом выражений (5.13) и (5.14), ускорение, с которым элементарный проводник движется в магнитном поле, будет равно

$$a = \Delta F / \Delta m = j B \Delta V / (\gamma \Delta V) = j B / \gamma. \quad (5.15)$$

Анализируя выражение (5.15), видим, что ускорение увеличивается с ростом значения магнитной индукции и плотности тока. В связи с тем, что известные в настоя-

щее время лучшие магнитные материалы (ферромагнетики на основе сплавов железа, кобальта и никеля) имеют индукцию насыщения порядка 2 Тл, в реальных магнитоэлектрических системах значение магнитной индукции составляет (0,5–1,5) Тл. Увеличение индукции до нескольких десятков Тесла является очень трудной задачей, и решается она путем использования сверхпроводящих электромагнитов [8] или применения мощных импульсных соленоидов, не содержащих ферромагнетики [9]. Такие поля используются для физических экспериментов при изучении магнитных свойств веществ. Увеличение плотности тока ограничено потребляемой мощностью и в основном определяется удельным электрическим сопротивлением материала проводника. Существенное влияние на ускорение оказывает и удельный вес материала проводника.

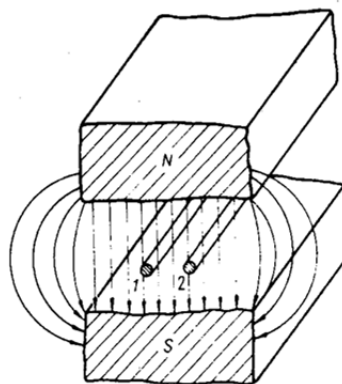


Рис. 5.14. Физическая модель для расчета предельного быстрого действия проводников 1,2 в магнитном поле

Пусть в магнитном поле с индукцией B находятся два одинаковых по размерам проводника 1 и 2, изготовленные из двух различных материалов (рис. 5.14), в которых протекают токи с плотностями j_1 и j_2 ; тогда тепловая мощность, выделяющаяся в каждом из элементарных проводников, будет, соответственно

$$P_1 = j_1^2 \rho_1 \Delta V, \quad (5.16)$$

$$P_2 = j_2^2 \rho_2 \Delta V, \quad (5.17)$$

где P_1 и P_2 – мощности, выделяющиеся в проводниках 1 и 2, а ρ_1 и ρ_2 – соответственно, удельные электрические сопротивления материалов проводников 1 и 2.

Если у элементарных проводников 1 и 2 объем и условия охлаждения одинаковые, то в установившемся режиме температура проводников будет равна только в том случае, если тепловая мощность тоже будет равна. Приравняв выражения (5.16) и (5.17), получим

$$j_1^2 \rho_1 \Delta V = j_2^2 \rho_2 \Delta V, \quad (5.18)$$

$$\text{откуда } j_2 = j_1 \sqrt{\rho_1 / \rho_2}. \quad (5.19)$$

С помощью уравнений (5.15) и (5.19) находим ускорения для проводников 1 и 2:

$$a_1 = j_1 B / \gamma_1, \quad (5.20)$$

$$a_2 = j_2 B / \gamma_2. \quad (5.21)$$

Подставив значение j_2 из уравнения (5.19) в (5.21), получим

$$a_2 = j_1 B \sqrt{\rho_1} / \gamma_2 \sqrt{\rho_2}. \quad (5.22)$$

Разделив уравнение (5.22) на уравнение (5.21), получим

$$D = \gamma_1 \sqrt{\rho_1} / \gamma_2 \sqrt{\rho_2}. \quad (5.23)$$

Коэффициент динамичности D характеризует динамические свойства материала проводника 2 по отношению к некоторому эталонному материалу проводника 1 при прочих равных условиях. Вычисляя этот коэффициент для различных материалов, можно построить “ряд быстрогодействия” для проводников из различных материалов. В выражение для коэффициента D входят два физических параметра материала проводника – плотность и удельное электрическое сопротивление. Плотность чистых элементов, находящихся при нормальной температуре (20 °С) в твердом состоянии, изменяется в 42,2 раза (от лития до осмия), а удельное электрическое сопротивление – более, чем в 10^{23} раз (от серебра до серы). Ни один физический параметр, характеризующий состояние вещества, не изменяется в столь широких пределах. Наименьшим удельным электрическим сопротивлением при нормальной температуре обладают серебро, медь, золото и алюминий. Ускорение не может стать бесконечной величиной в связи с тем, что как внешнее, так и собственное магнитное поле, наведенное током в сверхпроводнике, может разрушить сверхпроводящее состояние. Для известных сверхпроводников (олова, свинца и т.д.) предельная плотность тока ограничена значением порядка (10^3 – 10^5) А/мм², что лишь на 2–4 порядка больше плотностей токов, используемых в магнитоэлектрических системах при нормальной температуре.

Выбор материалов, обладающих минимальным удельным электрическим сопротивлением при нормальной температуре, существенно ограничен тем, что в соответствии с [10] сплавы различных материалов обладают удельной электропроводностью, равной промежуточному значению удельной электропроводности чистых элементов, составляющих сплав. Таким образом можно построить “ряд быстрогодействия” чистых элементов, и тогда любые их сплавы могут занимать промежуточные значения. Движущийся элементарный проводник совершает полезную работу только в том случае, если он перемещает некоторую присоединенную массу $m_{пр}$. Пусть оба проводника 1 и 2, занимающие одинаковый объем V в магнитном поле, нагружены одинаковой “присоединенной массой” $m_{пр} = \sigma m_1 = \sigma \gamma_1 V$. Тогда изменившиеся массы первого и второго проводника, соответственно, будут равны

$$m'_1 = m_1 + \sigma m_1 = \gamma_1 V + \sigma \gamma_1 V = \gamma_1 V(1 + \sigma), \quad (5.24)$$

$$m'_2 = m_2 + \sigma m_1 = \gamma_2 V + \sigma \gamma_1 V = V(\gamma_2 + \sigma \gamma_1), \quad (5.25)$$

где m_1 и m_2 – массы проводников 1 и 2; m'_1 и m'_2 – массы проводников 1 и 2 с учетом нагрузки. Разделив оба выражения на V , получим новые удельные плотности проводников γ'_1 и γ'_2 , не имеющие физического смысла, но характеризующие подключение к элементарным проводникам некоторой “присоединенной массы” $m_{пр} = \sigma m_1$:

$$\gamma'_1 = \gamma_1(1 + \sigma), \quad (5.26)$$

$$\gamma'_2 = \gamma_2 + \sigma \gamma_1 \quad (5.27)$$

Подставив эти выражения в уравнение (5.23), имеем

$$D = \frac{\sqrt{\rho_1}(\gamma_2 + \sigma \gamma_1)}{\sqrt{\rho_2} \gamma_1(1 + \sigma)}, \quad (5.28)$$

где D – коэффициент динамичности при условии равенства “присоединенных масс”.

Поскольку при протекании тока по проводникам 1 и 2 происходит их разогрев, введем в уравнение (5.28) коэффициенты M_1 и M_2 , тогда

$$D'_r = \frac{\sqrt{\rho_1^0(1 + M_1 T)} \gamma_2 + \sigma \gamma_1}{\sqrt{\rho_2^0(1 + M_2 T)}(1 + \sigma) \gamma_1}, \quad (5.29)$$

где ρ_1^0 и ρ_2^0 – удельные электрические сопротивления материала проводников 1 и 2 при 0 °С; M_1 и M_2 – температурные коэффициенты удельного сопротивления материала проводников 1 и 2; T – температура проводников 1 и 2; D' – приведенный коэффициент динамичности при температуре T и коэффициенте нагрузки σ .

Принимая в качестве эталонного материала проводника медь, составим таблицу значений коэффициента динамичности чистых элементов для следующих комбинаций параметров T и σ

Т а б л и ц а 5.2

N	$T, ^\circ\text{C}$	Комбинации параметров
1	0	0
2	100	0
3	100	0,1
4	100	0,3
5	100	1,0
6	100	3,0

(табл. 5.2, 5.3). В результате построен “ряд быстрогодействия” чистых элементов. Элементы его расположены в порядке убывания коэффициента динамичности элементов при $T = 0^\circ\text{C}$ и $\sigma = 0$. Анализ таблицы и диаграмм (рис. 5.15–5.16) показывает, что с ростом коэффициента нагрузки σ коэффициент динамичности резко падает и преобладающим фактором становится удельное электрическое сопротивление материала проводника. Так, при коэффициенте нагрузки $\sigma = 3,0$ наибольший коэффициент динамичности имеет медь, а при дальнейшем росте коэффициента нагрузки (больше 10) на первое место выходит серебро, имеющее минимальное значение удельного электрического сопротивления. Группа чистых, легких металлов: литий, натрий, калий, кальций, бериллий, магний, алюминий и цезий, по сравнению с медью, имеют большие коэффициенты динамичности при значениях коэффициента нагрузки, изменяющихся в диапазоне от 0 до 3,0. Причем, с ростом коэффициента нагрузки наибольшее значение коэффициента нагрузки переходит от лития ($\sigma = 0$) к натрию ($\sigma = 0,1$), от натрия к бериллию ($\sigma = 0,3$) и алюминию ($\sigma = 1,0$).

Из табл. 5.3 видна целесообразность применения ряда легких металлов в быстродействующих магнитоэлектрических системах. Выбор материала ограничен – всего 9 металлов, причем только 5 из них имеют температуру плавления выше 100 °С. Однако среди этих металлов 4 имеют высокую температуру плавления: бериллий – 1285, кальций – 851, алюминий – 660 и магний – 651 °С.

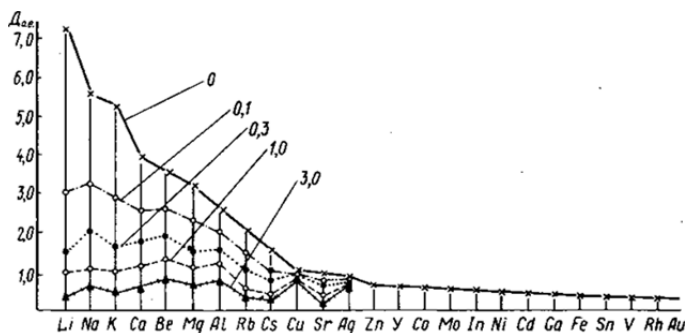
Попытаемся рассмотреть возможность расширения количества возможных материалов путем создания бинарных сплавов, обладающих высокими значениями коэффициентов динамичности.

Для этого рассмотрим три типа бинарных сплавов [10]:

- 1) практически нерастворимые, например Zn-Sn, Ca-Pb и т.д. (рис. 5.17).
- 2) с неограниченной взаимной растворимостью, например Pt-Pd и т.д. (рис. 5.18).
- 3) с образованием

интерметаллических соединений, например Cu_3Au , CuAu и т.д.

Рис. 5.15. Диаграмма коэффициентов динамичности для чистых элементов при 0 °С в зависимости от коэффициентов нагрузки



Т а б л и ц а 5.3

N п/п	Элемент	Физические свойства элементов				Коэффициент динамичности D , отн. ед.					
		$\rho \cdot 10^{-4}$, Ом · м	$T_{пл}$, °C	$\gamma \cdot 10^3$, кг/м	$1/\rho \frac{d\rho}{dt}$, Ом · м/К	T=273 К		T=373 К			
						$\sigma = 0$	$\sigma = 0$	$\sigma = 0,1$	$\sigma = 0,3$	$\sigma = 1,0$	$\sigma = 3,0$
1	Литий	8,50	179	0,54	4,37	7,14	6,98	2,88	1,51	0,78	0,54
2	Натрий	4,34	97,8	0,97	4,27	5,55	5,38	3,01	1,86	1,06	0,70
3	Калий	6,38	63,5	0,87	5,80	5,26	-	-	-	-	-
4	Кальций	4,3	851	1,55	4,00	3,78	3,42	2,38	1,63	1,00	0,75
5	Бериллий	6,60	1285	1,84	7,50	3,63	3,28	2,42	1,74	1,12	0,84
6	Магний	4,20	651	1,74	4,20	3,21	3,19	2,32	1,63	1,04	0,78
7	Алюминий	2,50	660	2,70	4,67	2,60	2,57	2,13	1,68	1,19	0,94
8	Рубидий	11,6	38,5	1,53	5,30	2,14	-	-	-	-	-
9	Цезий	19,0	28,5	1,87	5,00	1,36	-	-	-	-	-
10	Медь	1,55	1083	8,93	4,33	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
11	Стронций	20,0	770	2,54	5,00	0,98	0,96	0,78	0,60	0,42	0,33
12	Серебро	1,47	960,8	10,50	4,00	0,87	0,88	0,89	0,91	0,95	0,99
13	Цинк	5,45	419	6,92	4,20	0,68	0,69	0,67	0,65	0,60	0,57
14	Иттрий	22,76	1225	3,80	8,60	0,61	0,62	0,57	0,48	0,37	0,31
15	Кобальт	8,71	1493	8,71	6,60	0,56	0,59	0,52	0,52	0,51	0,51
16	Молибден	5,03	2620	9,01	4,70	0,55	0,54	0,54	0,54	0,54	0,55
17	Индий	8,20	156,4	7,28	5,10	0,53	0,47	0,46	0,46	0,42	0,40
18	Никель	6,14	1453	8,70	6,00	0,52	0,49	0,48	0,48	0,48	0,48
19	Кадмий	6,73	321	8,65	4,20	0,50	0,50	0,50	0,50	0,49	0,49
20	Галлий	13,70	29,80	6,09	5,40	0,50	-	-	-	-	-
21	Железо	8,71	1539	7,87	6,50	0,48	0,45	0,44	0,43	0,42	0,40
22	Олово	10,10	231,9	7,29	6,60	0,48	0,47	0,46	0,43	0,42	0,40
23	Ванадий	18,20	1900	5,96	2,80	0,44	0,49	0,47	0,42	0,37	0,34
24	Родий	4,30	1960	12,44	4,60	0,43	0,43	0,44	0,46	0,50	0,54
25	Золото	2,06	1063	19,30	4,50	0,40	0,40	0,42	0,45	0,54	0,67
26	Иттербий	27,00	824	5,50	9,50	0,39	0,40	0,38	0,35	0,32	0,30
27	Титан	42,00	1665	4,50	5,50	0,38	0,37	0,34	0,30	0,24	0,21

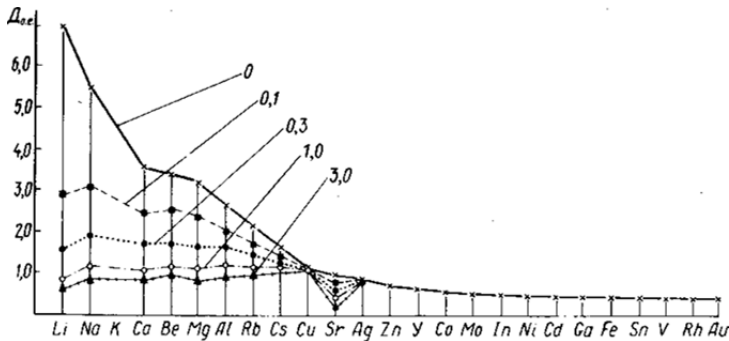


Рис. 5.16. Диаграмма коэффициентов динамичности для чистых элементов при 100 °C в зависимости от коэффициентов нагрузки

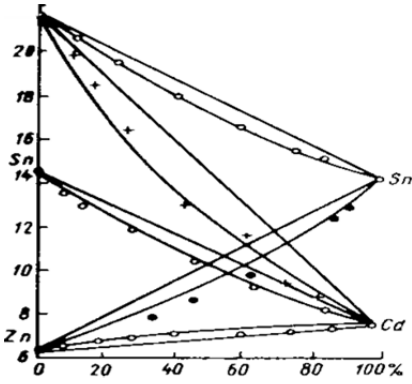


Рис. 5.17. Концентраційна залежність електричного опору бінарних систем, складених з практично взаємно нерозчинних компонентів: вогнуті криві розраховані на основі припущення про адитивність логарифмів опору; х, о – експериментальні дані

Для першого типу характерно змінювання питомого електричного опору за законом, близьким до адитивного, що можна було передбачити, виходячи з нерозчинності компонентів. Для сплавів другого типу суттєво збільшення питомого електричного опору. Об електричній провідності інтерметалічних сполучень відомо досить мало, однак існують сполучення, що мають значно меншу електричну провідність, ніж вихідні компоненти (рис. 5.19).

Приймаючи адитивним змінювання питомого електричного опору та густоти, визначимо значення коефіцієнтів динамічності для всіх 12 систем при $T = 273 \text{ K}$. Фізичні властивості бінарних систем достатньо добре вивчені [10]. Для нашого випадку цікаво можливість утворення систем з практично нерозчинних компонентів для перших 12 елементів табл. 5.3. В табл. 5.4 наведено всі достовірно відомі бінарні системи першого типу для елементів табл. 5.3 від Li до Ag, причому виявилось, що таких систем існує всього 12.

Нехай вихідні компоненти А і В бінарних систем (табл. 5.5) мають питомі електричні опору та густоти, відповідно $\rho_A + \rho_B + \gamma_A + \gamma_B$. Приймаючи

$$\rho = \rho_B + k(\rho_A - \rho_B), \quad (5.30)$$

$$\gamma = \gamma_B + k(\gamma_A - \gamma_B), \quad (5.31)$$

де ρ – питомий опір; k – коефіцієнт; γ – густина, легко отримати коефіцієнт динамічності бінарної системи А + В для $T = 273 \text{ K}$

$$D_{A+B} = \frac{11,11}{\sqrt{\rho_B + k(\rho_A - \rho_B)}[\gamma_B + k(\gamma_A - \gamma_B)]}. \quad (5.32)$$

Таблиця 5.4

Елемент	Li	Na	K	Ca	Be	Mg	Al	Rb	Cs	Cu	Sr	Ag
Li				X						X		
Na				X		X	X	X	X			
K						X	X					
Ca	X	X										
Be							X					X
Mg		X	X									
Al		X	X		X							
Rb		X										
Cs		X										
Cu	X											
Au												
Ag		X			X							

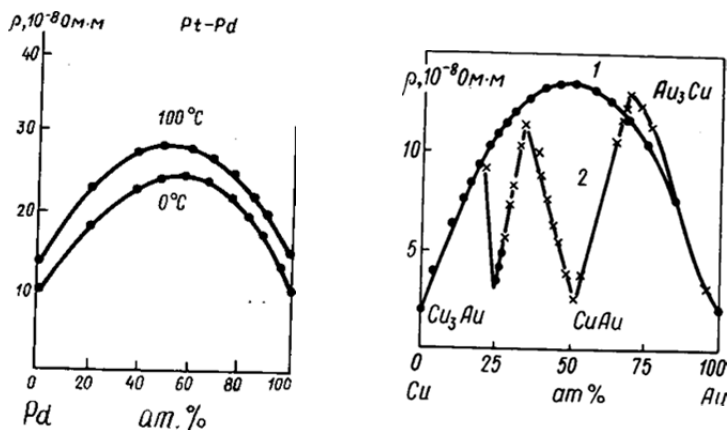


Рис. 5.18. Концентрационная зависимость электросопротивления для систем неограниченно взаимно растворимых компонентов

Рис. 5.19. Концентрационная зависимость электросопротивления в системе медь - золото при образовании упорядоченных структур: 1 – закалка при 823 К; 2 – медленное охлаждение (380 К течение 1 час) в интервале температур 670-470 К, отжиг при 473 К в течение 150 ч.

Перспективными могут оказаться бинарные системы Li-Ca, Na+Ca, имеющие наряду с большим коэффициентом динамичности высокую температуру плавления (до 700–900 К). Высокие механические свойства у материалов могут быть получены на основе бинарной системы Ве+Al.

ЛИТЕРАТУРА

1. Константиnescу В.Н. Газовая смазка / Пер. с румын. – М.: Машиностроение, 1968.
2. Подшипники с газовой смазкой / Пер. с англ. Ред. Грессем Н.С., Пазл В.У. М: Мир, 1966.
3. Жедь В.П., Шейнберг С.А. Опоры скольжения с газовой смазкой. М.: Машиностроение, 1969.
4. А.с. 1247929 (СССР). МКИ G 11 В 7/00. Устройство для оптической записи и воспроизведение / В. В. Петров и др. – N 2796046/18-10; Опубли. 30.07.86, Бюл. № 28.
5. Рейнбот Г. Магнитные материалы и их применение / Пер. с нем. – Л.: Энергия, 1974.
6. Токарь А.П., Петров В.В. Система автоматической фокусировки для оптического запоминающего устройства // Электронное моделирование. Киев: Наук. думка, 1977.
7. Гусак Н.А., Маценко А.Г. Электрооптическое фокусирование света // ЖПС. 1982. № 4. С. 686-689.
8. Фейман Р., Аситос Р., Сэнде М. Феймановские лекции по физике. М.: Наука, 1976.
9. Шульце Г. Металлофизика / Пер. с нем. Москва: Мир, 1974.
10. Андрейко К., Хансен М. Структуры двойных сплавов. Москва, 1962.

The displacement interferometer of cylindrical information carrier

M. Y. Kolesnikov, V. V. Petrov, V. V. Pitsyuga, I. V. Kosyak

Proc. SPIE 2648, International Conference on Optical Diagnostics of Materials and Devices for Opto-, Micro-, and Quantum Electronics, 3 November 1995.

An interferometric technique of a position and beating control for an axial rotating body position is described in this paper. A Michelson interferometer without a signal spectrum transfer in a high-frequency range is used as a position and beating sensor of a rotating body. An autocollimator as a reflector insensitive to angular rotating is used in a measuring level of the interferometer. The autocollimator is tightly connected with a cylindrical information carrier by a magnet lock for motion dynamics investigations. It is found that the position error of the proposed position sensor does not exceed $\lambda/8$.

Keywords: interferometer, phase shift, light beam, autocollimator, polarization vector, wave front.

2. INTRODUCTION

A displacement control of an axial rotating body is important for an optical storage based on cylindrical information carriers. Optical read/record methods are characterised by a very large density of information recording. Top - limit physical properties of these methods may be achieved by a displacement of a laser beam focused on a recording surface with a submicron accuracy.

In well - known CD-ROM devices this problem was solved by phased information carrier substrates with the phase step of 1,6 μm . The submicron structure formed on the information cylindrical carrier surface is made by a special markup device. During this procedure the displacement control of an information carrier position with a submicron accuracy is necessary. This problem may be solved by using the interferometric control technique of a rotating cylindrical information carrier.

Many scientific and technical applications need precise displacement measurements of an axial rotating cylindrical body.

In a manufacturing industry this problem usually appears at detail machining with a submicron working accuracy when a dynamic beating and a position control of a rotating machining tool is needed. Now interferometers are used in such machinery. These interferometers check only a displacement of a machine toolhead with a rotating tool placed in it. But the same time a beating control of a machining tool is absent.

The control problem of a rotating cylindrical body control appears also at a detail manufacturing of electro-vacuum machinery for complex drawings plotted on cylindrical surfaces with a submicron accuracy.

3. INTERFEROMETER DESIGN

A Michelson interferometer is used as a displacement positioning and beating sensor without a signal spectrum transfer in a high-frequency range. The cylindrical information carrier is used as a rotating body.

A usual technique of a recording and quadrature signals processing with fringe reversible counters is used for the optical scheme of the interferometer as shown in fig. 1

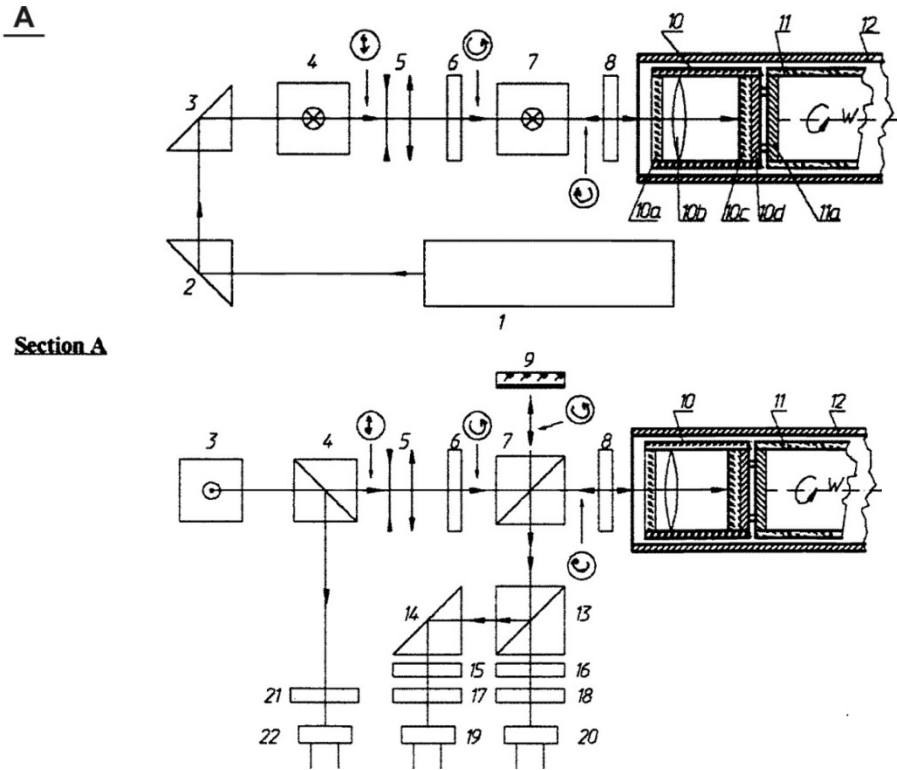


Fig. 1. Optical scheme of the interferometer

The interferometer light source is a single-frequency laser 1. A laser beam is passed through right-angle prisms (2 and 3) and then the collimator 5. The interferometer consists of phase plates $\lambda/4$ (6 and 8), the beam-splitter prism 7 and reflective elements (9 and 10). As shown in fig. 1 two light beams with different polarizations get in a measuring level. Their polarization vectors have left and right rotation directions, respectively. Beam-splitter prisms (13 and 14) separate a laser beam in two light beams. Two pairs of analyzers (15, 16) and (17, 18) and also photodetectors (19, 20) record two interference signals shifted in phase by $\lambda/2$. It is necessary to note that the planar mirrors are used for light reflection in the interferometer arms. Therefore, two phase plates are used for receiving of quadrature interference signals in the interferometer output. The first plate is placed in the interferometer input and the second plate is placed in the measurement arm (fig. 1). In this case the polarization state of the output radiation can be described by the Johns matrixes:

$$I = \{ [M(90, \delta)] [R(90, \pi) [M(90, \pi/4) + [M(0, \delta) [M(0, \pi/4)] [R(0, \pi) [M(0, \pi/4)] [M(0, \pi/4)]]] \} \\ \times A \exp(i\omega t) = A \begin{bmatrix} \exp i(\omega t - \pi/4) + \exp i(\omega t - \delta_1) \\ \exp i(\omega t - \delta_1) - \exp i(\omega t - \delta_2) \end{bmatrix}$$

where $\delta_1 = 4\pi L_1/\lambda$, $\delta_2 = 4\pi L_2/\lambda$, - are the phase shifts because of optical different pathes L_1 and L_2 passed by light in each interferometer arm; $[M(\theta, \delta)]$ are the phase plate matrixes (θ is the orientation angle of the phase plate, δ is the phase shift from the plate) and matrixes describing the light propagation in the air. $[R(\theta, \delta)]$ is the reflection matrix.

When $\lambda/4$ phase plates are sited at angles of 0 and 90°, respectively, the light intensities after passing the polarizers oriented in directions of 0 and 90 degrees can be described as:

$$I_1 = 1 + \cos(\delta_2 - \delta_1)$$

$$I_1 = 1 + \cos(\delta_2 - \delta_1 + \pi/2)$$

i.e. they have phase shift of $\pi/2$.

Analyzers (15, 16) equalize signal levels in each direction. The input laser beam is controlled by the beam-splitter prism 4, analyzers (19, 20) and the photodetector 21.

A peculiarity of this interferometer is the use of an autocollimator in measurement level as a reflective element insensible to an angular rotation. As shown in fig. 1 (pos. 10) and fig.2 the autocollimator consists of the lens 2 and the mirror 3 placed in the housing 1 with the input window 4 (see fig.2). The autocollimator housing 1 is fixed into the cylindric carrier 5 with the magnet 6 placed on his back side.

As shown in fig.1 the autocollimator 10 is connected with the controlled carrier 11 by magnets (10d and 11a). A magnet effort repeats completely the carrier motion. The interference pattern stability and the required measurement accuracy are provided for constancy of the wavefront along the propagation direction reflected by the rotating autocollimator.

Different methods of a wavefront distortion analysis for a laser beam passing through an arbitrary inhomogeneous atmosphere are known. Such analysis needs a large computing power and has a probabilistic character.

The stability of the reflected wavefront depends on an autocollimator misadjustment namely a misadjustment of the mirror 3 (fig.2) with respect to the focal plane of the lens 2 and its misalignment. The reflected wavefront can be essentially distorted by a gradient of an air refractive index in an air moving flow caused by autocollimator rotation.

The analysis of wavefront distortions, caused by such movable medium, can be carried out indirectly. In this case the recording medium is coated on the carrier outer surface connected with the autocollimator. A signal from the interferometer measurement arm, which is arisen during the autocollimator displacement, gets on the information recording unit. Reference cues are recorded by the laser beam on the autocollimator surface. Electromagnets 5 and 6 are used for the autocollimator rotation and the positioning along a rotation axis (fig. 3). The periodicity change of reference cues and their distortions can be used for the analysis of wavefront distortions.

It is found that the change of the linear displacement velocity from 0.025 mm/sec to 2.0 mm/sec corresponds to the range of the tracks distance between tracks from 1.6 mkm to 100 mkm, and the received error of the track period is about 0.06 mkm. The measurement accuracy of the phase shift is better than $\lambda/8$.

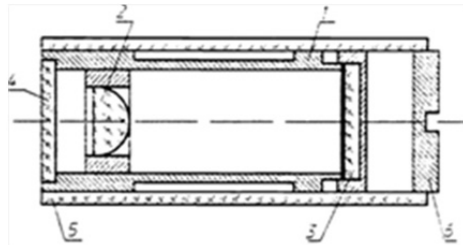


Fig. 2. The autocollimator desing

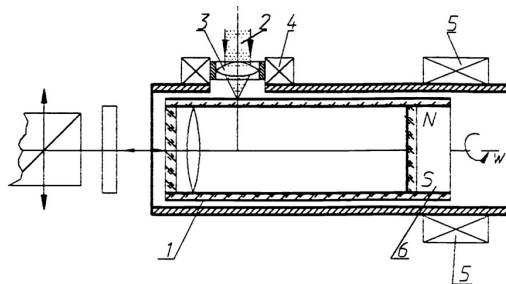


Fig. 3. The cheme for the measurement of the interferometer accuracy

An interferometric pattern stability is determined by an autocollimator misadjustment, namely by an accuracy of a mirror mount (pos. 3 in fig.3) with respect to the focal plane of the lens 2 and its misalignment. An axial shift of the reflected beam relative to the autocollimator rotation axis because of the mirror misalignment causes the modulation of the interferometric pattern with the autocollimator rotation frequency and decreases the interferometric pattern contrast. It is also found that the depth of the modulation envelope is less 1% when the misalignment is not worse than 30". The misadjustment of the mirror with respect to the focal plane of the lens may be no more than $0.01z$, where z is the focal distance of the lens. In this case the wavefront distortion of the reflected beam is no more than 1%.

3. INVESTIGATION RESULTS

The proposed sensor of a rotating body was used for the position control of the cylindrical information carrier in the optical memory device. In this case the autocollimator was mounted, as above mentioned, into the cylinder guide and was connected with the cylindrical information carrier by the magnets. The bonding force was about 50 g. The bonding unit provided the tight coupling in an axial direction and rotated free in a perpendicular plane. The gap between the autocollimator and the cylindrical guide, in which the autocollimator rotated, was less than 100 μm . The autocollimator length was 50 mm. A maximum permissible angle of the autocollimator scope was less than 2 mrad. It corresponded to a maximum shift of a reflected beam about $0.5d$, where d was the beam diameter.

The range of the autocollimator displacement was 80 mm. The rotation frequency was 20 Hz. The investigated system oscillated freely in an axial direction with the amplitude of 3 μm . With a signal reception the positioning electromagnet 4 (fig. 3) fixed the information carrier with the autocollimator in an axial direction. The axial direction error was less than 0.08 μm .

Two signals opposed in phase are detected by photodetectors at the displacement of the information carrier with the autocollimator (fig. 4). The contrast of the interference signal changes with the alteration of the rotation frequency. The maximum recorded alteration of the signal contrast is 10 %, its value being dependent on the rotation frequency of the information carrier with the autocollimator. The contrast alteration of the interference signal is connected with the rotation dynamics of the information carrier. There is the deviation of the information carrier in the plane perpendicular to the rotation axis up to about 10 Hz. It causes the shift of the reflected beam and the signal alteration, respectively. The alteration of the interference signal is finished after the space orientation stability of the information carrier (10-20 Hz). The fluctuations of the dc component are no more than 5% in all range of the displacement.

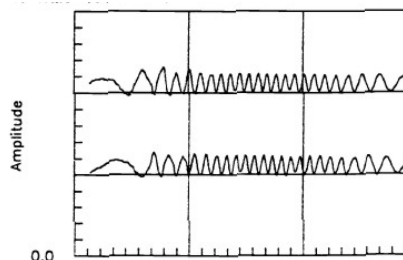


Fig. 4. Output interference signals

REFERENCES

1. V.V. Petrov, A.A. Kryuchin, M.Y. Kolesnikov and two co-authors. Mass memory on optical cylinders. Proc. SPIE, vol. 2297. p. 492-501, July 1994.
2. M. Y. Kolesnikov, A. A. Vinogradov and four co-authors Device for recording and reading information. Application N5051204/10 from 21.12.1993, GliB 7/00, 7/09.
3. V. P. Lukin Adaptive atmospheric optic. Nauka. Novosibirsk, 1986.

Способи вирішення проблеми довгострокового зберігання інформації, записаної в цифровому вигляді

В. В. Петров, А. А. Крючин, С. М. Шанойло,
І. О. Косско, В. Г. Кравець

Доповіді Національної академії наук України. 2003. № 4. С. 52–58.

Збереженість інформації на всіх етапах розвитку суспільства є найважливішою проблемою, при вирішенні якої необхідно забезпечити для майбутніх поколінь як збереженість знань, накопичених попередніми поколіннями, так і збереженість знань, що здобуваються [1]. Сьогодні визнаним методом збереження текстових, графічних, аудіо- і відеодокументів, у тому числі раритетних, є переведення їх у цифрову форму з наступним періодичним перезаписом. Сам процес перезапису інформації, що зберігається у цифровій формі, не призводить до погіршення якості документа, що зберігається. Однак при збільшенні кількості документів, що зберігаються у цифровій формі, процес періодичного перезапису стає досить складно контролювати. Реально можна говорити про необхідність кожні 10 років перезаписувати диски з особливо цінною інформацією, що досить складно здійснювати в умовах збереження великих масивів архівних даних на великому підприємстві, в бібліотеці, архіві. Втрата навіть невеликої частини інформації, що зберігається в цифровій формі на носіях з високою щільністю запису, може призвести до часткової або навіть повної втрати всього документа. Встановити необхідний термін перезапису досить складно, оскільки прогнозовані терміни зберігання на цифрових носіях мають дуже широкий діапазон (так для компакт-дисків CD-R прогнозований термін зберігання складає від 2 до 50 років). Тривале зберігання інформації в цифровому вигляді на CD ROM та CD- R проблематично, тому що з часом полікарбонат, з якого виготовлені компакт-диски, каламутніє і втрачає свої оптичні властивості. З іншого боку, руйнується і шар металізації за рахунок дифузійних ефектів у тонкій плівці. У технічній літературі наводиться велика кількість прикладів втрати унікальних записів, що зберігалися у цифровій формі на носіях з високою щільністю запису. В зв'язку з цим з'являються пропозиції щодо зберігання текстових і графічних документів зменшеного розміру в аналоговому вигляді на мікрофільмах. Така форма зберігання документів пов'язана з деякими незручностями (складність і незручність роботи з документами), але, головне, не вирішується задача довгострокового і надійного зберігання документів.

Як показав історичний досвід, одним з найнадійніших методів представлення інформації є рельєфний. Щільність запису з використанням цього методу постійно підвищувалася і від шумерських глиняних пластинок, до фонографічних циліндрів Едісона, вінілових грамплатівок та компакт-дисків і досягла досить високих значень на сучасних DVD-носіях (0.2 Гбайт/см²).

Інформація на фонографічних циліндрах Едісона і грамофонних платівках представляється аналоговому вигляді, а самі носії виготовлялися з легко деформованих матеріалів. Фонографічні циліндри Едісона виготовлялися із складної воскової композиції, а грамофонні платівки – з композицій на основі шелаку і з пластмас. Ці матеріали піддаються впливу температурних полів, мікроорганізмів, природному

старінню і зміні механічних властивостей, мають низьку вихідну механічну міцність. Наслідком цього є невисокі надійність тривалість зберігання інформації на цих носіях. Крім того, механічний спосіб відтворення інформації за допомогою прямого контакту відтворюючої голки, виготовленої з твердого матеріалу, призводить до неминучого механічного зносу поверхні звукових доріжок і, як наслідок, до спотворення записаної інформації, зниженню її вірогідності і надійності зберігання.

Проте, при дотриманні належних умов зберігання і фонографічні циліндри і грамплатівки можуть зберігатися досить довго, до наших днів збереглися в прекрасному стані деякі екземпляри, виготовлені 80-100 років тому.

На компакт-дисках інформація представлена в цифровому вигляді, безконтактний оптичний метод зчитування дозволяє виконати практично нескінченне число циклів відтворення інформації без її спотворення й ушкодження. Однак пластикові компакт-диски з додатковими тонкоплівковими відбиваючими шарами, як уже відзначалося, не можуть гарантувати довгострокового надійного зберігання інформації через недостатню механічну і термічну міцність полікарбонату, залишкові механічні напруги, природне старіння, виготовлення інформаційної структури з різнорідних матеріалів із коефіцієнтами термічного розширення, які дуже відрізняються. Прогнозований термін зберігання інформації на компакт-дисках не перевищує 50 років.

Останнім часом увагу дослідників починають привертати методи довгострокового зберігання інформації на металевих носіях. Одним із прикладів можуть бути виготовлені в Німеччині в тридцять роки минулого сторіччя методом гальванопластики мідні негативні копії воскових циліндрів Едісона. Однак через окиснення міді за час збереження таких копій вірогідність інформації, що зберігається, не дуже висока.

Більш привабливим прикладом тривалого надійного зберігання інформації на таких носіях є збереженість мідно-нікелевих штампів, що використовувалися для тиражування грамплатівок і вік яких складає 30-70 років.

Можливість довгострокового зберігання інформації на мідно-нікелевих штампах прогнозували розроблені технології виготовлення грамплатівок [2]. Штampi для тиражування грамплатівок зберігаються в архівах як носії, з яких можна було відтворити аудіо записи з високою якістю і при необхідності зробити тираж платівок. Були розроблені спеціальні пристрої для зчитування аналогової інформації з мідно-нікелевих штампів. Мідно-нікелеві штампи являють велику цінність і як носії інформації, що мають визначене історичне значення і як фізичні об'єкти, що пройшли тривалий процес природного старіння.

За 50-70 років збереглися вихідними чистота металевої поверхні штампа, його геометричні розміри і форми. Проведені дослідження показали, що рельєф на поверхні штампу збережений, мікроструктура не заповнена сторонніми вкрапленнями (рис. 1). Для дослідження хімічного складу штампів використовувалися такі методи: локальної Оже-електронної спектроскопії (ОЕС) (Оже-мікрозонд JAMP-10S, JEOL, Японія); мікрорентгеноспектрального аналізу (МРСА) (прилад РЭММА-102, SELMI, Україна); вторинної іонної мас-спектрометрії (ВІМС) (мас-спектрометр IMS4f, САМЕСА, Франція). Атестація хімічного складу в об'язі штампа проводилася за допомогою мас-спектрометра VG9000 (VG Великобританія). ОЕС використовувалася спрямовано для виміру змісту кисню на поверхні(глибина інформативного шару 5-25 Å) і його розподілу відносно глибини при травленні іонами аргону.

МРСА застосовувався для аналізу хімічного складу більш глибоких шарів (для нікелю при $U = 30$ кВ глибина аналізу складає понад 2,5 мкм).

ВІМС (IMS4f) застосовувалася для дослідження розподілу основних домішок відносно глибини.

Таким чином, використовуваний набір методів аналізу дозволив «перекрити» всі глибини можливого залягання домішок з чутливістю не гірше 10^{-6} % (ат.) (настільки висока чутливість забезпечується використанням ВІМС).

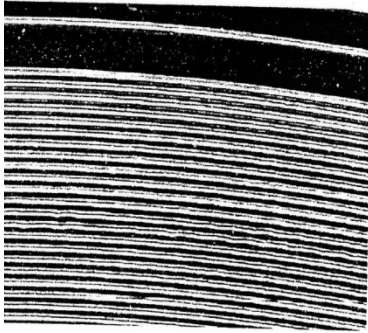
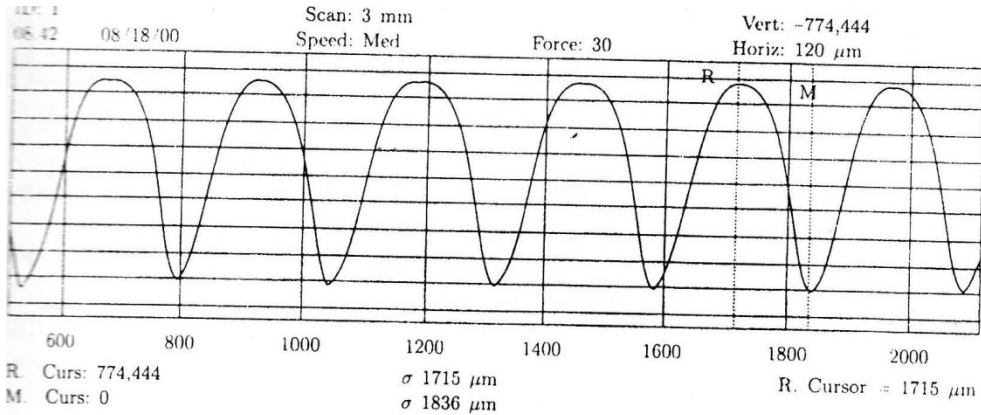
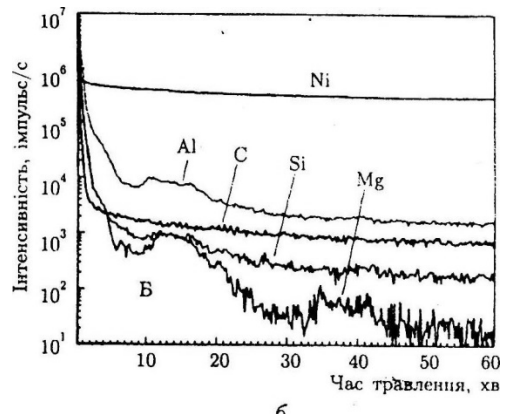
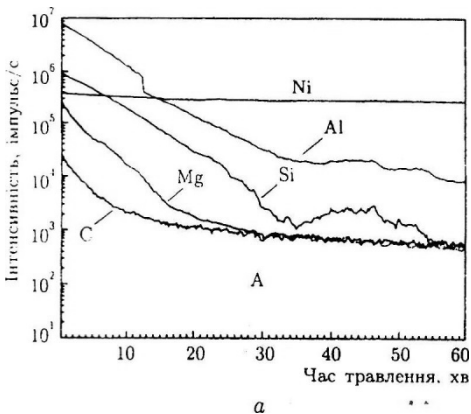


Рис. 1. Поверхня мідно-нікелевого штампа для тиражування грамплатівок: а – загальний вигляд (збільшення $200\times$); б – профіль звукових доріжок



б



б

Рис. 2. Розподіл за глибиною деяких хімічних елементів штампів з різним терміном зберігання

Аналіз складу поверхні штампа, виготовленого понад 50 років тому, і сучасного штампа 2 для компакт-дисків, проведений за допомогою ОЕС, показав, що суцільний

оксидний шар на штампах відсутній. Іонне травлення практично не змінювало зміст кисню відносно глибини, що свідчить, на нашу думку, про те, що кисень знаходився в кристалічних ґратках штампа з часу його виготовлення.

У п'ятдесятилітньому штампі є локальні (5–15 мкм) окиснені ділянки, що топографічно збігаються з великою кількістю домішок Mg, Al, Si. Це показало характеристичне випромінювання (у визначених масах Mg, Al, Si), одержане за допомогою ВІМС.

Таблиця 1. Хімічний склад штампів з різним терміном зберігання, одержаний за допомогою МРСА

Хімічні елементи, % (мас.)	Ni	Al	Si	O
Штамп 1	95,99	1,36	1,45	1,20
Штамп 2	97,78	0,13	0,89	1,20

Результати кількісного аналізу, отриманого за допомогою МРСА, наведені в табл. 1.

При дослідженні поверхні штампів за допомогою методу вторинної іонної мас-спектрометрії режими запису оглядових спектрів, а також режими роботи

приладу при пошаровому профілюванні залишалися тими самими і складали для первинного пучка 300 нА, прискорююча напруга 14,78 кВ, для вторинного пучка іонів – прискорююча напруга 4.5 кВ, трансферна лінза була в положенні 150 мкм, растр – 250 x 250 мкм.

У досліджених штампах спостерігається різке розходження за кількістю домішкових елементів та глибин їх залягання (рис. 2). Так, у штампі 2 стабілізація за складом домішкових елементів спостерігалася на 25-30-й хвилині травлення, що відповідає глибинам 1-1.2 мкм, а в штампі 1 стабілізація змісту магнію і кремнію відбулася на такій же глибині, а зниження інтенсивності алюмінію і кремнію відбувалося і на глибинах понад 2,4 мкм.

При дослідженні зразків у режимі характеристичного випромінювання відзначено присутність на поверхні матриці 1 часток кремнію, алюмінію, магнію, які розподілені рівномірно, і мають розміри від 5 до 15 мкм. У штампі 2 також на поверхні є аналогічні вкраплення, однак їх глибина залягання значно менша. Вміст кисню в штампах 1 і 2 практично однаковий. Вміст магнію в 15 разів, кремнію в 10-15 і алюмінію в 10 разів у штампі 1 більше, ніж у штампі 2. Ці дані свідчать про те, що сучасна технологія гальванопластики є більш «чистою» і дозволяє одержувати нікелеві носії з кількістю домішок на 1-2 порядки менше, ніж у старих нікелевих штампах.

Атестацію хімічного складу в об'ємі штампів 1 і 2 проводили за допомогою мас-спектрометра VG9000 із збудженням вторинних іонів тліючим розрядом. Результати атестації хімічного складу наведені в табл. 2. Як видно з таблиці, вміст хімічних елементів в обсязі штампів відрізняється незначно.

Висока хімічна чистота нікелевих носіїв сприяє підвищенню їх корозійної стійкості. Наявність локальних окиснених ділянок підтвердили еліпсометричні дослідження. Як відзначено вище, локальне окиснення прямо пов'язане з локалізацією домішок Mg, Al, Si цих областях. Товщина окисного шару в таких ділянках складає 50-70 Å. Значний розкид у значеннях коефіцієнта відображення може визначатися наявністю як несучільної окисної плівки, так і шорсткуватою поверхнею старого штампа. Збереженість поверхні нікелевих штампів для тиражування грамплатівок забезпечувалася досить високою хімічною і колійною стійкістю нікелю і можливістю одержання при гальванопластичному осадженні порівняно чистих металів.

У цілому з аналізу властивостей поверхні мідно-нікелевих штампів можна зробити висновок про те, що за кілька десятиліть вони зберегли високу чистоту і рельєфні структури на їх поверхні.

При вирішенні проблеми довгострокового зберігання стратегічно важливої інформації до властивостей нікелевих носіїв пред'являють дуже жорсткі вимоги. Серед них: висока корозійна стійкість, стабільні в часі відбивна здатність, твердість, в'язкість і зносостійкість. У деяких спеціальних випадках велике значення мають електрична провідність і теплопровідність покриття, внутрішні напруження і магнітні властивості.

Більшість вимог до носіїв для довгострокового зберігання задовольняють нікелеві носії товщиною (0,3–1,0) мм із рельєфним записом; зокрема, вони магнітостабільні, фізично міцні, пожежостійкі, корозійностійкі [3]. Для підвищення корозійної стійкості нікелевих носіїв інформації вони можуть покриватися тонкими плівками благородних металів, що наносяться або методом вакуумного напилювання, або гальванічним шляхом.

Записати інформацію з високою щільністю у вигляді рельєфної мікроструктури безпосередньо на металевий (масивний або тонко плівковий) носій через його високі температуропровідність і температуру плавлення не є можливим. Для одержання рельєфних мікро зображень на металі доцільно використовувати традиційні фотолітографічні методи: зображення створюється в шарі високороздільного фоточутливого матеріалу крізь вікна, через які здійснюється або травлення металевої підкладки [4], або гальванічне осадження металу заданої товщини [5, 6].

Для представлення інформації на нікелевих носіях можуть використовуватися методи, що застосовуються в компакт-дисках.

Для запису інформації на компакт-диски використовується метод широтно-імпульсної модуляції, при якому зміна довжини виступів на штампі впливає на процес відтворення інформації. Довжина виступів може змінюватися за рахунок утворення окисних шарів, забруднення органічними речовинами. Органічні забруднення з поверхні нікелевих носіїв можуть бути вилучені методами електрохімічного очищення, що широко використовуються в технології виробництва компакт-дисків [6].

Деяке збільшення розмірів пітів може відбуватися при окислюванні металу. Для нікелю збільшення лінійних розмірів складає 15 Å при утворенні окисного шару товщиною 100 Å. При цьому зміна тривалості сигналу відтворення (при однократній швидкості відтворення) не буде перевищувати 35 нс, що складає 4,2 % тривалості найкоротшого сигналу. Зміна геометричних розмірів пітів найбільше впливає на сигнали відтворення найкоротших виступів, довжина яких складає близько 1 мкм. Припустиме збільшення довжини виступу може складати 420 Å. Навіть виходячи з лінійної залежності товщини окисної плівки, що утвориться, від часу, можна прогнозувати утворення через 300 років окисної плівки такої товщини, що призведе до появи помилок при відтворенні інформації.

У такий спосіб можна припустити, що нікелеві носії забезпечать надійне і тривале зберігання інформації.

Таблиця 2. Хімічний склад штампів з різним терміном зберігання, одержаний за допомогою VG9000

	Штамп 1		Штамп 2
Na, ppb*	265,920	Al, ppm	1,136
Al, ppb	198,000	S, ppb	860,720
S, ppm**	18,261	Cl, ppb	666,910
Cl, ppb	652,980	Sc, ppm	7,044
Fe, ppb	542,280	Mn, ppb	743,190
Ni, %	99,947	Ni, %	99,998
Zn, ppm	496,830	Zn, ppb	667,010
Zn, ppm	475,220		
Zr, ppb	780,180		
Mo, ppb	326,590		
Ag, ppm	2,025		
Cd, ppb	182,510		
Pb, ppb	745,920		

* ** 1 ppm = 10⁻⁴ % (мас.), 1 ppb = 10⁻⁷ % (мас.)

На закінчення зробимо висновки.

1. Зберігання інформації в цифровій формі на металевих носіях у вигляді рельєфної мікро структури забезпечує тривалий (понад 300 років) термін зберігання інформації, зумовлений корозійною стійкістю металеві поверхні.

2. Запис інформації на металевих носіях у форматах, що застосовуються у компакт-дисках, дозволяє забезпечити відтворення інформації з використанням пристроїв із стандартними системами обробки сигналів.

3. Застосування захисних шарів на інформаційній поверхні нікелевих штампів дозволяє зменшити вплив механічних забруднень і підвищити корозійну стійкість поверхні штампів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бродолин Л. И., Воргачев В. Н. Проблемы сохранности научной и технической информации // Тр. Междунар. конф. «Информационное общество и информационные ресурсы и технологии телекоммуникаций». НТИ-2000. Москва, 22-24 ноября 2000 г. С. 61-62.
2. Аполлонова Л. П., Шумилова Н. Д. Механическая звукозапись. Москва; Ленинград: Энергия, 1964. 240 с.
3. HD-ROSETTA Disc Testing Report from Los Alamos National Labs. <http://www.norsam.com>.
4. HD-Rosetta archival preservation services. <http://www.norsain.com>.
5. Todorovich M., Schultz S. Pattern media: giant step in magnetic storage // Data Storage. May 1999. P.17-20.
6. Ken C. Pohlmann The Compact Disc Handbook. 2-nd Ed. 1992.

Шляхи створення носіїв для довготривалого зберігання інформації в цифровій формі

В. В. Петров, А. А. Крючин, С. М. Шанойло, Л. І. Крючина

Студії з архівної справи та документознавства. 2004. Т. 12.

Обсяг інформації, представленої у цифровому вигляді, стрімко зростає. Завдання зберігання інформації на всіх етапах розвитку суспільства було одним з пріоритетних, його вирішення має забезпечити для майбутніх поколінь як збереженість знань, накопичених попередніми поколіннями, так і нової інформації. Існують види інформації, у тому числі й науково-технічної, для якої важко вказати терміни, коли ця інформація втрачає значимість чи стає непотрібною [1]. У багатьох випадках цінність інформації згодом буде зростати. Прикладом може бути гідрометеорологічна інформація, яка дозволяє об'єктивно аналізувати повільну зміну довкілля і природних ресурсів, оцінювати ефекти впливу діяльності людей на природу. Це ж стосується і медичної інформації, аналіз якої за тривалі проміжки часу дозволяє виявляти тенденції розвитку груп людей, прояву різних захворювань, у тому числі пов'язаних зі зміною умов життя, впливом навколишнього середовища, тощо. Обсяги інформації, представленої у цифровій формі, збільшуються не тільки за рахунок нової інформації, яка вже має електронну форму представлення, але й за рахунок переведення у цифрову форму раніше створених інформаційних ресурсів. Представлення інформації у цифровому вигляді дозволило вирішити ряд проблем зберігання інформації, створити зовсім нові можливості для доступу до інформації та її оброблення. Швидке впровадження цифрових технологій оброблення інформації, розвиток електронних бібліотек зумовили необхідність проведення спеціальних досліджень зі створення технологій довготривалого зберігання інформації, представленої у цифровому вигляді. Необхідність цих досліджень пов'язана з тим, що:

- постійно зростає попит на «онлайнове» одержання інформації;
- під час створення електронних бібліотек витрачені величезні кошти на оцифрування документів, підготовку баз даних, організацію доступу до електронних ресурсів;
- оцифрування видань минулих років створило умови для того, щоб вони стали відомі широкому колу дослідників [2].

Переведення документів у цифрову форму дозволило вирішити ряд проблем тривалого зберігання, зокрема: забезпечити можливість контролювання документів без втрати якості, усунення дефектів на носіях з аналоговою формою (подряпини на відеоматеріалах, шуми на аудіо записах тощо) та мультимедійного представлення інформації.

Створення величезних архівів інформаційних матеріалів у цифровій формі призвело до появи ряду проблем, що вимагають вирішення найближчим часом, а саме: створення надійних носіїв для довготривалого зберігання цифрової інформації, розроблення і впровадження спеціальних форматів для запису інформації, яка підлягає довготривалому зберіганню, розроблення спеціальних пристроїв зчитування інформації. Незважаючи на важливість і складність завдань щодо вирішення проблем швидкого морального старіння програмного забезпечення, а також технічного і морального

старіння систем зчитування інформації, найважливішою з цих проблем є створення носіїв для довготривалого зберігання цифрової інформації.

Під час використання інформації у цифровому вигляді виникає необхідність розробляти і використовувати спеціальні засоби для унеможливлення змін записаної інформації, доповнювати дані в електронному вигляді контекстною інформацією, зберігати не тільки самі носії, але й пристрої запису інформації на них, а також програмне забезпечення, що реалізує представлення інформації у формі, прийнятній для сприйняття [3]. Носії з цифровою формою представлення інформації більш чутливі до появи локальних дефектів у записах.

Важливою для носіїв архівного зберігання інформації є форма її представлення. Ця форма повинна дозволити відтворювати інформацію різними фізичними методами. Прикладом вдалого вибору форми фізичного представлення може служити використання мікрорельєфного представлення інформації на воскових циліндрах, грамплатівках, компакт-дисках.

Записи на воскових циліндрах, шелачних грамплатівках, виконані з рельєфним представленням інформації на досить недосконалому устаткуванні, при застосуванні сучасних технологій можуть бути відтворені з кращою якістю [4]. У даний час розроблюються методи рельєфного запису з щільністю запису порядку десятків Гбайт/см².

Сучасні носії для архівного зберігання інформації. Зараз для архівного зберігання інформації в цифровій формі переважно використовують магнітні стрічки [5]. Накопичено значний досвід зберігання аудіо- і відеоінформації на магнітних носіях. Існують зразки магнітних стрічок з аналоговими аудіозаписами, на яких інформація зберігається більше 50 років. За останні десятиліття значно удосконалено системи магнітного запису на стрічковому носії і зокрема:

- використання основ з поліетилентерефталата дозволило зменшити товщину стрічок, збільшити швидкість переміщення носіїв;
- нанесення алмазоподібних захисних покриттів дозволило забезпечити механічний захист інформаційного шару;
- вакуумнонапилені магнітні покриття мають мінімальну кількість дефектів, пов'язаних зі сторонніми включеннями, високу стабільність магнітних властивостей.

Основну увагу під час розроблення нових типів магнітних стрічок приділялося підвищенню щільності запису інформації (ємність сучасних магнітних стрічок складає сотні Гбайт) і швидкості записування інформації (швидкість записування/відтворення складає десятки мільйонів байт/с). Однак гарантований строк зберігання інформації на стрічках практично не змінився (30–40 років) [6]. Суттєві труднощі під час використання магнітних стрічок для архівного зберігання даних зумовлює наявність значної кількості форматів записів (сотні), які у більшості випадків є несумісними або мало сумісними, а також різних пристроїв запису. Така ситуація призводить до необхідності періодичного перезапису на нові носії. Якщо враховувати обсяги інформації, збереженої на магнітних стрічках (тільки аудіозаписів – десятки мільйонів годин), то ця операція стає дуже високовартісною і складною для реалізації [7].

Відсутність надійних носіїв для цифрового запису визначила в останні роки інтерес до зберігання інформації на мікрофільмах в аналоговій формі. Пропонується технологія архівного зберігання, за якою створюється цифровий файл, що записується в аналоговій формі на мікрофільм як резервна копія для довготривалого зберігання. У разі втрати цифрової копії вона може бути відновлена при скануванні мікрофільму. Строк зберігання галогенідосрібних мікрофільмів може складати десятки років. Однак, ця технологія не дозволяє записувати мультимедійну інформацію, забезпечувати високі швидкості відтворення даних.

Аналіз можливостей використання оптичних дисків для довготривалого зберігання інформації. Серед розроблених на сьогодні технологій найбільше задовольняють вимоги щодо створення носіїв для довготривалого зберігання оптичні методи запису і зберігання інформації.

Оптичні носії мають ряд особливостей, що дозволяють розглядати їх як перспективні носії для довготривалого зберігання інформації, а саме:

- безконтактне зчитування інформації, що забезпечує доступ до змісту документа без порушення оригіналу і можливість довготривалого зберігання інформації;

- використання фізичних методів захисту записаної інформації від механічних пошкоджень;

- реалізація зворотної сумісності на нових типах пристроїв відтворення інформації;

- висока щільність запису, можливість збільшення щільності і швидкості запису інформації;

- використання режиму однократного записування і багаторазового зчитування, при якому зроблений на такому диску запис не може бути стертий чи замінений на новий (інформація архівних документів не підлягає будь-якому коригуванню);

- використання надійного рельєфного представлення інформації;

- можливість застосування високостабільних матеріалів для виготовлення оптичних дисків;

- використання універсальних захисних контейнерів для всіх типів оптичних дисків.

Найдовший строк зберігання серед оптичних дисків мають оптичні диски на скляних підкладках з одношаровим покриттям типу WORM [8]. Строк зберігання записаної інформації на них може складати, на думку розроблювачів, 100 років, тоді як такий строк для стандартних компакт-дисків – не більше 20-30 років. Цей строк залежить від особливостей технології виготовлення носіїв, призначених для масового користування. Строк зберігання інформації на стандартних компакт-дисків обмежений через такі причини:

- нестабільність властивостей і недостатня механічна міцність підкладок з полікарбонату;

- використання оптичних інтерференційних структур, виконаних з різномірних матеріалів (у деяких типах компакт-дисків (CD-R) має місце мала адгезія між шарами), що призводить до зміни оптичних властивостей при коливаннях значень температури і вологості;

- сильна залежність властивостей носіїв від умов виготовлення компакт-дисків і режимів записування інформації на них.

Значно підвищити надійність зберігання інформації порівняно зі стандартними компакт-дисків (CD, DVD) і носіями типу WORM (оптичні носії з локальним видаленням матеріалу поглинаючого шару на ділянках запису сфокусованим лазерним випромінюванням) можливе за рахунок виготовлення носіїв зі стабільнішими в часі характеристиками, здатними витримувати коливання температур і вологості в ширшому діапазоні, ніж носії з полікарбонатними підкладками. Доцільно створювати носії інформації з однорідних матеріалів [9].

Ці носії слід виготовляти з використанням технологій, що застосовують у виробництві компакт-дисків. В них використовують формати представлення даних на стандартних компакт-дисків, вони мають геометричні розміри стандартних компакт-дисків і відтворюють на плеєрах стандартних компакт-дисків. Ці носії можна розглядати як розширення «сімейства» компакт-дисків зі специфічною сферою застосування.

ня. У металевих носіях інформації використовують мікрорельєфне представлення інформації на нікелевих підкладках товщиною 0,1–0,3 мм, що герметизовані захисними прозорими шарами з полімерних матеріалів або силікатного скла. За необхідності можна здійснювати заміну захисних шарів (реставрація носія). Строк зберігання інформації на металевих носіях може складати сотні років. Так, мідно-нікелеві штампи для тиражування грамплатівок, виготовлені 60–70 років тому, добре збереглися й аудіо інформація з них відтворюється з високою якістю звучання. Проведений аналіз хімічного складу поверхневого нікелевого шару показав, що проникнення кисню в штамп незначне й окисли локалізовані в основному на домішках. Суцільна окисна плівка на поверхні нікелю відсутня. Сучасні методи гальванопластики дозволяють одержувати нікелеві носії з кількістю домішок не більш 0,005–0,01 %, що менше, ніж на порядок кількості домішок у металах для тиражування грамплатівок. Це створює додаткові можливості для забезпечення довготривалого зберігання металевих носіїв. Окисні шари на поверхні нікелевих носіїв, що спричиняють до зміни геометричних розмірів пітів, можуть утворюватися за 250–300 років. Найбільша проблема, що виникає під час використання металевих носіїв полягає у необхідності захисту поверхні носіїв від забруднень. Перспективною є технологія виготовлення компакт-дисків зі скляними підкладками, що дозволяє зберігати зафіксовану на них інформацію сотні років.

ВИСНОВКИ

Використання оптичних носіїв дозволяє вирішувати основні проблеми забезпечення довготривалого зберігання цифрової інформації.

Строки зберігання інформації на оптичних носіях можуть бути істотно збільшені (до 200–300 років) при використанні високостабільних матеріалів для підкладок носіїв і однорідних структур для представлення інформації.

Одним з основних чинників, що визначають тривалий строк зберігання інформації на металевому і скляному оптичному дисках, є можливість зчитувати інформацію з них різними методами, наприклад методом скануючої тунельної мікроскопії.

1. *Coughlin T., Waid D.* SANs/SSPs drive storage demand // *Data Storage* - Feb. 2001. P. 30-33.
2. *Демидов А. А.* Перспективы сотрудничества по сохранению цифрового наследия // *Труды конф. "Информация для всех: культура и технологии информационного общества"*. Москва, 1-5 декабря 2003 г. С. П2-1-1-П2-1-4; *Афиногенов Л. П.* Длительное хранение информации в технических системах. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 256 с. 3. *Hedstrom M.* Digital preservation: a time bomb for digital libraries // *Пономаренко В. К., Пономаренко А. В.* Программное и техническое обеспечение долгоживущих физических копий текстовых и графических данных // *Труды конф. "Информация для всех: культура и технологии информационного общества"*. Москва, 1-5 декабря 2003 г. С. 2-12-1-2-12-3. 4. *Petrov V. V., Onyshchenko O.S., Kryuchin A.A., Shanoylo S.M., Ryabokon I. P.* Optomechanical method of Edison cylinders sound reproduction // *Proc. of the 102 nd AES Convention 1997, March 22-25. Munich, Germany. Preprint 4491 (M4).* 5. *Устинов В. А.* Обеспечение физической сохранности архивных документов // *Техника кино и телевидения*. 2000. № 6. С. 44-48. 6. *Фрадкин В.* Прошлое, настоящее и будущее носителей информации. <https://www.dw.com/ru/14052001> 7. *Устинов В. А.* Носители для аудиовизуальных архивов // *Техника кино и телевидения*. 2003. № 12. С. 54-57; *Левин Л.* Современные форматы НМЛ // *ВУТЕ (Россия)*. 2003. № 8. С. 48-52. 8. *Михайлов О. А.* Электронные документы в архивах. М.: Диалог-МГУ, 2000. 325 с. 9. *Frost T.* Plasmon DVD goes to Mars // *One to One*. 2004. № 3. P. 6. 10. *Петров В. В., Крючин А. А., Шанойло С. М., Косско І. О., Кравець В. Г.* Способи вирішення проблеми довгострокового зберігання інформації, записаної в цифровому вигляді // *Доповіді Національної академії наук України*. 2003. № 4. С. 52-58. 11. *HD-Rosetta archival preservation services.*

Вплив фізико-хімічних параметрів процесу гальванічного осадження нікелю на характеристики штампів для тиражування компакт-дисків

В. В. Петров, А. А. Крючин, Є. В. Боднар, А. В. Панкратова,
Т. П. Дорошенко, В. О. Заболотий

Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2004. Т. 6, № 2. С. 3–10.

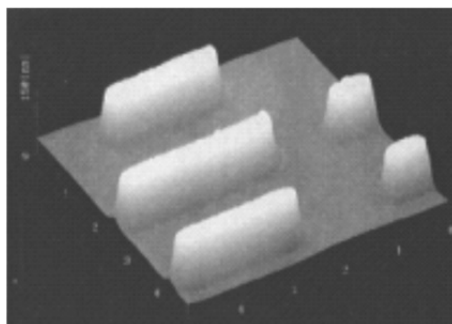
ВСТУП

Гальванопластика є одним з базових технологічних процесів отримання штампів для тиражування компакт-дисків, дифракційних ґраток, голограм [1]. У роботі [2] пропонується використання гальванічного осадження магнітних матеріалів у вигляді стовбчастих структур для створення носіїв інформації з високою роздільною здатністю. У зазначених галузях застосування до гальванічних осадів висуваються досить жорсткі вимоги до наявності домішок, відсутності значних механічних напружень та дефектів кристалічної структури. Для тиражування компакт-дисків широко застосовують нікелеві штампи товщиною (295 ± 5) мкм та діаметром 140 мм. Одна сторона штампів, створеного у процесі осадження, є копією поверхні диску-оригіналу з записаною у вигляді мікрорельєфу інформацією (рис. 1), а інша – дзеркально полірованою. До штампів додатково висуваються наступні вимоги:

- не повинно бути дефектів таких як пітінг (характерний для гальванічних осадів дефект у вигляді мікроотворів на поверхні осадів) і дендритів (утворення ниткоподібних кристалів та деревоподібних відростків);
- мінімальні внутрішні напруження;
- мікротвердість приблизно 300 HV_{100} ;
- шорсткість $R_a \approx 0,5\text{--}1,5$ мкм.

Завдання дослідження полягало у вивченні процесу швидкісного (> 5 мкм/хв) вирощування нікелевих осадів та розробці малогабаритного екологічно безпечного для обслуговуючого персоналу реактора для гальванічного осадження штампів, які використовуються при тиражуванні компакт-дисків.

Рис. 1. Загальний вигляд інформаційної поверхні нікелевого штампів



АНАЛІЗ УМОВ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ШТАМПІВ ІЗ ВИЗНАЧЕНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Для вирощування штампів для тиражування компакт-дисків застосовується сульфаміновокислий електроліт, основним компонентом якого є сульфатат нікелю $\text{Ni}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2$. Його широке застосування пов'язано з тим, що отримані осадки мають низькі, відносно інших електролітів, внутрішні напруження, висока розчинність сульфамату нікелю ≈ 900 г/л дозволяє значно підвищити щільність струму.

У той же час використання сульфаматного електроліту, а також особливості вимог до штамів вимагають виконання наступних умов:

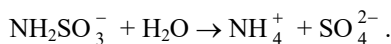
- постійного очищення електроліту від домішок;
- підтримання з досить високою точністю ($55 \pm 0,5$ °C) температури електроліту;
- забезпечення інтенсивної циркуляції електроліту біля ТЕНів для запобігання локального підвищення температури;
- підтримання швидкості потоку не нижче 20 л/хв для змиву бульбашок водню з поверхні катода та недопущення локального перегріву електроліту при високих щільностях струму ($18 \div 22$) А/дм², необхідних для вирощування штаму за 50–70 хв.

Сульфаміновокислий електроліт є дуже чутливим до домішок. Навіть невеликі кількості іонів деяких металів можуть значно впливати на процес вирощування, що призводить до появи різних дефектів. Вплив іонів деяких металів та їх допустимі концентрації наведені в табл. 1. Для очищення від неорганічних забруднень у ванні підготовки встановлено електроочищення електроліту при струмі 0,1–1 А/дм². Крім неорганічних речовин електроліт дуже чутливий до органічних забруднень, внаслідок чого електроліт має періодично пропускатися крізь активоване вугілля.

Таблиця 1. Вплив іонів деяких металів на процес вирощування нікелевих осадів у сульфаміновокислому електроліті

Домішки	Допустима концентрація, 10 ⁻⁶	Вплив домішок	Звичайний рівень забруднення у чистій ванні, 10 ⁻⁶
Залізо	200	Збільшення напружень і твердості, зменшення пластичності.	< 10
Мідь	10	Зменшення пластичності й виходу по струму. Темний колір.	0,1
Цинк	10	Зменшення пластичності й виходу по струму. Розтріскування осадів.	< 0,1
Свинець	2	Зменшення твердості. Зменшення пластичності нікелю після нагрівання.	< 0,1
Алюміній	6	Підпалення осадів.	0
Хром, три- або шестивалентний	2	Зменшення пластичності й виходу по струму.	0

Сульфамат-іон має здатність до гідролізу при високих температурах та низькому рН (табл. 2), яке відбувається за схемою



Таблиця 2. Вплив рН та концентрації сульфамату нікелю на його гідроліз

Концентрація сульфамату нікелю, г/л	Температура, °C	рН	Збільшення концентрації іонів амонію через 336 годин, г/л
300	70	2,0	9,7
		4,0	0,95
		5,5	0,1
450	70	2,0	–
		4,0	0,33
		5,5	0,1
600	70	2,0	8,5
		4,0	8,18
		5,5	0,1
600	65	4,0	0,035

Іони амонію, які утворюються внаслідок гідролізу, негативно впливають на процес нарощування та не піддаються виведенню з електроліту, тому необхідно підтримувати температуру електроліту і не допускати перегріву ванни вище 70 °С та зменшення рН нижче 3.

Для вирощування нікелевих штамів найчастіше використовується водний електроліт такого складу:

Компонент	Концентрація
$\text{Ni}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2$	500–600 г/л
H_3BO_3	30–50 г/л
NiCl_2	2–10 г/л

Борна кислота застосовується для підвищення буферних властивостей електроліту. Її концентрація може вільно варіюватись у зазначених межах, не сильно впливаючи на процес. Іони хлору впливають на підвищення процесу розчинення анодного нікелю та для запобігання пасивації катоду при підвищенні щільності струму, але іони хлору впливають на напруження осадів, значно збільшуючи їх, тому небажано збільшувати їх концентрацію. В якості анодів автори застосували S-нікель, в якому присутня сірка у кількості 0,02 %, що значно знижує потенціал розчинення нікелю.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИРОЩУВАННЯ НІКЕЛЕВИХ ШТАМІВ У МАЛОГАБАРИТНОМУ РЕАКТОРІ

Для підготовки, очищення та стабілізації температури електроліту були обрані традиційні схеми ванни підготовки електроліту та циркуляційної системи (рис. 2). Механічний та вугільний фільтри можуть розміщуватись як у додатковій водяній бані ($t = 53\text{--}55\text{ }^\circ\text{C}$), так і у ванні підготовки. Якість отриманих штамів у значній мірі залежить від ступеня очищення електроліту та рівня стабілізації температури та кислотності електроліту.

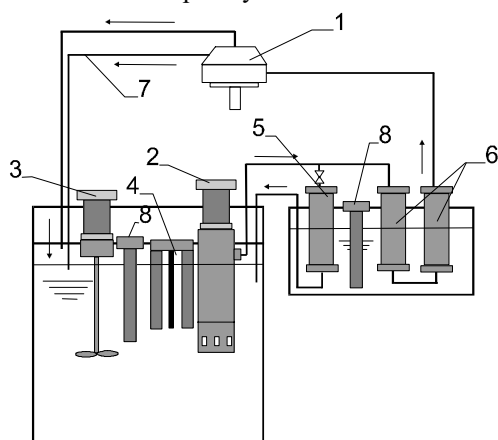


Рис. 2. Циркуляційна система гальванічної установки: 1 – реактор; 2 – насос; 3 – пристрій для перемішування електроліту; 4 – електроочистка; 5 – вугільний фільтр; 6 – механічні фільтри; 7 – сифон; 8 – ТЕНи

Досвід вирощування штамів для тиражування грамплатівок та компакт-дисків показав необхідність циклічного обертання електроліту навколо підкладки. Цим забезпечується як рівномірність процесу гальванічного осадження металу, так і уникнення утворення бульбашок водню на поверхні катоду, які скранують зростаючий нікелевий осад та призводять до виникнення отворів (лунок) на поверхні осаді (пітінг). Запропоновано дві головні конструкції реакторів, що забезпечують рівномірність процесу нарощування нікелю: реактор з нерухомим катодом і реактор з рухомим катодом.

У першій конструкції реактора електроди занурені у невелику робочу ванну, катод розташований паралельно аноду і під кутом 45° до поверхні електроліту та обертається навколо своєї осі. Це забезпечує високу однорідність осадів за товщиною та можливість зміни площі аноду і катоду. Більшість технологічних установок гальванопластики виготовляють з рухомих катодом. Деякі недоліки таких установок пов'язані із забрудненням зони біля ванни продуктами зносу щіток двигуна обертання катоду та необхідністю ручної зміни оператором металізованого диску-оригіналу над відкритою ванною.

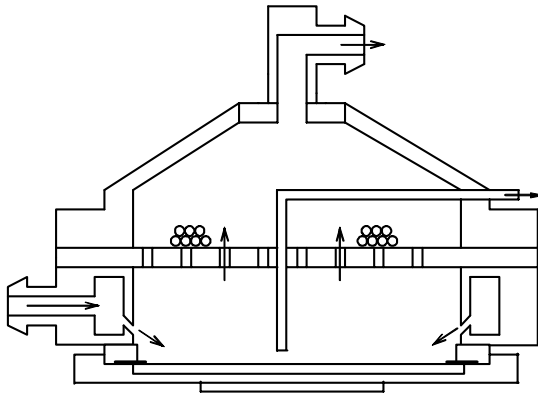


Рис. 3. Схема гальванічного реактора струминного типу

У другій конструкції реактора рівномірна циркуляція електроліту вздовж поверхні катоду забезпечується за рахунок подачі електроліту під тиском крізь систему отворів (кількість отворів 6–12). Осі каналів, крізь які подається електроліт, спрямовані не до центру катоду, а зміщені на $30\text{--}60^\circ$. Крім того, для більш ефективного змивання бульбашок водню з катоду вони можуть бути нахилені на $5\text{--}10^\circ$ до площини катоду.

Загальний вигляд реактора з нерухомих катодом, розробленого авторами, наведено на рис. 3. Запропонована конструкція реактора

є герметичною, що забезпечує відсутність випаровування електроліту та зручність експлуатації.

При дослідженні процесу вирощування штамів у реакторі циклотронного типу головну увагу було приділено визначенню умов отримання осадів з мінімальними механічними напруженнями та шорсткістю.

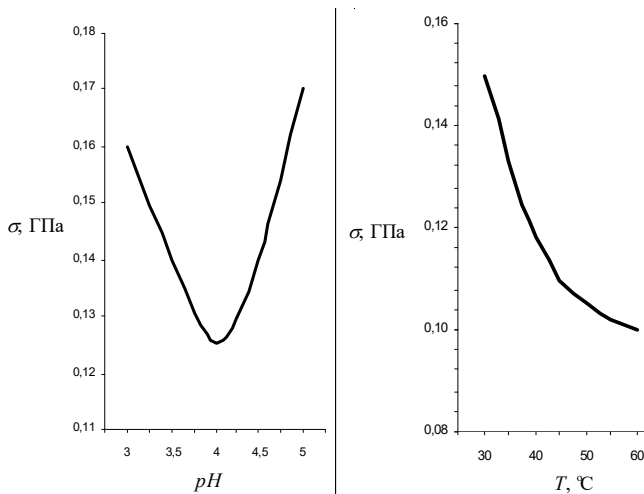


Рис. 4. Залежність механічних напружень у нікелевих осадах від pH і температури

Було встановлено, що мінімальні механічні напруження можуть бути отримані в осадах при температурі $54\text{--}56^\circ\text{C}$ (рис. 4). Ці дані співпадають з раніш отриманими для реакторів з рухомих катодом. При подальших дослідженнях температура електроліту підтримувалась рівною $(55 \pm 0,5)^\circ\text{C}$.

Зміни механічних напружень виявились найбільш чутливими до змін кислотності електроліту. Кислотність електроліту змінювалась до

даванням сульфамінової кислоти. Найменші напруження спостерігались при рН у діапазоні 4,1÷4,2 (концентрація іонів хлору при цьому складала 6 г/л). Зміни кислотності електроліту суттєво впливали на шорсткість осадів. Збільшення шорсткості осадів при підвищенні кислотності електроліту може бути пояснена утворенням при високих рН (> 4,4) гідроксиду нікелю, включення якого до кристалічної ґратки нікелю веде до появи великої кількості дефектів. Вирощування осадів при низьких значеннях рН (< 3,8) неможливо внаслідок інтенсивного виділення водню на катоді, що призводить до пітінгу.

Намагання зменшити час вирощування штампів за рахунок підвищення щільності струму призводить до зростання в них механічних напружень. Аналіз режимів роботи відомих установок вирощування штампів показав, що щільності струму більш ніж 20 А/дм² не застосовуються.

Шорсткість осадів найбільш чутлива до забруднень електроліту і може вважатися критерієм оперативного контролю його необхідної чистоти. Шорсткість осадів із значенням не більше $R_a = 0,5 \div 1,0$ є придатною для виготовлення штампів. У процесі шліфування та полірування тильного боку осаду повинна бути отримана дзеркальна поверхня ($R_a = 0,05$) за 2–3 хв обробки без порушень структури штампів.

На характеристику штампів значно впливає початковий етап вирощування осаду, при якому формується шар металу, що дзеркально повторює рельєфну мікроструктуру (піти) на поверхні металізованого диска-оригіналу. З одного боку проходження струму з високою щільністю крізь тонку металеву плівку може призвести до її руйнування, а з іншого – при щільності струму 0,1÷5,0 А/дм² з найбільшою швидкістю осаджуються домішки металів з електроліту. Це призводить до забруднення інформаційної поверхні штампів і зменшує кількість реплік, які можливо зробити. Штампи, отримані при дуже повільному (менш 0,01 А/с) зростанні анодного струму мали коефіцієнт відбиття на 20–25 % нижчий, ніж при рекомендованих режимах підвищення струму. Суттєвої різниці між рекомендованими змінами анодного струму в початковий період зростання струму для реакторів з рухомим катодом і запропонованого нами для реактора струминного типу визначено не було.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

У розробленому реакторі струминного типу отримано гальванічні осади, з яких після механічної обробки можуть бути отримані штампи для тиражування компакт-дисків.

При дослідженні процесу виготовлення штампів для тиражування компакт-дисків визначені головні типи дефектів, що роблять штампи непридатними до використання, а саме:

- виникнення отворів на поверхні штампів (пітінг);
 - локальні збільшення товщини штампів, біля яких після механічної обробки залишаються кільцеві заглиблення, які відбиваються на поверхні компакт-дисків при тиражуванні;
 - значна шорсткість осадів, що приводить до мікрозаглиблень на поверхні штампів;
 - підвищені механічні напруження, що не дозволяють здійснювати процес лиття;
 - нерівномірний розподіл товщини штампів (різновтовщинність перевищує 5 мкм).
- Причини появи цих дефектів та методи їх усунення наведено у табл. 3.

Таблиця 3. Причини появи та методи усунення дефектів при виготовленні штампів для тиражування компакт-дисків

Дефект	Причина	Методи усунення
Пітінг	Утворення бульбашок водню на катоді внаслідок низького рН	Додавання сульфамінової кислоти
	Забруднення органічними речовинами	Очищення активованим вугіллям, додавання перекису водню
	Забруднення залізом	Електроочищення
	Висока щільність струму	Зменшення напруги
Дендритоутворення, висока шорсткість	Забруднення електроліту механічними частками	Заміна механічних фільтрів
Висока крихкість, темні осади	Забруднення сполуками сірки	Довготривале електроочищення, додавання перекису водню
Високі внутрішні напруження	Занизьке або зависоке рН	Регулювання рН
	Довготривале затягування	Зменшення затягування
	Забруднення електроліту	Проведення комплексного очищення електроліту

ВИСНОВКИ

Реактори струминного типу дозволяють вирощувати нікелеві осади зі швидкістю до 5–6 мкм/хв. Вони придатні для виготовлення штампів для тиражування компакт-дисків за умов постійного очищення електроліту та стабілізації його температури з точністю $\pm 0,5$ °С.

Найбільший вплив на характеристики нікелевих штампів мають кислотність електроліту та ступінь його очищення.

Реактори струминного типу мають перевагу перед іншими типами реакторів завдяки циркуляції електроліту у замкненому об'ємі.

ПОДЯКИ

Автори висловлюють щире подяку спеціалістам Інституту проблем реєстрації інформації НАН України, які в різний час займались розробкою та виготовленням технологічного обладнання для дільниці гальванопластики, спеціалістам Інституту проблем матеріалознавства НАН України за проведення аналізів складу штампів та спеціалістам Інституту фізики напівпровідників за проведення аналізу поверхні штампів.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Pohlman K.C.* The Compact Disk Handbook. 2-d. ed. Wisconsin (USA): A-R Editions. Inc., Madison, 1992. 349 p.
2. *Todorovic M., Shultz S., Wong J., Scherer A.* Patterned Media: Giant Step in Magnetic Sorage // Data Storage. 1999. N S. P. 17–20.
3. *Антронов Л. А.* Теоретическая электрохимия. М.: Высшая школа, 1965.
4. Технология гальванопластики: Справочное пособие / Садаков Г.А., Филимонов О.В. М.: Машиностроение, 1979.
5. *Stain B.* A Practical Guide to Understanding, Measuring and Controlling Stress in Electroplated Metals / AESF Electroforming Symposium. 1996.
6. *Alec Watson.* Nickel Sulphamate Solutions. Nickel Development Institute, 1989.
7. *Peter T. Tang, Sc., Dr. Peter Leisner and Dr. Per Moller.* Improvements of Nickel Sepsit Characteristics by Pulse Plating. Center of Advance Electroplating (CAG). The Technical university of Denmark.

Оптическая запись информации. Научное эссе

В. В. Петров

Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2007. Т. 9, № 3. С. 3-13.

«Я благодарен судьбе, что на первом
концерте меня заметил хороший менеджер»
Лучано Паворотти

Первая демонстрация идеи создания оптической памяти
в Президиуме Академии наук УССР состоялась в 1974 году
и получила поддержку академика Б. Е. Патона

События, которые происходили в нашем коллективе на разных этапах его становления, известны многим. Мы все высоко ценим энтузиазм и высокий научный авторитет наших сотрудников, благодаря самоотверженному труду которых создан наш замечательный институт. Но вместе тем я считаю своим долгом рассказать о событиях и решениях, связанных с созданием института, которые сегодня малоизвестны, но могут быть интересны для многих. Этим мне хочется выразить признательность людям, оказавшим существенную помощь в поддержке и развитии исследований, особенно на первых этапах его становления.

ПЕРВАЯ ПАМЯТЬ

Первые исследования по созданию запоминающих устройств, которыми мне пришлось заниматься, это были вовсе не оптические запоминающие устройства, а исследования по созданию быстродействующих запоминающих устройств на матрицах сопротивлений.

В Харьковском политехническом институте, куда я поступил в 1957 г., в эти годы на многих кафедрах были созданы проблемные научно-исследовательские лаборатории, и студенты уже с младших курсов привлекались к научной работе, выполнявшейся по заказам крупных промышленных предприятий. Лаборатория электронного моделирования, в которой сотрудники своими силами создали, вероятно, самый большой в Советском Союзе комплекс аналоговых вычислительных машин, вела исследования по электронному моделированию сложных нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих динамику электроприводов тепловозов и электровазозов, исследования особенности динамики движения железнодорожных составов с учетом многих нелинейных параметров. В этом же направлении была и моя дипломная работа, в которой исследовалась динамика электроприводов нового шагающего экскаватора, разработавшегося на Новокраматорском машиностроительном заводе. Задолго до защиты диплома мне предложили продолжить работу в лаборатории инженером по научной работе.

В лаборатории сформировался коллектив молодых исследователей, более десяти из которых в дальнейшем защитили докторские диссертации. Активно работал семинар, на котором обсуждались научные исследования и даже для самообразования читались лекции по отдельным разделам математики. На одном из них мной была доложена идея создания быстродействующих запоминающих устройств на матрицах сопротивлений, которая была поддержана, и вскоре я изготовил действующий макет такой матрицы. Заявка на изобретение была подана совместно с В.И. Калашниковым

и А.Я. Шпильбергом, и в очень короткий срок было получено авторское свидетельство. Это была мимолетная работа, но впоследствии она перепределила направление всей моей жизни.

Два года после окончания института пролетели быстро, и стало ясно, что если поступать в аспирантуру, то в Институт кибернетики, в Киев, куда уже переехал ряд сотрудников лаборатории. Направление исследований по электронному моделированию в Институте кибернетики возглавлял член-корреспондент АН УССР Пухов Георгий Евгеньевич. Первый разговор состоялся с ним возле только что построенного здания института на бывшей Большой Китаевской улице. Он сказал: «Молодой человек, Вы рискуете, поступая ко мне в аспирантуру, потому что такой уж у меня характер, что ни в одном городе больше 4–5 лет я не живу. В Киеве я уже живу более 5-ти лет и никакой гарантии, что еще долго буду здесь работать, я Вам дать не могу». Я рискнул – поступил. В этот год (1964) в аспирантуру к нему поступило 12 человек, составивших дружное братство.

Работа началась достаточно интересная, одним из объектов, который был выбран для моделирования, была ферросплавная дуговая печь Никопольского ферросплавного завода – сложный объект с большим количеством нелинейных параметров. Работа начала довольно быстро продвигаться, было подготовлено и опубликовано несколько статей, но, тем не менее, пришлось резко изменить направление диссертационной работы. В эти годы в Институте кибернетики широким фронтом велись работы по созданию цифровых вычислительных машин, и мои старые друзья по Харькову – А. Н. Чеботарев и А. А. Якуба – уже активно работали в отделах В.М. Глушкова и З. Л. Рабиновича. Вот тут я вспомнил о памяти на матрицах сопротивлений, подошел к главному конструктору машины УМШН Борису Николаевичу Малиновскому и рассказал о возможности создания постоянной быстродействующей памяти на матрицах сопротивлений. Эта идея ему понравилась, и он стал оказывать реальную помощь не только в виде советов, но и при проведении экспериментов. В короткий срок, практически за полтора года, были проведены исследования по созданию постоянных запоминающих устройств на матрицах сопротивлений, как для координатных, так и для ассоциативных запоминающих устройств. Были определены критерии реализуемости и рассчитаны возможные основные технические характеристики, которые могут быть получены. Первую статью с результатами этой работы В. М. Глушков представил для публикации в журнал «Доклады АН УССР».

Необходимо отметить, что публикаций по созданию таких запоминающих устройств тогда еще не было, оперативная и постоянная память для ЭВМ массово изготавливалась на ферритовых матрицах, потому в стенах Института кибернетики нашлись и активные критики этой работы. И только значительно позже, когда в Зеленограде в Институте молекулярной электроники создали такую память в микроэлектронном исполнении, ситуация изменилась.

Кандидатскую диссертацию я защитил в марте 1968 г. на одном совете вместе с Александром Георгиевичем Додоновым, который затем стал моим другом и соратником на всю жизнь.

ОПТИЧЕСКАЯ ЗАПИСЬ ИНФОРМАЦИИ

Начало работы в Институте кибернетики было связано с попытками реализации матриц сопротивлений в микроэлектронном исполнении. Собственной технологической базы микроэлектроники в институте практически не было, Институт микроприборов тогда только начинал создаваться, но, тем ни менее, нам совместно методом вакуумного напыления через металлическую маску удалось изготовить на стеклянных

подложках небольшие матрицы с нихромовыми сопротивлениями. Такая технология давала возможность изготавливать матрицы сопротивлений с плотностью размещения элементов 5–10 на квадратный сантиметр, к тому же, получался большой разброс номиналов сопротивлений, что не сулило большой плотности записи информации.

Переломным стало начало 1968 года. За пару лет до этого в соседнем Институте полупроводников было открыто явление фоточувствительных тонкопленочных систем полупроводник–металл. Заведующий отделом Максим Тимофеевич Костышин обратился к начальнику патентного отдела Института кибернетики Скуридину Владимиру Петровичу с просьбой посмотреть, где и как можно использовать этот эффект в вычислительной технике, а он и предложил мне посмотреть, что из этого может получиться.

Собственно сам эффект состоял в том, что на стеклянную подложку вакуумным напылением наносился тонкий слой металлического серебра, а на него сверху – второй слой аморфного полупроводника, например, сульфид мышьяка. Под действием светового пятна от сфокусированной лампы накаливания происходило изменение цвета нанесенных пленок, и в связи с тем, что толщина пленок составляла 0,02–0,05 мкм, сразу стало очевидно, что на таком светочувствительном материале можно регистрировать изображения с размерами в десятые и даже сотые доли микрона.

С этого момента я на пару лет практически переселился в Институт полупроводников, ведь мои коллеги по этому институту – П. Ф. Романенко и Е. Ф. Михайловская – были чистые оптики-спектроскописты, и их интересовало, прежде всего, как изменяется оптический спектр пленок в зависимости от толщины и состава вещества, от интенсивности облучения. Меня же, с точки зрения поиска возможности применений в вычислительной технике, интересовали такие вопросы, как под действием оптического излучения изменяются химические свойства, какова химическая и физическая устойчивость образовавшихся в результате воздействия света новых химических соединений. Существовавшие в то время методы исследования материалов не позволяли исследовать химические и физические свойства таких малых количеств вещества, поэтому пришлось исследовать тысячи образцов и сотни растворителей. Очень большую помощь в этих исследованиях оказал молодой, но уже известный химик Леонид Иванович Марковский, ставший позднее академиком и директором Института органической химии.

За эти два года родилось новое направление в науке – неорганическая фотолинтография, было получено десятки патентов на изобретения, экспериментально с помощью только что появившихся гелий-неоновых лазеров изготовлены металлические полоски шириной около 0,5 мкм. Методом обратной проекции с использованием иммерсионной оптики были получены элементы записи информации и изображения с размером элементов 0,2 мкм, а на кафедре физической электроники Московского университета на японском сканирующем микроскопе экспериментально впервые в мире получены изображения с размерами порядка 0,05 мкм. Это был настоящий прорыв в область микроэлектронных технологий с размерами элементов менее 1 мкм, и мы назвали это технологией изготовления субмикронных элементов, однако значительно позднее, почти через 20 лет, появился и укоренился термин «нанотехнология». За цикл этих работ нашему коллективу была присуждена ежегодная премия Президиума Академии наук СССР «За фундаментальные исследования в области микроэлектроники».

Полученные результаты оказались настолько важными, что руководство института, в соответствии с существовавшей в те годы системой поддержки новых исследований, обратилось в Госкомитет СССР по науке и технике с просьбой о выделении

дополнительного финансирования на развертывание наших работ, и вскоре это финансирование было получено. В апреле 1970 г. была создана лаборатория микроэлектроники со штатом около 25 человек и таким образом появилась реальная возможность создания нового научного направления. К тому времени новый корпус Института кибернетики уже был плотно заселен, и помещений для развертывания работ просто не осталось. Удалось уговорить выделить для этих работ чердачное помещение над конференц-залом, в котором хранились старые газеты из библиотеки, и подвальное помещение рядом с неработающими кондиционерами.

Пришли на работу первые сотрудники, почти все молодые специалисты имели дипломы с отличием. В аспирантуру поступил из ХПИ Александр Петрович Токарь, пришли на работу выпускники Киевского университета Людмила Ивановна Салюк, Андрей Андреевич Крючин, Антонина Дмитриевна Кравченко и многие другие. Начали собирать по крохам научное оборудование, которое в те годы было чрезвычайно дефицитным и дорогим. Но, на наше счастье, Институт кибернетики в те годы выполнял огромный объем хозяйственных работ, и нам иногда удавалось уговорить бухгалтерию покупать оборудование. После того, как были приобретены первые микроскопы, лазеры и вакуумные установки, сразу появилась идея создания оптического диска по аналогии с уже существовавшими тогда магнитными дисками, ведь реализация оптического накопителя информации с размерами элементов записи менее 1 мкм позволяла регистрировать огромные объемы информации.

В быстром темпе на чердаке началось изготовление макета, чтобы продемонстрировать идею. Поворотный стол измерительного микроскопа, гелий-неоновый лазер с объективом от микроскопа, электромеханическая заслонка и фотоумножитель с самописцем позволили создать макет, на котором была осуществлена запись и считывание информации на оптической дорожке шириной порядка 0,7 мкм. В связи с тем, что в качестве регистрирующей среды использовалась система полупроводник–металл, информация после нескольких считываний стиралась, так как светочувствительная среда была линейной и со временем засвечивалась. Этот макет был продемонстрирован В. М. Глушкову и Г. Е. Пухову, и вскоре уже были созданы новые макеты, на которых была осуществлена запись звука и цифровой информации.

Вскоре на заседании Президиума Академии наук УССР должен был состояться научный доклад академика Г. Е. Пухова о развитии работ по электронному моделированию – фактически отчет о научных исследованиях отделения Института кибернетики, которое он возглавлял. В зале заседаний Президиума была организована выставка разработанных машин и вычислительных комплексов, а также макет оптического запоминающего устройства и микроскоп, на котором демонстрировались фрагменты записи информации и юмористический рисунок в стиле Бидструпа, нарисованный линиями шириной менее микрона. После доклада членам президиума было предложено ознакомиться с экспонатами, небольшая часть академиков начала смотреть экспозицию, а остальные пошли на перерыв в комнату отдыха. К нашему стенду подошел академик Швец Иван Трофимович, в то время ректор Киевского университета, выдающийся специалист по теплоэнергетике и педагог. Он сразу оценил важность того, что мы ему показали, срочно пошел в комнату отдыха президиума и привел оттуда за руку президента Академии наук УССР академика Б. Е. Патона.

Разговор растянулся почти на полчаса, Б. Е. Патона интересовала как физика процесса регистрации информации, так и реальные возможности создания систем хранения информации, нужна ли помощь других институтов Академии наук, и есть ли реальный интерес у промышленности. С этого момента и до сих пор он проявляет неизменный интерес к работам нашего коллектива и оказывает реальную поддержку.

1974 г. стал точкой отсчета, после которой наши работы начали стремительно развиваться. 11 ноября 1976 г. на заседании Президиума АН УССР мной совместно с академиком Г. Е. Пуховым был сделан доклад «О состоянии и перспективах развития в АН УССР исследований в области создания оптических запоминающих устройств большой емкости», результатом которого стало постановление Президиума АН УССР № 367 от 11.11.1976, где была отмечена важность и перспективность этих работ.

ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ЕС 5150

Вскоре стало ясно, что самая первая проблема, которую нужно решить – выбор или синтез регистрирующего материала, который позволит осуществлять однократную запись информации и многократное ее считывание. Ведь запоминающие устройства емкостью несколько гигабайт могут найти применение, прежде всего, для накопления и дальнейшего долговременного хранения больших объемов информации. Необходимо сказать, что далеко не все понимали и воспринимали этот подход. Через несколько лет, в 1977 г., эта идея будет нами изложена в виде доклада «Оптический диск как «единый» носитель информации в системах управления» на Всемирном электротехническом конгрессе, а реализована в компакт-дисках только через 15 лет.

Само направление работ по созданию накопителей большой емкости с последовательной, или, как мы говорили, с побитовой записью информации многими учеными, особенно физиками, воспринималось в штыки. Это было время повального увлечения голографией, и поэтому на научных конференциях по оптической записи информации мы практически всегда были «белыми воронами». Один из крупнейших физиков ФИАНа, то ли в шутку, то ли всерьез, называл меня – «враг советской голографии». Но нам приходилось держать все эти удары, так как без отзывов головных московских институтов и видных ученых было не обойтись.

Со временем поиск, а затем и синтез регистрирующих материалов стал для нас ключевым вопросом, эти исследования стали основным направлением работ А. А. Крючина. Оказалось, что в большой степени этим требованиям удовлетворяют халькогенидные стекла, которые являются аморфными в широком диапазоне процентного соотношения химических элементов, имеют низкие теплопроводность и температуру плавления, нежели уже известный нам сульфид мышьяка. Понимая, что синтез многокомпонентных химических соединений – это специфическая задача, мы вскоре выяснили, что достаточно глубоко этой проблемой занимаются в Ленинградском и Ужгородском университетах. В частности, сотрудница Ужгородского университета А. В. Богданова защитила незадолго до этого кандидатскую диссертацию по синтезу халькогенидных стекол в системе серебро–мышьяк–сера–селен. Мы пригласили ее в Киев, направление наших исследований ей понравилось, а так как к этому времени у нас появилось достаточно большое и устойчивое финансирование, нам вскоре удалось создать при Ужгородском университете лабораторию по синтезу материалов для оптической записи информации.

В связи с тем, что работы по созданию памяти на оптических дисках уже начали приобретать некоторую практическую реальность, Г.Е. Пухов разрешил доложить о них подробнее В.М. Глушкову. Был подготовлен целый набор небольших цветных плакатов для иллюстрации идеи и обоснования возможных технических характеристик, и разговор вскоре состоялся. Виктор Михайлович в эти годы активно занимался созданием общегосударственной системы автоматизированного управления, системы коллективных вычислительных центров и отлично знал основные «точки влияния» в Москве. Ему идея создания такой гигантской по тем временам памяти понравилась, и в конце разговора он сказал: «Я не очень представляю, для чего нужны такие большие

объемы информации, но понимаю, что это может быть очень интересно. Поэтому я предлагаю, чтобы ты поехал в Москву и доложил об этом сотруднику Генерального штаба, который курирует работы, связанные с созданием перспективной вычислительной техники».

Я буквально на следующий день выехал в Москву, полковник Максимов меня внимательно выслушал и сказал: «Несколько месяцев назад назначен Генеральный конструктор Единой системы ЭВМ – Ларионов Александр Максимович. Я сейчас ему позвоню и, учитывая просьбу Глушкова, попрошу, чтобы он Вас принял. Создание ряда мощных современных вычислительных машин, ради которого создан Научно-исследовательский центр электронной вычислительной техники (НИЦЭВТ), конечно же, потребует создания больших запоминающих устройств».

А. М. Ларионов был чрезвычайно занятой человек: создавалась огромная система крупносерийного производства вычислительных машин, необходимо было догнать Америку, обеспечить современное производство новой вычислительной техникой. Он меня принял и сказал: «Наша задача состоит в том, чтобы средства вычислительной техники были обеспечены современными разработками – от создания математического обеспечения до создания систем, комплексов, в том числе внешних запоминающих устройств. Непосредственно работами по созданию внешних запоминающих устройств занимается 6-е Отделение под руководством Макурочкина Владимира Григорьевича. Я сейчас его приглашу, и Вы все ему подробно расскажете».

В.Г. Макурочкин – очень известный человек в области записи информации. Под его руководством были сделаны первые накопители на магнитных лентах, и собственно в этот момент основные усилия отделения были направлены на создание накопителей на магнитных дисках емкостью 7–25 Мбайт. Его очень заинтересовало направление наших исследований, и на многие годы он стал куратором, вдохновителем, тем главным связующим звеном с промышленностью, которое конкретизировало наши задачи, которое направляло разработки в русло конкретных исследований для создания техники, необходимой для обеспечения внешней памяти ЭВМ. Он вопрос поставил так: «Ваше состояние работ? Какие максимальные параметры могут быть достигнуты?». Дело в том, что магнитная запись в то время работала с большими скоростями записи. И вопрос был поставлен так: создать накопитель информации, который по скорости записи и формату представления данных был бы совместим с накопителями на магнитных дисках, а по емкости превышал бы их в сотни раз. Совершенно не была понятна область применения, потому что тогда еще таких массивов информации не было. НИЦЭВТ – это организация, которая была создана для быстрой разработки вычислительных систем. Макурочкин сразу поставил вопрос: никаких НИР, сразу ОКР. Год на ТЗ. Параметры: емкость 2,5 Гбайт, скорость считывания 806 кбит/с. Это 1975 год!

Для коллектива это явилось мощным толчком. Появляется возможность набирать дополнительных сотрудников, финансирование дает возможность закупать оборудование. В течение года проводится колоссальное количество экспериментов, и сразу же был определен опытный завод. К сожалению, с опытным заводом у нас получилась чехарда. Самый первый завод был в Загорске – уникальнейший завод, на котором делались все опытные образцы, как крупных вычислительных машин, начиная с БЭСМ, Эльбрус и т.д., так и внешних запоминающих устройств. Затем, чтобы иметь ближе опытное производство, нам был определен Каневский электромеханический завод «Магнит», а затем был целый ряд заводов.

1976–1977 гг. – самые плодотворные годы появления новых идей по созданию оптических дисков большой емкости. Рождаются идеи азростатического шпинделя,

аэростатической каретки для перемещения объектива. Это дало возможность получить перемещение с точностями порядка десятых и сотых долей микрометра. В течение года был разработан технический проект и представлен на защиту в НИЦЭВТ. Защита была проведена при большом стечении народа, и разработка была принята с большим энтузиазмом. Люди понимали, что это действительно новое направление в вычислительной технике. И надо сказать, что интерес был настолько велик, что уже буквально в течение двух недель технический проект, хотя он имел гриф «ДСП», бесследно исчез, и нам пришлось делать дополнительные копии.

Это неудивительно, потому что в то время ни в одной стране мира не велись исследования на таком уровне по оптической записи информации. Только через 10 лет появится первый компакт-диск. На тот момент были известны только разработки оптических лент. За рубежом оптические диски с такой скоростью записи информации были подключены к ЭВМ на 15 лет позднее.

1976 г. Уже ведутся работы по созданию первого в мире оптического диска для вычислительных машин ЕС 5150. Создана кооперация по разработке лазеров и модуляторов, математического обеспечения и контроллеров, материалов для записи информации и объективов. Эта кооперация была во многом образована на энтузиазме. Такая разработка – это всегда комплекс материалов, элементов и систем. Ключевых было, пожалуй, два момента. Первое: это то, что удалось найти качественные стеклянные подложки для того, чтобы стоимость оптических дисков была невелика. Такими подложками оказались стекла, которые массово изготавливались для ветровых стекол по методу флоат-процесса. Эта технология для массового производства ветровых стекол «Жигулей» была закуплена в Англии у фирмы Главеделл, и был построен завод в г. Бор Горьковской области, который начал осуществлять массовое производство листового стекла высочайшего качества. Это стекло толщиной 3 мм было исследовано на Киевском заводе «Арсенал», и было показано, что его оптические свойства настолько высоки, что достаточно лишь небольшой отбраковки дисков, для того чтобы получить массово подложки для оптических дисков. Вторым по важности прорывом было создание аэростатических систем вращения и перемещения. Переход на аэростатические системы позволил радикально изменить представление о возможной точности позиционирования при вращении или перемещении объектива по информационной дорожке. Нам удавалось осуществлять запись и считывание дорожек шириной 0,6–0,7 мкм.

Совместно с Курским политехническим институтом и Кировским КБ СВТ впервые в мире удалось создать контроллер для оптических дисков, работающий с использованием кодов Рида–Соломона. Работы велись полным ходом. И ключевым моментом была конференция по созданию перспективных средств вычислительной техники в ЦНИИ «Электроника» Министерства электронной промышленности в Москве. Эту конференцию открыл только назначенный заместителем министра радиопромышленности Горшков Николай Васильевич. Он сформулировал целый ряд задач, которые нужно решать для создания современных вычислительных машин, и в том числе создание памяти большой емкости. Мой доклад по плану должен был быть сразу после перерыва. И когда я увидел, что Горшков, проведя первую часть заседания, собирается уезжать, я подошел к нему и сказал: «Вы сформулировали задачи по созданию памяти большой емкости, в следующем докладе во многом содержатся ответы на эти вопросы». Он сказал: «К сожалению, я никак не могу остаться послушать доклад, но если Вы сможете, приезжайте завтра в 9 утра в Минрадиопром, пропуск будет заказан, и мы сможем подробно поговорить. В 9 часов я, конечно же, был уже на месте. И разговор начался с подробного рассказа о технической идее, о тех возможностях,

которые может дать оптическая запись. Когда Николай Васильевич – сам грамотный толковый инженер, производственник, потому что прошел все этапы – от начальника инструментального цеха на Загорском экспериментальном заводе до зам. министра – поверил в реализуемость этих идей, он пригласил к себе в кабинет всех ведущих специалистов в этой области: главных конструкторов разработок, специалистов по программированию, производственников. Разговор затянулся практически на весь день. И уже в конце дня он сказал собравшимся у него сотрудникам: «Быть сему!».

После этого в качестве опытного завода сразу был определен Каменец-Подольский завод «Электроприбор», который в это время начал специализироваться на производстве накопителей на магнитных дисках. Тяжелая задача для периферийного завода, не имеющего такого опыта, оборудования, да и специалистов. Директор завода, Романенко Алим Никитич, был занят основной специализацией завода и нашему направлению, хоть и был настроен благожелательно, уделял не так уж много времени. В конструкторском бюро завода был только один человек, который что-то понимал в оптике. Тем не менее, конструкторское бюро провело колоссальную работу для того, чтобы привести наши эскизные разработки к такому состоянию, чтобы они «тянули» на комплект конструкторской документации и были пригодны для организации производства. Была поставлена задача: изготовить 12 систем оптической записи информации и провести их государственные испытания, и эта задача была выполнена.

СТРОИТЕЛЬСТВО КОРПУСА

В то время практически все вопросы решались в Москве (разработки элементов, кооперации, финансирования, кадры), поэтому приходилось там находиться почти 2/3 рабочего времени. В один из этих приездов – в 1985 г. – руководство Главка, с которым мы работали, а это 11-е Главное управление, которое возглавлял Нейман Виктор Миронович, активно поддерживали нас в те годы. Они понимали, что эта работа пользуется поддержкой зам. министра и она была для них почетной. Особенно помогал нам ведущий специалист Кононенко Дмитрий Константинович, оказывая неоценимую помощь в организации работы при подготовке различных документов. В одно из посещений стало известно, что вся общественность вычислительной техники едет поздравлять начальника подотдела Госплана Мацайна Валентина Аганесовича, с которым приходилось неоднократно встречаться на совещаниях. Ему исполнилось 50 лет, и я тоже решил поехать его поздравить. Когда я приехал, разговор вместо простого поздравления затянулся. Он стал в деталях интересоваться направлением работ, интересовался, чем помогать. Человек на уровне зам. начальника Госплана – это очень влиятельное лицо, через него проходило финансирование гигантских работ по созданию различных оборонных систем. У него был очень широкий кругозор, и когда он понял, что это направление работ действительно может представить перспективу, он позвонил начальнику 11-го Главка Иванову и спросил: «Виктор Иванович, Вы эти работы поддерживаете?». Тот говорит: «Да, поддерживаем». «Сколько лет Вы знаете этих людей?» «Лет 6». «Ну, вот считайте, что Вы 6 лет потеряли, потому что этим надо было более серьезно заниматься уже раньше». После этого он позвонил министру радиопромышленности Плешакову: «Петр Степанович, сделайте мне подарок». «Я тебя уже поздравлял вчера на день рождения». «А вот у меня еще одна просьба есть: вот у меня сидит Петров, Вы его знаете?». «Знаю, встречался». «Давайте мы поддержим это направление. Мы сейчас согласуем самое серьезное постановление, которое, как вы знаете, выходит раз в год, по развитию нашей тематики в «Мероприятиях по увеличению обороноспособности страны». Давайте мы пропишем для развития этих работ строительство в Киеве корпуса. Сколько нужно? Ну, например, 10 тыс.

кв. м». Петр Степанович сказал: «Ну, может, мы подумаем еще немножко». «Что тут думать. Мы теряем время. Это очень важное направление». «Хорошо».

И надо сказать, что вот это решение предопределило новый поворот в наших работах. Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР по укреплению обороноспособности страны выходило раз в год осенью. В него включалось строительство важнейших военных объектов, стартовых площадок кораблей, строительство заводов. И, естественно, вот та короткая строчка, которая была в этом постановлении, в Киеве соответствующим постановлением ЦК Компартии Украины, была развернута в конкретное поручение городу и Министерству промышленного строительства. В месячный срок поручено было отвести площадку для строительства, обеспечить организацию строительства и пр. Надо сказать, что это был ключевой момент в становлении нашего института. В это время мы уже построили павильон своими руками народной стройкой площадью 800 кв.м. на площадке, которая использовалась для ремонта метрополитена. И когда стал вопрос о том, где строить, было предложено на этой же площадке построить и корпуса площадью 10 тыс.кв.м для Отделения оптико-механических запоминающих устройств, как тогда назывался наш коллектив.

Киевские архитектурные начальники категорически стали возражать против того, чтобы на этой площадке строить объект Министерства радиопромышленности, и предлагали строить его за пределами Киева. Никакие доводы о том, что это научная организация, о том, что необходимо набирать кадры, которые не поедут далеко за город, не действовали. И решением Президиума городского Совета было отказано в выделении площадки. После заседания Президиума мне удалось попасть на прием к меру, как теперь говорят, Згурскому. Валентин Арсентьевич, который до этого работал директором Киевского радиозавода им. Королева, человек, который понимал важность создания средств вычислительной техники, меня очень внимательно выслушал. И когда он понял, для каких целей предполагается строительство этого корпуса, он сказал: «Хорошо. Поезжай в Москву и скажи, что вопрос о строительстве корпуса согласован». Надо сказать, что ему стоило очень большого труда «переломать» архитекторов города. Несколько раз зам. главного архитектора приезжал на площадку со специалистами, чтобы принять окончательное решение, и оно все-таки состоялось.

И когда все это было включено в планы капитального строительства Министерства радиопромышленности, конечно, возникла масса новых проблем – организационных и технических. В то время мы были еще Отделением оптико-механических запоминающих устройств, но юридически входили в состав Академии наук. Для того, чтобы юридически правильно обосновать строительство, при поддержке Главка создается Специальное конструкторское бюро оптико-механических запоминающих устройств с опытным заводом. Эта была юридическая структура, которую возглавил А.А. Крючин. Он взял на себя очень большой объем работ, включая организационные вопросы. Создание СКБ позволило юридически развязать проблемы с организацией строительства. Была создана дирекция строящегося предприятия, которую возглавил Береговой Леонтий Макарович. И только после этого началось проектирование, и затем строительство корпуса.

Проектирование и строительство корпуса – это чрезвычайно сложная проблема. Корпус расположен в непосредственной близости от метрополитена. Поэтому потребовались специальные расчеты для того, чтобы обосновать, что корпус можно располагать над тоннелями метрополитена на расстоянии 37 м от линии метро. Проектирование осуществлялось Московским государственным проектным институтом и приходилось, чуть ли не каждый день находиться в Москве, для того чтобы согласовывать различные технические решения.

ОПТИЧЕСКИЕ ЦИЛИНДРЫ

К этому времени оптические диски прошли этап госиспытаний. Результаты исследований по созданию запоминающих устройств большой емкости на оптических дисках были подытожены мной в докторской диссертации, которую я защитил в 1983 году. Развитие научных идей оптической записи информации продолжается. Появляется идея записи информации на цилиндр. Это меньшие габариты, это возможность использования полупроводникового лазера, это возможность создания носителей информации для долговременного хранения, потому что запись на оптический цилиндр позволяет полностью герметизировать носитель информации. Эта идея настолько была воспринята организаторами производства и научной общественностью, что мы работали над ней буквально окрыленные. Когда первые наши изобретения по оптическим цилиндрам начали поступать в Комитет по делам изобретений, ими заинтересовался даже председатель этого комитета Найшков. Вскоре он приехал на совещание по изобретательским делам в Киев и сказал Б.Е. Патону: «Борис Евгеньевич! Я считаю, что оптические цилиндры – лучшее изобретение в области электроники за многие десятилетия. Я все сделаю для того, чтобы осуществить патентную защиту этой идеи во всем мире». Он вместе с Б.Е. Патоном приехал к нам в павильон, который мы уже успели построить, и увидел работающую идею воочию. Надо сказать, слово свое он сдержал. Было подготовлено около 30-ти патентов, которые были разосланы в 28 стран мира. Более 600-т заявок на изобретение были разосланы по всему миру и очень многие из них были приняты. Было зарегистрировано более 10-ти патентов США.

Информация об идее оптических цилиндров доходит и в Военно-промышленную комиссию. Техническое руководство страны обеспокоено тем, что за рубежом уже началась эра персональных ЭВМ. Министерства радиопромышленности и электронной промышленности предпринимают отчаянные усилия параллельно и независимо, а иногда и вопреки друг другу, по созданию вариантов персональных ЭВМ. Однако в том и другом случае проблема упирается в создание малогабаритных внешних запоминающих устройств. Такой накопитель на оптических цилиндрах представляется очень перспективным. Об этом докладывают зам. председателю Совета Министров СССР Маслюкову Юрию Дмитриевичу. Он приглашает меня на встречу. Учитывая, что к этому времени Н.В. Горшков уже стал председателем Госкомитета по информатике и вычислительной технике СССР, я попросил его присутствовать на этой встрече. Встреча с Ю.Д. Маслюковым это конечно ключевой момент в развитии и становлении нашего коллектива. Разговор начался с грустной темы. Он сказал, что вчера в одной из стран мира арестовали нашего хорошего друга, который помогал нам получать новые образцы вычислительной техники. Поэтому мы понимаем, насколько важна разработка собственных перспективных средств вычислительной техники. «Если ваша идея по оптическим цилиндрам действительно опережает мировой уровень, то, конечно, мы будем ее поддерживать». Беседа продолжалась больше двух часов. И когда он понял перспективность и реализуемость этой идеи, он спросил, чем помочь. Н.В. Горшков говорит: «Ну, мы уже помогаем: корпус уже строится. Конечно, надо было бы создать институт». Юрий Дмитриевич снимает трубку ВЧ-связи и набирает номер секретаря Компартии Украины Крючкова Василия Дмитриевича: «Вы знаете об этих работах?». «Знаю». «Поддерживаете?». «Поддерживаю». «А поддержите, если мы попросим Вас, чтобы Политбюро ЦК Компартии Украины в короткий срок приняло решение о создании института?». «Поддержим». И собственно это стало толчком и быстрым решением организационных вопросов, которые затем буквально всего лишь в течение нескольких месяцев привели к созданию института. Надо ска-

зять, что создание института в Академии наук Украины раньше было достаточно длительным процессом. Необходимо было иметь в коллективе не менее 10-ти докторов наук. В Академии наук создавался всего один институт в год – такая была квота. И процесс длился десятилетиями. Такого быстрого решения не ожидали, потому что от момента этого разговора в мае месяце до создания института постановлением Президиума АН УССР прошло всего лишь пять месяцев. Но это была непрерывная кулуарная работа согласований в различных инстанциях и, самое главное, в Президиуме АН СССР. Надо сказать, что Велихов, который тогда был руководителем Отделения информатики, вычислительной техники и автоматизации АН СССР, сразу поддержал. Однако для того, чтобы пройти заседание, получить согласие и решение Бюро Отделения, необходимо было согласовать название института и основные направления с академиками-членами Отделения. Если большая часть сразу поддержала предложение о создании института, то разговор с академиком Самарским – известнейшим математиком – проходил в течение многих этапов. Он достаточно твердо настаивал на том, чтобы в названии было не «систем регистрации информации», а «систем хранения информации», потому что регистрация информации это первично, а вот хранение информации – это стратегическая задача. Можно было бы с ним и согласиться, но к этому времени было уже проведено согласование почти с десятком организаций до того, как этот вопрос был вынесен на Президиум АН СССР, и пришлось его уговорить не менять название. Но сегодня мы понимаем, насколько он был прав, потому что именно после того, как научились регистрировать большие объемы информации, долговременное хранение информации становится наиболее актуальной задачей.

Сентябрь 1987 г. – доклад на Президиуме АН УССР о создании института. Имеются все необходимые поддержки. Г.Е. Пухов понимает, что это направление самостоятельное, и тоже активно поддерживает создание института. Теперь вопрос стоит перед нами – передо мной, Крючиным, Токарем – каким быть институту? Институт Академии наук – это ответственно, исследования должны быть многоплановые, они не могут быть узкоспециализированные. Поэтому принимается решение попытаться пригласить в новый институт ученых, которые могут создать свои собственные научные направления исследований. И такое обращение было поддержано. Первым откликнулся Александр Георгиевич Додонов. Фактически он стал главным соучредителем-основателем института. Вместе с ним мы уже смогли сагитировать в новый институт проф. Тоценко Виталия Георгиевича, проф. Синькова Михаила Викторовича, Хаджинова Владимира Витальевича. Кроме В. Г. Тоценко, все ученые – воспитанники школы Г.Е. Пухова, близко друг друга знавшие, и это во многом способствовало тому, что коллектив, который был создан, вот уже на протяжении 20-ти лет, – это коллектив единомышленников, который пережил и трудные годы, и сумел создать лицо нового института.

1988 г. Выборы в Академию наук УССР. Наше направление работ настолько утвердилось, что в Отделении математики и кибернетики АН УССР, к которому тогда относился наш институт, была введена новая специальность «Оптическая запись информации». По этой специальности я был избран в этом году членом-корреспондентом Академии наук.

Наступает перестройка, идет строительство. Но уже начинаются перебои, и Министерство радиопромышленности принимает решение законсервировать строительство в связи с недостаточным финансированием. Корпус уже возведен на 80 %. Не решается вопрос о строительстве котельной. Без этого корпус не может быть введен даже, если будет построен полностью. Я обращаюсь к Борису Евгеньевичу с просьбой оказать помощь. Он говорит: «В ближайшее время будет выставка Академии наук УССР,

предполагают, что на нее приедет М.С. Горбачев. Постарайтесь ему объяснить важность этого строительства». На выставке Горбачев присутствовал более трех часов. И, когда он подошел к стенду нашего института, я ему достаточно подробно рассказал о наших задачах, он проявил удивительную информированность в этих вопросах и спросил, чем помочь. Я сказал, что нам нужно достроить корпус и продолжить финансирование работ по созданию оптических цилиндров. «Хорошо» – говорит – «напишите мне докладную записку». Надо сказать, что в момент разговора рядом с ним был только начальник охраны, мы находились в отдельном зале, где была экспозиция небольшой группы институтов, которые представляли работы по высоким технологиям: Институт химии поверхности, Институт сверхтвердых материалов, Институт электросварки и наш. Я как-то расслабился и подумал, что ничего из этого не получится. Через две недели меня вызывают в Президиум Академии наук и спрашивают, где докладная записка. Пришлось написать ее быстро на двух страницах на имя Горбачева и передать ее в Президиум Академии наук. В этой записке были сформулированы ряд вопросов: завершение строительства корпуса; финансирование завершения разработки ОМЗУ; завершение разработки элементов.

Через короткий срок меня вызывают в Госплан СССР, тогда это было уже Министерство экономики СССР, и спрашивают: «Это Ваша докладная записка?» «Да». На ней резолюция зелеными чернилами: «Маслюкову, Бакланову, Белоусову, Толстых. Поставленные вопросы решить. Доложить лично мне». Я довольно расслабленно говорю: «Ну, так что? Мало ли у вас таких поручений?» Они говорят: «Нет, таких конкретных поручений, написанных непосредственно Горбачевым, бывает всего лишь несколько в году, поэтому все, что здесь изложено, будет решено. В короткий срок нам удалось решить вопрос о строительстве корпуса, однако вопрос с котельной так и не решался. Надо было искать срочное решение. И возникла идея о том, чтобы поставить временные котельные, и нужно было найти, у кого они могут быть. В то время они использовались для теплообеспечения городков газовиков и нефтяников при строительстве и производились в Румынии.

Я позвонил в Москву своему однокурснику Борису Василенко, который тогда возглавлял производственный отдел Мингазпрома и объяснил проблему. Он предложил срочно приехать с соответствующим письмом Б.Е. Патона на имя Н.С. Черномырдина, тогда еще первого зам. Министра газовой промышленности. Николай Степанович сразу принял меня и поручил своим службам быстро оформить, в общем-то, по тем временам достаточно сложные, бумаги. Уже через месяц передвижная котельная была доставлена из Румынии, и мы смогли сдать корпус Госкомиссии.

Это только один штрих из истории становления института. Я был бы рад, если бы состоялось продолжение и детализация этого эссе.

Дослідження методів оптичного запису та створення систем пам'яті на оптичних носіях

В. В. Петров, А. А. Крючин, С. М. Шанойло,
О. П. Токар, Л. І. Крючина

Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2007. Т. 9, № 3. С. 23–42.

РОЗРОБКА ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИХ МЕТОДІВ ОПТИЧНОГО ЗАПИСУ ІНФОРМАЦІЇ

Одними з перших у світі розробку технології зберігання й розповсюдження інформації на оптичних носіях розпочали в 1969 р. науковці Інституту кібернетики АН України під керівництвом к. т. н. В. В. Петрова. Початок було покладено співробітниками Інституту кібернетики АН України (В. В. Петровим, О. П. Токарем, В. А. Леонцем, І. І. Карпіковим, А. Д. Кравченко та ін.) та Інституту напівпровідників АН України (М. Т. Костишиним, П. Ф. Романенком, Є. В. Михайловською та ін.), які запропонували, розробили та дослідили світлочутливі матеріали високої роздільної здатності на базі халькогенідних напівпровідникових матеріалів [1–4]. Проведені дослідження показали можливість отримання високих щільностей запису на радіаційно-чутливих матеріалах напівпровідник–метал: проекційним методом із використанням імерсії були записані елементи із субмікронними розмірами 0,2–0,3 мкм, а електроннопроменевим експонуванням – 0,07–0,08 мкм. Використання таких світлочутливих матеріалів для формування мікрорельєфних зображень із субмікронними розмірами дозволило створити новий напрямок у мікроелектроніці – неорганічну фотолітографію. За розробку технології неорганічної фотолітографії групі співробітників вищевказаних інститутів (В. В. Петрову, І. І. Карпікову, А. Д. Кравченко, М. Т. Костишину, П. Ф. Романенку, Є. В. Михайловській) у 1973 р. було присуджено премію Президії АН СРСР за фундаментальні дослідження в галузі мікроелектроніки.

Розпочаті під керівництвом зав. лабораторією мікроелектроніки к.т.н. В. В. Петрова комплексні дослідження систем оптичного запису були підтримані академіками АН України В. М. Глушковым і Г. Є. Пуховим. На початку 70-х років в Інституті електродинаміки АН України, в якому під керівництвом В. В. Петрова продовжувалися подальші дослідження оптичних систем реєстрації інформації, були розроблені та виготовлені пристрої запису й відтворення даних на оптичний диск, у яких були реалізовані технічні рішення, що використовувались в усіх наступних пристроях оптичної реєстрації даних, а саме запис крізь прозору підкладку, використання систем автоматичного фокусування та світлочутливих матеріалів з одноразовим записом [5–8] (О. П. Токар, В. А. Леонєць, А. А. Крючин, Л. І. Крючина).

У перших дискових носіях інформації використовувалося реєструвальне середовище напівпровідник–метал [6]. Зовнішній вигляд першого дискового оптичного запам'ятовуючого пристрою, в якому для запису даних використовувався гелій-неоновий лазер, наведено на рис. 1 (1975 р.).

На цьому пристрої було здійснено запис аудіоінформації (використовувався метод широтної імпульсної модуляції) зі швидкістю 150 кбайт/с. Запис даних здійснювався на реєструвальне середовище напівпровідник–метал. Було встановлено підвищення світ-

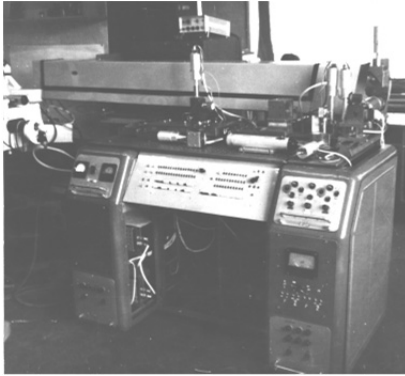


Рис. 1. Дисконий оптичний запам'ятовуючий пристрій

лочутливості реєструвального середовища напівпровідник–метал у процесі експонування лазерними імпульсами тривалістю (10^{-5} – 10^{-8}) с [9].

Проведене математичне моделювання процесів оптичного запису сфокусованим лазерним випромінюванням з урахуванням перешкод від сусідніх доріжок і властивостей оптичних носіїв дозволило визначити граничні значення щільності запису в оптичних запам'ятовуючих пристроях із використанням дифракційно-обмежених оптичних систем фокусування та лазерів із довжиною хвилі 400 нм [10].

До граничного значення щільності запису (10^7 біт/мм²) наблизились у сучасних BD-носіях. Проведені розрахунки показали можливість підвищення в 1,4–1,5 рази щільності запису за рахунок використання нелінійних властивостей світлочутливих матеріалів [11]. Аналіз можливих галузей застосування оптичних дисків, виконаний співробітниками Інституту електродинаміки АН УРСР, дозволив визначити галузі застосування оптичних дисків та їхні необхідні характеристики. В.В. Петровим уперше у світі була запропонована концепція оптичного диска як «єдиного носія інформації» в доповіді на Всесвітньому електротехнічному конгресі в Москві (1977 р.) [12]. Технічні характеристики та галузі застосування запропонованого «єдиного носія інформації» близькі до характеристик компакт-диска CD (табл. 1).

До граничного значення щільності запису (10^7 біт/мм²) наблизились у сучасних BD-

Таблиця 1. Порівняння характеристик запропонованого в 1977 р. «єдиного носія інформації» і стандартного компакт-диска

Характеристика	«Єдиний носій інформації»	Компакт диск CD
Вартість зберігання даних, цент/біт	$(8-20)^{-7}$	$(2-20)^{-7}$
Ємність, Мбайт	1250	650
Час доступу, с	0,1	0,1
Щільність запису, біт/мм ²	$(2-6) \cdot 10^5$	$(5-6) \cdot 10^5$
Швидкість обміну даними, кбайт/с	1–5000	6000
Діаметр диска, мм	200–400	120
Можливість використання в системах масової пам'яті	так	так
Можливість тиражування	так	так
Висока механічна міцність	так	так
Можливість запису інформації в реальному масштабі часу	так	так

Проведені в 1973–1975 рр. дослідження процесів оптичного запису сфокусованим лазерним випромінюванням, світлочутливих матеріалів на базі халькогенідних склоподібних напівпровідників, методів напилення багатокомпонентних напівпровідникових матеріалів дозволили створити технологію виготовлення оптичних носіїв з одноразовим записом і багаторазовим відтворенням даних типу WORM (кількість послідовних зчитувань понад 10^6 разів). Дослідження оптичних властивостей, профілю поверхні, шорсткості показали доцільність використання для виготовлення підкладок оптичних дисків силікатного скла, отриманого методом флоат-процесу (В. В. Петров, О. М. Мотрук).

Для синтезу реєструвальних середовищ оптичних дисків типу WORM в Ужгородському університеті, на замовлення Міжгалузевої лабораторії оптичних запам'ятовувачів (лабораторії ОМЗП), яку очолював В.В. Петров, було синтезовано й досліджено понад 300 різних халькогенідних стеклок (О. В. Богданова, М. Ю. Січка) [13]. Дослідження властивостей багатокомпонентних халькогенідних напівпровідників для оптичних носіїв інформації, методів напилення багатокомпонентних халькогенідних напівпровідників проводились також на хімічному факультеті Ленінградського держуніверситету під керівництвом д.х.н., проф. З. У. Борисової (виконавці М. Д. Михайлов, І. М. Печерицин) [14, 15]. У лабораторії ОМЗП був розроблений метод термоіонного напилення багатокомпонентних халькогенідних напівпровідників (А. А. Крючин, Г. Ю. Юдін, Т. І. Сергієнко), що дозволяв отримувати реєструвальні середовища для носіїв типу WORM, які мали високу надійність зберігання даних [16, 17]. Запис даних здійснювався фототермічним методом на тонкій плівці багатокомпонентного халькогенідного напівпровідника. Під дією коротких імпульсів (10^{-7} – 10^{-8}) с сфокусованого лазерного випромінювання матеріал реєструвального середовища розплавлявся та під дією сил поверхневого натягу переміщувався до країв опроміненої зони [6] (рис. 2).

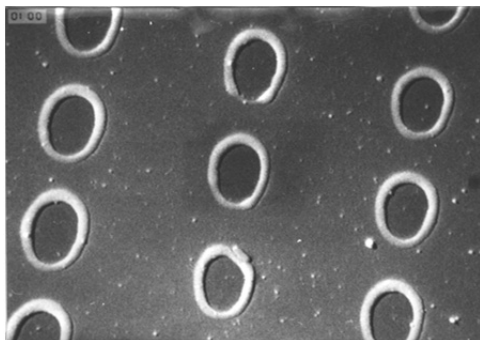


Рис. 2. Піти на реєструвальному середовищі $\text{Te}_{20}\text{Sb}_{10}\text{Sc}_{60}\text{Ge}_{10}$

Протягом 1982–1990 рр. були досліджені процеси реверсивного запису на тонких плівках халькогенідних напівпровідників: проведено математичне моделювання процесів фотоаморфізації (запис даних) і фотокристалізації (стирання інформації) під дією імпульсів сфокусованого лазерного випромінювання, визначено склад телуридних стеклок, найбільш придатних для синтезу реверсивних реєструвальних середовищ, розроблені способи підвищення швидкості процесу фотокристалізації. Були виготовлені зразки реверсивних реєструвальних середовищ, на яких було здійснено

процеси запису й стирання даних (А. А. Крючин, Т. І. Сергієнко, Г. Ю. Юдін, В. В. Іонов, С. М. Петровський) [18].

Для створення реверсивних реєструвальних середовищ було запропоновано використовувати фотолюмінесцентні методи запису інформації, зокрема, ефект фотоелектронного захоплення в іонах рідкоземельних металів. Було побудовано математичні моделі процесу запису, зберігання та стирання даних, виготовлено зразки реєструвальних середовищ, показано перспективність створення оптичної асоціативної пам'яті на реєструвальних середовищах з електронним захопленням (В. І. Зименко, В. Г. Кравець, О. М. Пригун) [19, 20].

Постійно аналізувалися методи підвищення щільності запису інформації в оптичних запам'ятовувачах, зокрема, було запропоновано використання імерсійних систем запису (В. В. Петров, С. М. Шанойло) [21], побудовано математичні моделі ближньопольового та твердотіліноімерсійного методів запису [22], запропоновано способи підвищення оптичного пропускання ближньопольових фокусуєчих систем (А. С. Лапчук, В. В. Петров, А. А. Крючин) [23]. З використанням векторної теорії дифракції проведено моделювання процесу зчитування інформації з носіїв із

рельєфно-фазовим представленням даних і визначені граничні значення щільності запису (В. Г. Клименко, А. С. Лапчук, А. А. Крючин) [24].

Значна увага приділялась питанням створення спеціальних модуляторів, сканерів і дефлекторів, синтезу нових електро- та акустооптичних матеріалів. Нові кристали з високою акустооптичною добротністю були синтезовані в Ужгородському відділенні оптоелектронних матеріалів ІПРІ НАН України (О. В. Богданова, В. В. Данілов, О. Ю. Халахан, І. О. Савельєв) [25]. Конструкції високоефективних приладів керування лазерним випромінюванням були розроблені в ІПРІ М.Ю. Колесніковим [26].

За цикл робіт «Розробка фізико-технічних методів оптичної реєстрації та збереження великих обсягів інформації» колективу дослідників ІПРІ АН УРСР (В. В. Петрову, А. А. Крючину, О. П. Токарю) Президією АН УРСР у 1991 р. була присуджена премія імені С.О. Лебедева.

РОЗРОБКА ОПТИЧНОГО ДИСКОВОГО НАКОПИЧУВАЧА ОМЗП-1

У 1976 р. у міжгалузевій лабораторії була розпочата розробка оптико-механічного запам'ятовуючого пристрою ємністю 10^{10} біт. Накопичувач на змінних оптичних дисках ємністю 10^{10} біт разом із модифікованим пристроєм керування ЄС 5566 був призначений для використання як зовнішній пристрій пам'яті в моделях ЕОМ Єдиної Системи «Ряд-2». Розробка проводилась у відповідності зі спільним наказом Міністра радіопромисловості СРСР і Президента Академії наук УРСР № 19/42 від 23 січня 1976 р. У 1977 р. головним конструктором ЄС 5150 був призначений к.т.н. В. В. Петров.

Оптичний дисковий запам'ятовуючий пристрій ЄС 5150 (оптико-механічний запам'ятовуючий пристрій) дозволяв здійснювати запис/відтворення даних зі швидкістю 6,4 Мбіт/с. Для запису/відтворення інформації використовувався твердотільний лазер з подвоєнням частоти ($\lambda = 532$ нм). Загальний вигляд оптичного накопичувача ОМЗП-1 (ЄС 5150) наведено на рис. 3.

Базовою конструкцією для виготовлення ОМЗП-1 був визначений каркас магнітного дискового накопичувача ЄС 5050. В оптичному накопичувачі були використані блоки живлення накопичувача ЄС 5050. Для отримання високої точності роботи системи позиціонування, мінімального радіального биття дискового носія інформації, високої швидкодії виконавчого механізму системи автоматичного фокусування [27–29] використовувались аеростатичні напрямні. Розробка електромеханічних систем ОМЗП була виконана під керівництвом В. В. Петрова О. К. Войтенком, О. А. Зелінським, В. М. Зеніним, О. В. Якимченком, В. Д. Ковтуном, В. О. Заболотним.

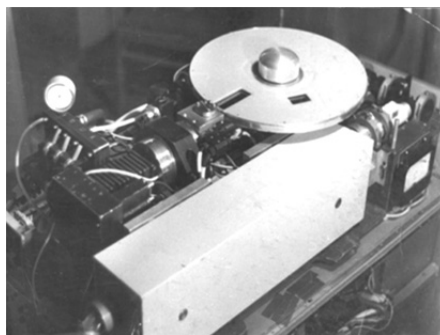


Рис. 3. Загальний вигляд накопичувача ОМЗП-1 (ЄС 5150)

В ОМЗП-1 була використана система автоматичного фокусування лазерного випромінювання, в якій рухомий оптичний елемент був розташований на нерухомій частині оптико-механічного блоку. Це дозволило використовувати для запису/відтворення інформації високоапертурний об'єктив, який фокусував випромінювання крізь скляну підкладку товщиною 3 мм. У розробці оптоелектронних систем ОМЗП-1 приймали участь С. М. Шанойло, Д. О. Попов, В. А. Леонець.

Для визначення положення головки запису був використаний інтерферометричний датчик (розробники – О. П. Токар, В. О. Атаєв). Електронні блоки та системи ОМЗП-1 були розроблені під керівництвом і за безпосередньою участю к.т.н. О. П. Токаря [30–34].

Базові оригінальні технічні рішення були захищені авторськими свідоцтвами СРСР. Патентний захист технічних рішень було виконано під керівництвом к.т.н. В.П. Скурідіна.

Перші експериментальні зразки ОМЗП-1 виготовлялися на Канівському заводі «Магніт». Розробку електромеханічних вузлів накопичувача очолив начальник СКБ заводу «Магніт» П.В. Майстренко.

У 1979 р. наказом Міністра радіопромисловості СРСР базовим заводом для впровадження ОМЗП-1 був визначений Кам'янець-Подільський завод «Електроприлад». Фахівці заводу здійснили випуск конструкторської документації накопичувача. Активну участь у розробці, виготовленні дослідних зразків ОМЗП-1 і проведенні випробувань приймали: начальник СКБ заводу «Електроприлад» Д. К. Матковський, зав. відділу Л. О. Беляков, конструктор В. Ж. Кабернік.

У накопичувачі використовувався оптичний дисковий носій ЄС 5350 із двома робочими поверхнями, ємність однієї робочої поверхні становила 1250 Мбайт. Для захисту реєструвального середовища від механічних пошкоджень і забруднення пилом у носії ЄС 5350 була використана конструкція із двома скляними підкладками, відстань між якими складала 0,5 мм. Герметизація об'єму між підкладками плівковим клеєм, який розміщувався в неробочій зоні диска біля зовнішнього краю, дозволяла захищати поверхню реєструвального середовища.

Загальний вигляд оптичного дискового носія ЄС 5350 наведено на рис. 4.

Технічні характеристики оптичного дискового носія ЄС 5350 наведено в табл. 2.

В електронній системі керування процесом запису/відтворення була використана перша у світі, у діючій системі оптичного запису, система корекції помилок на базі кодів Ріда–Соломона. Блок корекції помилок був виготовлений на мікросхемах середньої інтеграції (розробка виконана спеціалістами Курського політехнічного університету під керівництвом д.т.н. О. П. Тіпкіна) [35].

Таблиця 2. Технічні характеристики оптичного носія ЄС 5350

Характеристика	Значення
Ємність, Мбайт	2500
Кількість робочих поверхонь	2
Швидкість запису, кбайт/с	806
Енергія запису, нДж	1,2
Діаметр, мм	356
Маса, кг	3,5

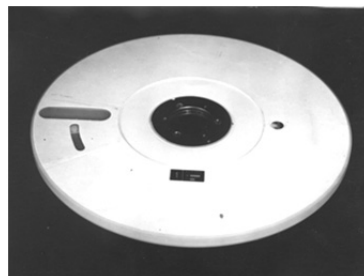
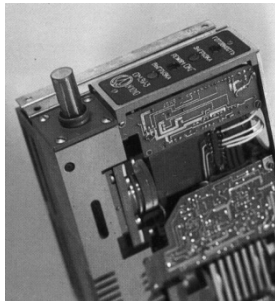
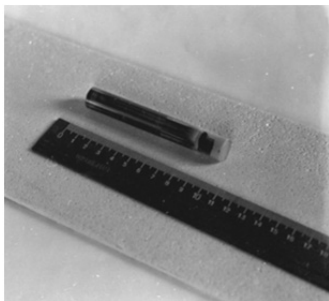


Рис. 4. Оптичний дисковий носій ЄС-5350 (1985 р.)

У 1986 р. було завершено проведення Державних випробувань ОМЗП-1 (ЄС 5150) і прийнято рішення про виготовлення дослідної партії накопичувачів на Кам'янець-Подільському заводі «Електроприлад». Протягом 1987 р. було виготовлено тридцять накопичувачів ЄС 5150, які певний період часу використовувались у дослідній експлуатації для збереження даних сейсморозвідки установами Міністерства геології.

СТВОРЕННЯ МАЛОГАБАРИТНОГО ОПТИЧНОГО НАКОПИЧУВАЧА ОМЗП-3 НА ОПТИЧНИХ ЦИЛІНДРАХ

Розробка малогабаритного оптичного накопичувача ОМЗП-3 на оптичних циліндрах виконувалась відповідно до наказу Міністерства радіопромисловості СРСР від 31.03.1987 р. № 171. ОМЗП-3 дозволяв здійснювати одноразовий запис, зберігання та багаторазове відтворення інформації зі змінного циліндричного носія. Зв'язок ОМЗП-3 з ЕОМ здійснювався за допомогою спеціального контролера. Швидкість обміну інформацією між ОМЗП і ЕОМ становила не менш 750 кбіт/с, ємність змінного носія –



250 Мбайт (щільність запису $3 \cdot 10^5$ біт/мм²), середній час пошуку інформації – 500 мс.

Загальний вигляд накопичувача ОМЗП-3 наведено на рис. 5.

Рис. 5. Загальний вигляд накопичувача ОМЗП-3

ОМЗП-3 призначався для роботи в складі персональних ЕОМ (зокрема, ЄС 1841) у середовищі операційної системи М-86. Вибір для ОМЗП-3 носія циліндричної форми був обумовлений можливістю створення носія з максимальною об'ємною щільністю запису, можливістю застосування імерсійної системи запису, спрощення кінематичної системи накопичувача.

Виконання проекту зі створення накопичувача на оптичних циліндрах передбачало не тільки створення конструкції накопичувача й технології виготовлення оптичних циліндрів, але також і розробку та виготовлення елементної бази для малогабаритних оптичних запам'ятовуючих пристроїв. Тому для виконання проекту було залучено близько тридцять організацій, інститутів і підприємств різних міністерств і відомств СРСР. Зокрема, розробку та виготовлення напівпровідникових одномодових лазерів здійснював НВО «Полус» (м. Москва), оптичних елементів і високоапертурного імерсійного фокусувального об'єктива – ЛОМО та ДОО (м. Ленінград), спеціального технологічного обладнання для виготовлення циліндричних носіїв інформації – НВО «Авангард» (м. Ленінград), технології серійного виготовлення матеріалів реєстрального середовища – НВО «Карат» (м. Львів), прозорого полімерного матеріалу для циліндричних носіїв – УкрНДІпластмас (м. Донецьк), магнітооптичного реєстрального середовища – Інститут фізики Сибірського відділення АН СРСР (м. Красноярськ) та інші інститути й підприємства. Фінансування, контроль і приймання робіт здійснювало НВО «Комета» (м. Москва). Розробку ОМЗП-3 активно підтримував генеральний директор НВО «Комета» академік А.І. Савін. Спеціалісти СКБ НВО «Комета» під керівництвом Ю. П. Кулешова приймали безпосередню участь у розробці цього накопичувача інформації. Заводом-виробником ОМЗП-3 було визначено Брестське виробниче об'єднання засобів обчислювальної техніки (БВО ЗОТ). Головним

конструктором розробки був призначений д.т.н. В.В. Петров. Координацію робіт розробників і співвиконавців робіт здійснювали В.В. Петров, В.І. Кожевничук, О.П. Токар.

При виконанні проекту зі створення ОМЗП-3 було розроблено багато оригінальних технічних рішень, які були захищені більш ніж 100-а авторськими свідоцтвами СРСР і патентами зарубіжних країн (США, країни ЄС) [36-46]. Виявлення патентно-проможних об'єктів, підготовка матеріалів для патентування були здійснені під керівництвом В.В. Петрова О.О. Антоновим і К.Л. Струцинською. Ліцензія на виготовлення циліндричних оптичних носіїв із фототермічним способом запису в 1993 р. була продана компанії «Самсунг» (Республіка Корея).

ОМЗП-3 розглядався як базовий пристрій для створення системи масової пам'яті ємністю тисячі гігабайт із використанням малогабаритних циліндричних носіїв інформації.

В ОМЗП-3 були використані такі головні технічні рішення:

- позиціонування здійснювалось осьовим переміщенням циліндричного оптичного носія інформації;
- обертання циліндричного носія здійснювалось 28-полюсним магніто-електричним двигуном;
- магнітний ротор приєднувався до змінного оптичного носія за допомогою механічної муфти;
- переміщення носія в процесі роботи системи стеження відбувалось магнітоелектричним двигуном, рухома частина якого переміщувалась як поршень в обвідному каналі.

Уперше в світі для створення системи оптичного запису інформації в ОМЗП-3 була використана імерсійна система запису/відтворення інформації. Використання імерсійної системи реєстрації дозволило значно збільшити щільність запису інформації (в 3–4 рази), підвищити надійність зберігання інформації (механічні подряпини, що виникали в процесі експлуатації носіїв не впливали на процес запису/відтворення даних), а також забезпечувало роботу пристрою в умовах значних прискорень і механічних коливань. Розміщення реєструвального середовища в герметичному об'ємі гарантувало тривалий час зберігання даних. Основні характеристики оптичного циліндричного носія ЄС 5353 наведено в табл. 3.

Для нанесення реєструвального середовища на внутрішню поверхню скляних циліндрів діаметром 14 мм була запропонована та реалізована технологія нанесення тонкоплівкових реєструвальних середовищ розкладом металоорганічних сполук у плазмі тліючого розряду (К.П. Гриценко, І.О. Костенко). Запис інформації на металоорганічних плівках олова, телура здійснювався методом локального фототермічного руйнування плівок. Температура, за якої відбувався запис даних, не перевищувала 180–220 °С,

Таблиця 3. Характеристики оптичного циліндричного носія ЄС 5353

Характеристика	Значення
Ємність:	
неформатована, Мбайт	200
форматована, Мбайт	115
Шаг доріжок, мкм	0,9492
Діаметр носія, мм	14,0±0,05
Довжина носія, мм (з елементом муфти)	90,0±0,1
Довжина зони запису, мм	65
Биття поверхні, мкм	±30
Енергія запису інформаційної одиниці, нДж	1,2
Швидкість запису/відтворення даних, кбіт/с	750
Маса, г	30
Термін зберігання даних, рік	25
Діапазон робочих температур, град (°С)	5–50

що надавало змогу використовувати для запису даних малопотужні (<10 мВт) напівпровідникові лазери інфрачервоного діапазону ($\lambda = 0,82$ мкм). Крім металоорганічних плівок для запису використовувалися тонкі плівки багатокomпонентних халькогенідних напівпровідників із підвищеним вмістом телуру та плівки органічних барвників. Реєструвальні середовища наносили зі спеціальних лінійчатих випаровувачів, які розміщувались всередині циліндричних підкладок (К. П. Гриценко, О. М. Федоряк, Ю. В. Ясієвич). Для створення високопродуктивної технологічної лінії виготовлення циліндричних оптичних носіїв була запропонована технологія нанесення реєструвального середовища в процесі формування скляної циліндричної підкладки (В.В. Петров). Розмір пітів, що утворювались в процесі запису на циліндричних носіях, становив 0,4–0,5 мкм. Подальше підвищення щільності запису планувалось із використанням більш короткохвильових лазерів.

Алгоритм роботи пристрою запису передбачав нанесення на поверхню реєструвального середовища доріжок стеження шляхом локального фототермічного руйнування поглинаючого шару. Доріжки стеження забезпечували роботу системи автотрекінга. Для запису службової інформації на циліндричні носії, нанесення доріжок стеження був виготовлений стенд розмітки оптичних циліндричних носіїв інформації (В. А. Леонець, В. Г. Гришко, Г. М. Кузьмін, Ю. О. Бородін, С. О. Алексашин).

Державні випробування ОМЗП-3 (ЄС 5153) завершилися в грудні 1989 р., і була розпочата підготовка виробництва на Брестському ВО ЗОТ.

Результати, отримані в процесі розробки ОМЗП-3, були використані при створенні оптичних носіїв для зберігання медичної інформації. Разом із Київською медичною академією післядипломної освіти ім. П. Л. Шупика МОЗ України був розроблений проект електронного медичного паспорту громадянина України. Діаметр носія становив 9 мм, довжина 25 мм. Ємність носія – 10 Мбайт.

РОЗРОБКА МАЛОГАБАРИТНОГО ОПТИЧНОГО НАКОПИЧУВАЧА НА ОПТИЧНИХ КАРТКАХ

Робота виконувалась у рамках Державної науково-технічної програми «Системи й засоби створення інформаційного середовища України» (1992 р.). При виконанні НДР був створений носій індивідуальної інформації абонента із системою ідентифікації оптичної карти та захисту карти від підробок і копіювання. Головна увага при виконанні розробки приділялась захисту інформації, яка зберігалась на оптичній карті. Зокрема, для захисту інформації від несанкціонованого доступу до неї пропонувалось формувати на носії інформації спеціальну зону для ідентифікації карти. В якості інформаційного масиву, який би міг однозначно характеризувати оптичну карту, було запропоновано використання дефектів реєструвального середовища або випадкової інформаційної послідовності, заздалегідь записаної в зоні ідентифікації на спеціальному пристрої запису інформації лазером із більшою ніж, у серійному пристрої, потужністю випромінювання.

Була розроблена оптична карта з дуговими опорними доріжками із шагом $(1,6 \pm 0,1)$ мкм і шириною $(0,6 \pm 0,1)$ мкм. Для виготовлення оптичних карт із розмірами $(20 \times 16 \times 1,2)$ мм використовувались підкладки компакт-дисків. Ємність однієї інформаційної доріжки оптичної карти становила 620 байт (довжина інформаційної доріжки 10 мм, період розміщення інформаційних одиниць уздовж інформаційної доріжки 2,4 мкм). Розміри зони запису на оптичній карті становили (16×19) мм, загальна ємність оптичної карти 5 Мбайт, швидкість передачі даних 100 кбіт/с. Був розроблений макет пристрою запису інформації на оптичну карту. Головними виконавцями

роботи зі створення системи запису/відтворення даних з оптичної карти були М. Ю. Колесніков, В. А. Леонєць, О. П. Токар.

СТВОРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ВИРОБНИЦТВА ШТАМПІВ ДЛЯ ТИРАЖУВАННЯ КОМПАКТ-ДИСКІВ

У рамках виконання інноваційного проекту № 12/НАН/97 від 12.11.1997 р. в ІПРІ НАН України розроблено й створено технологію виготовлення штампів для тиражування компакт-дисків. До складу комплексу входили такі основні системи:

- станція лазерного запису із системою підготовки даних;
- технологічна лінія виготовлення скляних підкладок і нанесення фоторезисту;
- система автоматичного проявлення дисків-оригіналів із дифракційним контролем процесу проявлення;
- система магнетронного напилення металевого електропровідного шару на поверхню диска-оригіналу;
- гальванічні ванни для осадження нікелю;
- комплекс пристроїв для механічної обробки гальванічних осадів (шліфування поверхні штампа та вирубка отворів);
- система контролю якості виготовлених штампів.

Станція лазерного запису дозволяла записувати дані на диск-оригінал зі швидкістю 300 кбайт/с, а також текстові й графічні зображення в зоні lead-out. Протягом 1999–2002 рр. у станції лазерного запису для запису інформації використовувався аргоновий лазер, з випромінювання якого виділялася лінія генерації 457 нм, модуляція лазерного випромінювання здійснювалась зовнішнім електрооптичним модулятором (розробник системи модуляції В.О. Атаєв), з 2003 р. запис даних здійснювався випромінюванням напівпровідникового лазера з довжиною хвилі 406 нм (розробники оптичної системи запису й автоматичного фокусування лазерного випромінювання С. М. Шанойло, Ю. О. Бородін, В. М. Хрїстін). У системі автоматичного фокусування лазерного випромінювання використовувався астигматичний оптичний датчик. Вертикальне переміщення об'єктива для компенсації биття поверхні диска-оригіналу в період з 1999 по 2005 рр. здійснювалось із використанням електромеханічного механізму переміщення (розробники В. В. Петров, Г. С. Теріда, О. А. Зелінський), з 2006 р. для розширення динамічного діапазону роботи системи автоматичного фокусування було здійснено перехід на п'єзоелектричну систему переміщення мікрооб'єктива (розробники В. В. Петров, О. І. Бріцький, В. О. Атаєв). Перехід до використання п'єзоелектричної системи автофокусування дозволив підвищити швидкість роботи системи в 10 разів. Обертання диска-оригіналу з постійною лінійною швидкістю 2,4 м/с здійснювалось з використанням аеростатичного шпинделя з асинхронним двигуном, керуванню системою контролю швидкості (розробники системи О. І. Бріцький, В. М. Зенін, П. В. Майстренко, І. В. Косяк, О. П. Поречний). Розроблена система обертання диска-оригіналу забезпечувала точність стабілізації швидкості обертання диска-оригіналу 10^{-4} %. У режимі запису ідентифікаційних позначок у вигляді текстових і графічних написів їхній запис відбувався з постійною кутовою швидкістю.

Радіальне переміщення фокусувального об'єктива здійснювалось лінійним двигуном із використанням аеростатичних напрямних (розробник системи О. К. Войтенко). Керування переміщенням оптичної головки запису здійснювалось з використанням сигналів лінійного переміщення від лазерного інтерферометра (розробники інтерферометричного визначення положення головки запису С. М. Шанойло, В. О. Атаєв, Ю. О. Бородін). Точність системи радіального переміщення головки запису становила 0,01 мкм. Радіальне биття доріжок на виготовлених штампах для тиражування



Рис. 6. Загальний вигляд станції лазерного запису дисків-оригіналів

система дозволяла записувати ідентифікаційні позначки в області, яка була не заповнена інформацією.

Проведені дослідження режимів запису даних (для отримання необхідних розмірів пітів на дисках-оригіналах і співвідношення між довжиною пітів і лентів використовувалось укорочення тривалості імпульсів запису) і селективного травлення дозволили створити умови, за яких піти однакової глибини й визначеної довжини утворювались по всій поверхні диска-оригіналу. Це дозволило уникнути появи косметичних дефектів («шмар») на поверхні дисків-оригіналів і компакт-дисків, які досить часто виникають при використанні фоторезистивного мастерінгу [47].

Виготовлення дисків-оригіналів і штампів із необхідним значенням асиметрії сигналів відтворення забезпечувалося використанням системи дифракційного контролю в процесі селективного травлення лужним розчином дисків-оригіналів після запису даних. Головна проблема зменшення впливу коливань поверхні рідини в процесі травлення (диск-оригінал обертався зі швидкістю 200 об/хвилину) була розв'язана за допомогою використання розробленої спеціальної системи обробки сигналів (розробники системи В. О. Атаєв, В. Г. Кравець) [48].

Наведені на рис. 7 піти, сформовані в шарі позитивного резисту, за геометричними розмірами й кутами нахилу стінок відповідають еталонним зображенням поверхні диска-оригіналу.

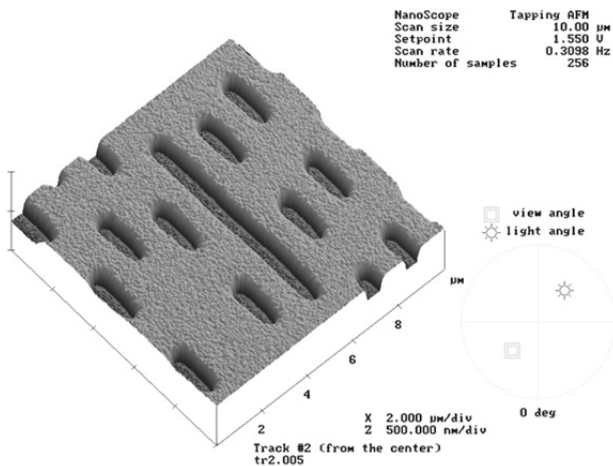
Підкладки для дисків-оригіналів виготовлялися з листового скла товщиною 2,0 мм, виготовленого за технологією флоат-процесу. Була розроблена технологія додаткового полірування підкладок й оптичного контролю якості підкладок (розробники С. М. Шанойло, В. Ф. Бараненкова). Виготовлені підкладки мали биття поверхні не більше 10 мкм і шорсткість $R_a < 0,4$ нм. Для підвищення якості штампів, скорочення часу їхнього виготовлення було запропоновано використання кремнієвих підкладок у процесі виготовлення штампів для тиражування компакт-дисків [49]. Була відпрацьована технологія нанесення позитивного фоторезисту на скляні підкладки (А. А. Крючин, В. О. Атамась, В. Г. Кравець). Для отримання однорідного шару фоторезисту суворо визначеної товщини була розроблена спеціальна центрифуга для нанесення шару фоторезисту із програмно визначеною послідовністю змін швидкості обертання шпинделя, на якому розміщувалась скляна підкладка (В. Д. Ковтун, В. М. Зенін, В. О. Заболотний, А. В. Ковальчук). Значна увага була приділена визначенню режимів термічної обробки шару фоторезисту, які б забезпечували високу чутливість фото-

компакт-дисків не перевищувало 15 нм. Система автоматичного керування процесом позиціонування була розроблена І. П. Рябоко-нем і С. Л. Вдовиченком. При створенні станції лазерного запису особлива увага була приділена усуненню механічних коливань оптико-механічного блоку станції (використані спеціальні опори й підвіска блоку). Загальний вигляд станції наведено на рис. 6.

Система підготовки даних станції лазерного запису була розроблена І. В. Косяком, В. А. Фомінім і О. А. Цубінім. Розроблена

резисту, відсутність дефектів і стійкість до напружень, які виникають у процесі гальванопластики [50]. Була досліджена й відпрацьована технологія магнетронної металізації дисків-оригіналів (В. Г. Кравець, О. В. Шиховець), яка дозволяла вирощувати нікелеві штампи на початковому етапі осадження шару нікелю.

Рис. 7. Зображення поверхні диска-оригіналу після запису даних і селективного травлення



Дослідження процесу гальванопластичного вирощування нікелевих штамків із мінімальними механічними напруженнями та шорсткістю дозволили розробити оригінальну конструкцію гальванічного реактора струминного типу [51]. Розробка малогабаритного реактора струминного типу була здійснена В. В. Петровим, В. Д. Ковтуном, В. О. Заболотним. Дослідження та вибір режимів гальванічного вирощування нікелевих осадів проводилися в різні періоди Д. О. Гриньком, В. Г. Бджолою, А. В. Панкратовою, Т. П. Дорошенко [52]. Спеціальне технологічне обладнання для шліфування нікелевих осадів і вирубки з них штамків з ексцентриситетом центрального отвору відносно інформаційних доріжок менше 70-ти мкм було розроблено В. М. Зеніним, В. Д. Ковтуном, В. О. Заболотним, А. В. Ковальчуком. Спеціальне джерело живлення гальванічних ванн було розроблено й виготовлено П.В. Майстренком і О.В. Борисовим, розробку системи датчиків для гальванічних ванн виконав В.О. Атаєв.

Розроблений та виготовлений комплекс гальванопластики дозволяв вирощувати нікелеві осадки, з яких виготовлялися штампи за 50–55 хвилин. Загальний вигляд реактора струминного типу наведено на рис. 8.

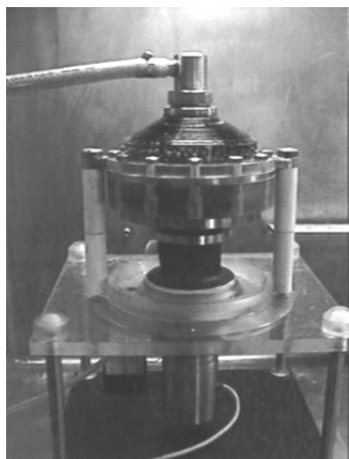


Рис. 8. Загальний вигляд гальванічного реактора струминного типу, розробленого в ІПРІ НАН України

На розробленому технологічному комплексі можуть виготовлятися штампи для тиражування компакт-дисків. Вигляд поверхні нікелевого штампа, виготовленого в ІПРІ НАН України, наведено на рис. 9.

Дослідження хімічного складу нікелевих штамків методом мікрорентгеноспектрального аналізу (МРСА) показало, що розроблені системи підготовки очищення електроліту дозволяють отримувати нікелеві штампи з високою хімічною чистотою (табл. 5) [53] (дослідження виконано в Інституті проблем матеріалознавства НАН України І. О. Косском).

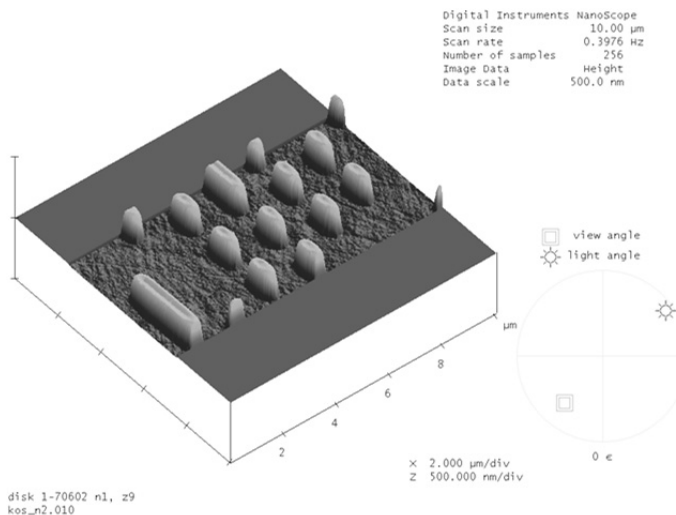


Рис. 9. Зображення поверхні нікелевого штампа, отримане на тунельному сканувальному мікроскопі (аналіз поверхні зроблено на тунельному сканувальному мікроскопі науковими співробітниками Інституту фізики напівпровідників НАН України П.М. Литвиним і О.С. Литвин)

Висока хімічна чистота нікелевих осадів особливо важлива при виготовленні металевих носіїв для довготермінового зберігання даних [53]. Результати тестування типового штампа наведено в табл. 6.

Таблиця 5. Хімічний склад нікелевого осаду, отриманого в реакторі струминного типу

Хімічний елемент	Масова частка
Ni	97,78
Al	0,13
Si	0,89
O	1,20

Була досліджена технологія виготовлення штампів для тиражування компакт-дисків із використанням методів неорганічної фотолітографії й можливість реалізації процесу прямого мастерингу з використанням двошарових неорганічних фоторезистів. Дослідження виконувались спільно з науковими співробітниками Інституту фізики напівпровідників С.О. Костюкевичем і П.Є. Шепелявим [54].

Розроблений технологічний комплекс дозволяє після модернізації системи підготовки даних здійснювати запис даних у форматах компакт-дисків нових поколінь.

ПОДЯКА

Дослідження в галузі оптичної реєстрації інформації проводились в тісній співпраці з науковцями інститутів Національної академії наук України, серед яких: Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова, Інститут фізики, Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича, Інститут органічної хімії, Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля, Інститут електродинаміки, Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова, Інститут монокристалів, Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова. Автори статті висловлюють глибоку вдячність цим науковцям від себе особисто й від співробітників Інституту проблем реєстрації інформації НАН України.

Таблиця 6. Дані тестування штампа для тиражування компакт-дисків

DaTARIUS CS-4 TEST SYSTEM

CS-4 6.02

Order	: ASTRA 10267.1	SysId	: 99-00002846 Ch: 1
Stamper	:	Start	: 14.12.2001 15:30 / SASHA
Testmode	: normal 2x	Proc.Desc.	:
Disc time	: 78:13.63 Tracks: 17[AUDIO]	Machine	: S
EAN code	: 00.00000.00000.	Carrier	:
Q-Class	: REDBOOK [WARNING]	Decision	:

RAD	Min	Max	Avg	25.0	29.7	34.3	39.0	43.6	48.3	52.9	57.6
XT		.50	.44	.44	.43	.44	.44	.42	.44	.42	.44
PPC	.040	.090	.041	.037	.039	.040	.040	.041	.043	.045	.041
I1T	.60		.73	.80	.77	.76	.75	.74	.73	.70	.64
I3T	.30	.70	.46	.48	.49	.48	.47	.47	.46	.45	.42
ASY	-15.0	+5.0	-3.6	-2.6	-2.6	-3.2	-4.0	-4.0	-4.4	-4.6	-5.6
ITP	.70		.75	.76	.76	.76	.76	.76	.75	.75	.73
RN1		.30	.7	.7	.7	.7	.7	.7	.7	.7	.8

STA	BLI	BPL	BLO	ECC	Sce	Time	Event	Group	Description
Act					No event occurred				
Min		24.80							
Max	23.00	25.00	58.00	70					

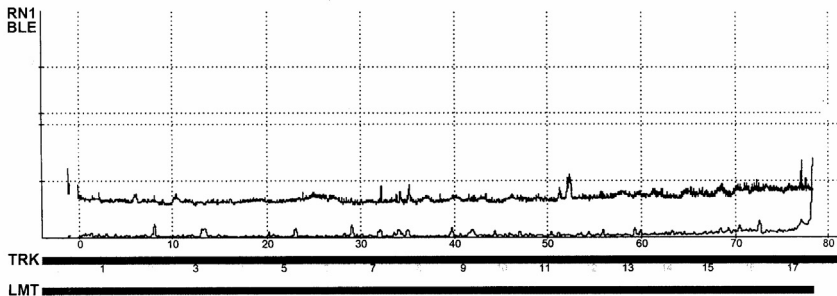
CNT	BLE	FBL	E22	E32	RN1	ITP	I1T	I3T	ASY	TRP	SVY	RAC	VAC	CHK
Min	0	0	0	0	6	.73	.64	.42	-6.2					PP
Pos	-0:03	-1:09	-1:09	-1:09	12:28	77:52	78:22	78:18	78:24					PPC
Lmt						.70	.80	.30	-15.0	1.50	1.20			
Max	142	4	22	0	14	.76	.81	.50	-1.4					
Pos	78:24	23:01	72:41	-1:09	77:11	16:08	-1:09	0:15	0:48					
Lmt	2:20	6		0	30		.70	+5.0	1.70	1.40	.40	10.0		
Avg	6	0	0	0T	7	.75	.73	.46	-3.6					
Dev	4	0	0		0	.00	.02	.01	+4					

0 critical of 4722 measured positions

Test settings

PP testcounter 3
 Integrity check Yes
 Geometric averages used
 Ply.#2846 calib. with CDdouble4d_r71s.mdr
 Vers. 6.02

OPT	BIR	SKR	SKT	TRA	REF	DER
	(nm)	(dgr)	(dgr)	(%)	(%)	(%)
Min						
Rad						
Lmt						
Max						
Rad						
Lmt						
Avg						



ЛІТЕРАТУРА

1. Петров В.В., Карпиков И.И. О применении неорганических светочувствительных материалов для изготовления фотошаблонов // Гибридная вычислительная техника и электроника. – К.: Наук. думка, 1972. – С. 471–490.
2. Петров В.В., Карпиков И.И., Лысенко С.С., Кравченко А.Д. Использование неорганических светочувствительных материалов для изготовления фотошаблонов. Гибридная вычислительная техника и электроника. – К.: Наук. думка, 1972. – С. 491–503.
3. А.с. 258387 СРСР, МКІ⁵ G 11 C 7/00. Спосіб виготовлення фотошаблонів / В.В.Петров,

М.Т.Костишин, К.В.Михайловська, П.Ф.Романенко, Г.Д.Чепель. – Оpubл. 1970; Бюл. № 1. 4. Пат. 3637381 США, МКІ⁵ G 03C 5/00. Radiation – Sensitive Seefrevealing Elements and Methods of Making and Utilizing the Same / R.W.Hallman, G.W.Kurtz (США). Teeg Research, Inc. (США); Заявл. 3.07.1969; Оpubл. 25.01.1972. 5. Оптические диски: история, состояние, перспективы развития / Петров В.В., Крючин А.А., Шанойло С.М. и др. – К.: Наук. думка, 2004. – 174 с. 6. Петров В.В., Крючин А.А., Токарь А.П., Шанойло С.М., Сандул В.Я. Оптико-механические запоминающие устройства. – К.: Наук. думка. – 1992. – 152 с. 7. Леоненц В.А., Токарь А.П. Оптические запоминающие устройства // Гибридная вычислительная техника и электроника. – К.: Наук. думка. – 1972. – С. 504–521. 8. Петров В.В. Оптические ЗУ для вычислительных систем // Тр. III Всесоюз. конф. «Однородные вычислительные системы и среды»: Тез. докл. – Таганрог, 1972. – С. 21–22. 9. Петров В.В., Крючин А.А. О светочувствительности систем на основе стеклообразных халькогенидных полупроводников при высокой мощности облучения // Квант. электроника. – 1974. – Т. 1, № 12. – С. 2618–2620. 10. Петров В.В., Токарь О.П. Про щільність запису інформації в оптичних запам'ятовуючих пристроях // Доп. АН УРСР. Сер. А. – 1973. – № 9. – С. 835–838. 11. Крючин А.А., Петров В.В. Влияние нелинейности регистрирующей среды на плотность записи информации в оптических запоминающих устройствах // Квант. электроника. – 1977. – Т. 4, № 1. – С. 188–190. 12. Петров В.В., Макурочкин В.Г., Токарь А.П. Оптический диск как единый носитель информации // Матер. симпози. «Оптоэлектронные системы записи, хранения и обработки информации». – М.: НИЦЭВТ 1975. – С. 18–19. 13. Петров В.В., Крючин А.А., Богданова А.В. и др. Носители информации оптических запоминающих устройств на основе теллуридных стекол // Физич. электроника. – Львов, Вища школа. – 1984. – Вып. 28. – С. 83–88. 14. Печерицын И.М. Влияние термической предистории и освещения на свойства халькогенидных стекол и пленок на их основе: Автореф. дис... канд. хим. наук. – Л., 1982. – 192 с. 15. Крючин А.А., Крючина Л.И., Петров В.В. и др. Реверсивные регистрирующие среды носителей информации оптических запоминающих устройств: Препр. / АН УССР. Ин-т проблем моделирования в энергетике. – К.: 1986. – 50 с. 16. Сергиенко Т.И., Петров В.В., Крючин А.А., Юдин Г.Ю., Гриценко К.П. Термоионное напыление многокомпонентных халькогенидных полупроводников // Приборы и техника эксперимента. – 1985. – № 1. – С. 215–216. 17. Анализ процессов записи на регистрирующих средах с локальным фототермическим разрушением. Петров В.В., Крючин А.А., Юдин Г.Ю. Тез. докл. II Всесоюз. научно-техн. конф. «Проблемы развития радиооптики». – Тбилиси: М., 1985. – С. 64–65. 18. Petrov V.V., Kryuchin A.A., Yudin G.Y., Sergienko T.I. The Numerical Simulation of Crystallization Process in Recording Media with Phase-Structure Writing Mechanism // Proc. SPIE. – 1994. – Vol. 2144. – P. 380–388. 19. Zimenko V.I., Kravets V.G. et al. Oxides Doped with Rare-Earth Ions as a Recording Medium with Multiple Rewriting // Proc. SPIE. – 1996. – Vol.3055. – P. 31–37. 20. Petrov V.V., Zimenko V.I., Kravets V.G., Polishuk E.Y. Study of Optical Recording Based on Photoluminescence Effect // Proc. SPIE. – 1991. – Vol. 1621. – P. 45–40. 21. Petrov V.V., Shanoylo S.M. Optical Immersion Recording of Computer Data // Experimentelle Technik der Physik. – 1990. – 38, 5/6. – P. 487–490. 22. Lapchuk A.S., Kryuchin A.A. The Theoretical Investigation for Improvement of Scanning Near-Field Optical Microscope // Proc. SPIE. – 2002. – Vol. 4779. – P.180–189. 23. Пат. 67835 Україна, МКІ⁷ G02 B26/10. Зонд близькопольового мікроскопа // А.С.Лапчук, А.А.Крючин (Україна). Заявл 11.10.2001; Оpubл. 15.07.2004; Бюл. № 7. 24. Лапчук А.С., Крючин А.А., Клименко В.О. Розрахунок характеристик дифракції гауссового пучка світла на оптичному носії інформації для тривимірного векторного випадку // Укр. фіз. журн. – 1998. – Т. 43, № 4. – С. 404–409. 25. Данилов В.В., Савельев И.О., Богданова А.В. и др. Измерение акустооптических параметров материалов // Физич. электроника. Вып. 24. Респ. межвед. науч.-техн. сборник. – Львов: Вища школа. Изд-во Львов. ун-та, 1982. – С. 142–145. 26. Kolesnikov M.Y. Particularities of Optoelectronic Deflector Operation // Proc. SPIE. – 1994. – Vol. 2146. – P.18–23. 27. Оптико-механическое запоминающее устройство ЕС5150. Состояние разработки и перспективы развития: Препр. / Львов. ун-т. – Львов: 1985. – С. 7–14. 28. А.с. № 1556394 СССР, МКІ G11 7/00. Узел позиционирования носителя информации / В.В. Петров, А.А. Зелинский, В.Н. Зенин и др. Заявл. 3.07.86. Оpubл. 8.12.89. 29. А.с. 1188782. СССР. Устройство для перемещения головки записи-воспроизведения в накопителе информации / В.В. Петров, А.К. Войтенко, Н.В. Горшков и др. – 1985. – Б.И. № 40. 30. Алексашин С.А., Борисов А.В., Токарь А.П. Устройство привязки объектива к дисковому

оптическому носителю информации // Проблемы регистрации информации. Вопросы оптической регистрации информации: Сб. научн. тр. – К.: Наук. думка, 1991. – С. 103–107. 31. *Токарь А.П.* Управление энергией импульсов записи в оптических запоминающих устройствах // Оптическая запись информации: Сб. научн. тр. – К.: Наук. думка, 1987. – С. 32–35. 32. *Борисов А.В., Спивак И.И., Нетребенко А.В.* Система стабилизации частоты вращения диска в оптическом запоминающем устройстве // Оптическая запись информации: Сб. научн. тр. – К.: Наук. думка, 1987. – С. 28–31. 33. *Токарь А.П.* Передаточная функция линейного двигателя с проводящим ротором // Оптическая запись информации: Сб. научн. тр. – К.: Наук. думка, 1987. – С. 44–46. 34. *Ермолович А.В., Кузнецова С.И., Лукьянова И.В.* Физическая организация данных в оптических запоминающих устройствах // Оптическая запись информации: Сб. научн. тр. – К.: Наук. думка, 1987. – С. 49–53. 35. *Титикин А.П., Петров В.В., Бабанин А.Г.* Коррекция ошибок в оптическом накопителе информации. – К.: Наук. думка, 1990. – 172 с. 36. А.с. № 1839270 СССР, МКИ G11 В7/00. Узел оптико-механического запоминающего устройства / *В.В. Петров, А.А. Антонов, А.П. Токарь и др.*; Заявл. 07.02.86; Оpubл. 30.12.93. 37. Пат. 4811327 США. Оптическое запоминающее устройство / *В.В. Петров, А.А. Антонов, А.П. Токарь, А.А. Крючин, В.П. Скуридин.* 38. Пат. 4829503 США. Оптическое запоминающее устройство / *В.В. Петров, А.А. Антонов, А.П. Токарь, А.А. Крючин.* 39. Пат. 871108 Греция. Оптический носитель информации, способ стирания информации в нем и оптическое запоминающее устройство / *В.В. Петров, Н.В. Горшков, А.А. Антонов, А.А. Крючин, А.П. Токарь, С.М. Шанойло, Д.А. Гринько, Т.И. Сергиенко, Г.Ю. Юдин, Е.Е. Антонов, В.И. Попович.* 40. Пат. 4875204 США. Способ стирания информации / *В.В. Петров, Н.В. Горшков, А.А. Антонов, А.А. Крючин, А.П. Токарь, С.М. Шанойло.* 41. Европат. 0258459. Способ фототермической записи, считывания и стирания информации / *В.В. Петров, А.А. Антонов, Д.А. Гринько, А.А. Крючин.* 42. Международ. заявка W087/04842. Оптическое запоминающее устройство / *В.В. Петров, Н.В. Горшков, А.А. Антонов, А.А. Крючин, А.П. Токарь, С.М. Шанойло.* 43. Международ. заявка W087/04843. Оптический носитель информации, способ стирания информации в нем и оптическое запоминающее устройство / *В.В. Петров, Н.В. Горшков, А.А. Антонов, А.А. Крючин, А.П. Токарь, С.М. Шанойло, Д.А. Гринько, Т.И. Сергиенко, Г.Ю. Юдин, Е.Е. Антонов, В.И. Попович.* 44. Международ. заявка W088/04843. Оптико-механическое запоминающее устройство / *В.В. Петров, А.А. Антонов, А.А. Зелинский.* 45. А.с. 1628081 СССР, МКИ G11 В7/00. Носитель информации оптического запоминающего устройства / *В.В. Петров, А.П. Токарь, Н.В. Горшков и др.*; Заявл. 07.02.1986; Оpubл. 15.02.91. 46. *Петров В.В., Гриценко К.П., Крючин А.А.* Исследование структуры пленок, полученных совместным испарением металлов и политетрафторэтилена в вакууме // Докл. АН СССР. – Сер. А, физ.-мат. и технич. науки. – 1989. – № 12. – С. 64–68. 47. *Петров В.В., Крючин А.А., Шанойло С.М., Атамась В.А., Христин В.Н., Бородин Ю.А.* Особенности получения рельефных изображений на слоях позитивных фоторезистов дисков-оригиналов // Реестрация, зберігання і оброб. даних. – 2001. – Т. 3, № 3. – С. 3–8. 48. *Атаев В.А., Кравец В.Г.* Система дифракционного контроля процесса травления диска-оригинала // Реестрация, зберігання і оброб. даних. – 2002. – Т. 4, № 1. – С. 28–34. 49. Пат. 53637 Україна, МКИ G11В 7/26. Спосіб виготовлення диска-оригіналу для тиражування компакт-дисків / *В.В.Петров, А.А.Крючин, С.М.Шанойло, Д.О.Гринько* (Україна); Оpubл. 17.02.03. – 2 с. 50. *Атамась В.А., Крючин А.А., Петров В.В.* Особенности изготовления дисков-оригиналов для систем лазерной записи информации // Реестрация, зберігання і оброб. даних. – 2004. – Т. 6, № 3. – С. 19–24. 51. Пат. 73551 Україна, МКИ⁷ G25 Д7/00. Пристрій для нарощування гальванічних покриттів // *В.В.Петров, А.А.Крючин, В.Д.Ковтун, В.О.Заболотний, Є.В.Боднар, А.М.Савицький, Т.П.Дорошенко* (Україна). Заявл.06.09.02; Оpubл. 15.08.05; Бюл. № 8. 52. *Петров В.В., Крючин А.А., Боднар С.В., Панкратова А.В., Дорошенко Т.П., Заболотний В.О.* Вплив фізико-технічних параметрів процесу гальванічного осадження нікелю на характеристики штампів для тиражування компакт-дисків // Реестрация, зберігання і оброб. даних. – 2004. – Т. 6, № 2. – С. 3–10. 53. Металеві носії для довготермінового зберігання даних / *Петров В.В., Крючин А.А., Шанойло С.М., Крючина Л.І., Косско І.О.* – К.: Наук. думка, 2005. – 152 с. 54. *Костюкевич С.В., Шепелявий П.Е., Москаленко Н.Л. и др.* Исследование процесса мастеринга компакт-дисков на неорганических фоторезистах // Реестрация, зберігання і оброб. даних. – 2001. – Т. 3, № 4. – С. 5–11.

Using ion beams for creation of nanostructures on the surface of high-stable materials

I. V. Gorbov, V. V. Petrov, A. A. Kryuchyn

Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics.
2007. V. 10, № 1. P. 27-29.

Abstract. Main ion-beam etching techniques for creation of nanostructures on the surface of high-stable materials have been considered. Methods of information recording in the form of nanostructure on the metallic substrate surface have been analyzed. Application of glass substrate for creation long-term data carrier was proposed. Microrelief information record on the glass substrate surface was obtained using the ion- beam etching.

Keywords: dry etching technique, ion-beam etching, reactive ion-beam etching, high-stable material, nanostructure, glass substrate, long-term data carrier.

INTRODUCTION

Micro- and nano-structuring the surfaces is important for the production of many components and systems such as gratings, diffractive optical elements, data carriers, planar wave-guide devices. Although wet etching is well developed for some of these applications, it has inherent limitations caused by undercutting of mask materials, especially for micron and submicron pattern sizes [1]. Dry etching techniques, on the other hand, can generate anisotropic etch profiles and for this reason have come into favour.

The performance of recorded information in the form of microrelief structure on the high-stable material substrate surface is one of the basic approaches for the long-term data storage. Norsam Technologies Inc. realizes data recording on the nickel substrate surface in analog and digital form [2]. The same data carrier is reliable but very expensive. Employment of inexpensive material (quartz, sapphire, silicon, glass) is more appropriate in most cases of archive storage.

ANALYSIS OF ION-BEAM ETCHING TECHNIQUE

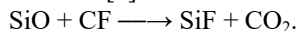
Most usually nanostructure creation on the substrate surface is realized by the etching via a protective contact mask with preformed image. The contact mask image size and type of the etching define dimensions of nanostructures. The masks can be classified by three classes: organic polymer film masks (photoresist, electron-beam resist and ion-beam resist), metal film masks and inorganic or dielectric film masks (carbon, silicon dioxide and nitride) [3]. Using the electron-beam and ion-beam resists allows to create a preformed mask image with 50 nm resolution [4].

Data recording density increase causes a reduction of the structure characteristic dimensions, for example, a track width of Blue-Ray Disc is 150 nm. The methods of etching with a highest resolution are those with using the focused ion beams, especially ion beam etching and reactive ion beam etching. The ion beam etching implicates substrate surface layer removal by means of physical material sputtering by the inert gas energetic ions that are chemically passive to the substrate materials.

The mechanism of material removal in reactive ion beam etching is rather due to chemical reaction between reactive particles and the substrate material atoms than physical sput-

tering [5]. Although many researchers recognize that these two mechanisms are synergistic, i.e. the bombardment catalyzes the surface chemical reactions. Thus, this method of etching is also called chemically assisted ion beam etching.

But although widely developed for silicon dioxide (on silicon), as well as to silica (quartz) glass substrates, there has been limited study of multicomponent silicate or phosphate glass. In the case of silicon dioxide (silica), CF_4 and/or CHF_3 are commonly used dry etching gases because they generate highly volatile SiF_4 , CO/CO_2 and H_2O reaction products. Due to [1] the net reaction in CF_4 , for example, is



EXPERIMENTS AND RESULTS

The data layer in the form of micropits was obtained on the glass substrate surface using ion beam etching (Fig. 1).

The method of data recording is shown in Fig. 2.

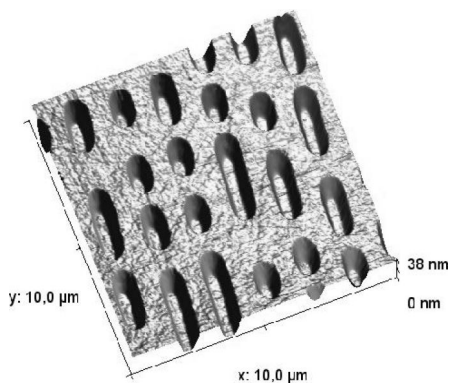


Fig. 1. Microrelief structure of the data layer on the glass substrate surface

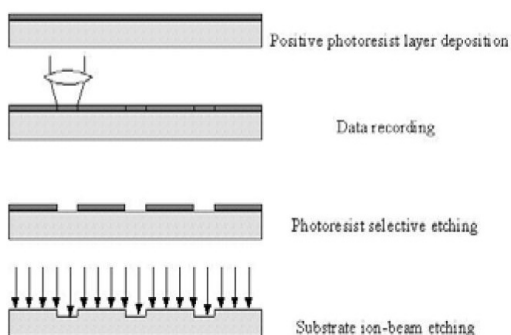


Fig. 2. Data layer creation on the high-stable substrate

On the glass substrate with a positive photoresist layer, the data recording laser beam was focused. The ion-beam etching was performed via mask windows that appeared in the photoresist layer after selective etching.

The photoresist film was firmly adherent to the glass substrates and could not be removed in acetone or the commercial stripping solution after the etching process (presumably, due to some bombardment or electric field induced interfaces reactions). Thus, it was necessary to use O_2 plasma to remove the residual photoresist.

The scheme of ion beam etching system is shown in Fig. 3. The gas source consists of two collars (8, 9) with bore on the top side. It is under dc voltage 2 kV. Inert gas (Ar) comes into it through the insulator 10. Plasma is generated by glow discharge in the space between the gas source and grounded electrode 7. The ion beam is extracted from it by means of electrostatic field and focused using the coil 6. Ion beam consists of positive charge particles 5 that cause formation of the surface charge on the working part of the surface 1. It is insufficient for the ion beam etching of the metal substrate, because a surface charge drains to grounded body. But stored surface charge inhibits further etching of the dielectric working part. Therefore, we used the tungsten filament 2 as an electron emitter to form an electron cloud 3 for creation of neutralized ion beam 4.

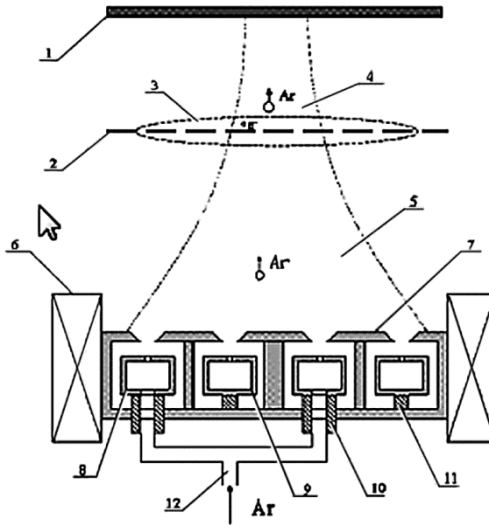


Fig. 3. The scheme of the ion beam etching system: 1 – working part; 2 – electron emitter (tungsten filament); 3 – electron cloud; 4 – neutralized ion beam; 5 – ion beam; 6 – focusing coil; 7 – grounded electrode; 8 – alive external gas source; 9 – alive internal gas source; 10 – insulator with gas input; 11 – insulator; 12 – gas input.

4. CONCLUSIONS

Using the ion beam allows to create a nanostructure on the high-stable material surface. Nanostructure dimensions are defined by material masks and

image record methods. The ion-beam (and reactive ion-beam) etching can be used for creation of long-term data carrier. The mentioned data recording method is appropriate for other high-stable material substrates. It is necessary to select a proper protective contact mask, operating gas mixture and etching regime.

Acknowledgments

The authors thank the staff of V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of NAS of Ukraine for their assistance in nanostructure measurements

REFERENCES

1. E. Metwalli, C.G. Pantano, Reactive ion etching of glasses: composition dependence // *Nucl. Instrum. Meth. in Phys. Research. B* **207**, p. 21-27 (2003).
2. *Norsam Technologies Inc.* <http://norsam.com/hdrosetta.htm>.
3. B.S. Danilin, V.Yu. Kireyev, *Ion etching of microstructures*. Sov. Radio, Moscow, 1979 (in Russian).
4. A. Hohenau, H. Ditlbacher, B. Lamprecht, J.R. Krenn, A. Leitner, F.R. Aussenegg, Electron beam lithography, a helpful tool for nanooptics // *Microelectronic Engineering* **83**, p. 1464-1467 (2006).
5. B.S. Danilin, V.Yu. Kireev, *Application the low-temperature plasma for etching and cleaning of materials*. Energoatomizdat, Moscow, 1987 (in Russian).

Analysis of properties of optical media for long-term data storage

V. V. Petrov, A. A. Kryuchyn, I. V. Gorbov, S. O. Kostyukevych

Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics.
2009. V. 12, № 4. P. 399–402.

The analyses of optical media create possibilities for long-term data storage are performed. The results of experimental investigations of properties inherent to optical media of the WORM type after 25-year are adduced. It has been shown that their micro-relief structure formed by using focused laser radiation on thin films of chalcogenide vitreous semiconductors had not been practically changed after storing them for the above mentioned period in unheated place. The inorganic materials are proposed for creation of optical discs for long-term data storage. The data in CD format is recorded on glass and sapphire surfaces.

Keywords: long-term data storage, optical carrier, ion-beam etching, micro relief, sapphire, chalcogenide vitreous semiconductor.

1. INTRODUCTION

Optical media have sufficient potentiality for building of reliable long-term data storage system. Optical discs are resistant to influence of electromagnetic fields and high humidity. Therewith, contactless read process promises undamaged multiple information playbacks. However, for realization of large-scale information dissemination on optical discs the main attention was focused on creation of cheap manufacturing technique based on injection molding of polycarbonate. A polymeric substrate with relief microstructure used in all types of optical discs. A data distribution system based on CD allows consider it as a system of computer typography. And task of building of long-term data storage system wasn't a goal of CD manufacturing technique creation. The study of optical discs longevity showed that mains reasons of sufficiently fast failure are:

- the mechanical damage of optical discs surface;
- the reflective metallic layer separation from substrate;
- the deformation of optical disks surface by repeat playback;
- the damages of polycarbonate substrate by the microorganisms.

The sufficiently note is given to increasing of BD's longevity because they have predicted widely use. The availability of protected covers for prevention from mechanical failures is studied in the first place.

The WORM-media based on high-stable inorganic light-sensitive materials ensure maximal reliability and storage terms among optical carriers. The greatest reliability can be realized by the optical media where storage unit (or even if track) presented as a relief on the surface of high-stable inorganic materials substrates.

The goal of presented work – the study of properties of recorded WORM-carriers after long-term storage in harsh environment, obtaining of data nanostructures on the high-stable materials surface and development optical media with predicted data storage term exceed 1000 years.

2. THE STUDY OF RECORDING MATERIALS OF WORM-DISCS USED FOR LONG-TERM DATA STORAGE

A high reliability of data storage in optical carriers of the WORM type was provided due to the recording method based on photo-thermal destruction of absorbing layer (ablation

recording). Almost for thirty years of investigations devoted to registering media for optical carriers with single-stage recording, there were offered many various types of registering media mainly based on organic dyes and semiconductor materials, multi-layer metal alloys. The performed investigations showed that the highest reliability of data storage is provided with the photo-thermal recording methods based on local destruction of the absorbing layer (i.e., ablation recording methods) as well as registering media with creation of thermo-stimulated tips caused by melting metallic films [1-4]. In recent years, there arise proposals in regard to using the optical carriers made in accord with the ablation recording method for long-term data storage with application of new light-absorbing materials [5]. Many attempts were made to estimate terms of data storage in WORM type optical carriers, and some accelerated tests to determine these terms [6] were performed. But it seems reasonable to analyze changes in optical carrier performances under conditions of long-term storage. In relation with it, the investigations of properties inherent to optical carriers, the information recording in which was realized 25 years ago using the ablation method.

For a long time, to create registering media for WORM type optical carriers, tellurium alloys were widely used [1, 2, 7]. The choice of these materials was conditioned by the fact that thin films of tellurium alloys possess low thermal conductivity and low melting temperature. It provides high resolution of registering media based on tellurium vitreous alloys (minimum size of recorded pits is close to $0.3 - 0.5 \mu\text{m}$) as well as the possibility to record information with low-powered semiconductor lasers. Performed experimental investigations showed that a dense oxide layer is created on the surface of tellurium glassy alloys. In the process of creation of the WORM type optical disc carriers, the main attention was paid to the choice of materials for registering media capable to provide long-term storage of recorded data. Tens of glassy tellurium alloy compositions were studied to use them as registering media for optical disc carriers of the above type. In accord with preliminary calculations, to make registering media four-component eutectic alloy $\text{Te}_{14}\text{Sb}_{10}\text{Se}_{61}\text{Ge}_{15}$ [7] was chosen, which should provide long-term storage of recorded information. The distinction of using this alloy was in necessity to apply radiation with the wavelengths shorter than 550 nm to record information. Being aimed at performing the comparative investigations of optical carriers, there were made optical discs with registering media containing more than 60% of tellurium. Advantage of these carriers was that information recording in them could be realized with infra-red lasers. But the main reason to use just tellurium alloys instead of pure tellurium films was the necessity to increase the corrosion hardness of registering media. On

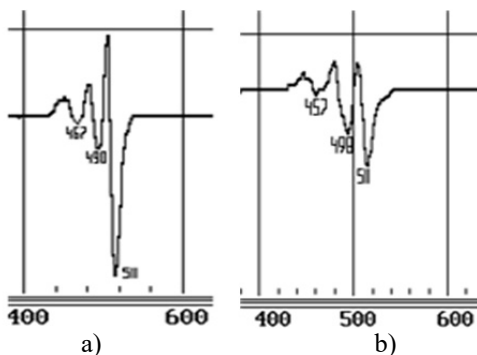


Fig. 1. Distribution of oxygen in registering medium $\text{Te}_{14}\text{Sb}_{10}\text{Se}_{61}\text{Ge}_{15}$ before etching (a) and after etching with argon ion beam down to the depths 25–50 nm (b).

the surface of tellurium alloys with Sb, Se, Ge, there arise dense oxide films that reduce the speed of tellurium oxidation [8]. It was thought that the oxide film arising on the surface of vitreous tellurium layer will protect it against further oxygen penetration. The methods of accelerated aging (exposure of samples to increased humidity and temperature) showed that the speed of growth inherent to the thickness of this oxide layer is sharply reduced with increasing this thickness. The performed layer-by-layer Auger analysis of registering medium $\text{Te}_{14}\text{Sb}_{10}\text{Se}_{61}\text{Ge}_{15}$ manufactured 30 years ago showed that the oxygen content does

not exceed 13 at. %, and oxygen is uniformly distributed along the thickness. Depicted in Fig. 1 are the fragments of respective Auger spectra. In the initial state (Fig. 1a), at the oxygen background 475, 490, 511 eV (the latter is the main peak) lines of Sb and Te are not registered. After etching the oxide film (Fig. 1b), Sb and Te peaks are developed (457 and 498 eV), and the oxygen content is reduced down to approximately 13 at.%. In the case of tellurium, superposition of the main tellurium Auger peak with the oxygen one takes place. Observed there is the shift of the peak from the scale position 491 up to 498 eV. It means that the oxygen-passivated film of multicomponent chalcogenides preserve its chemical composition, while the oxide film was easily etched by argon ion beam. It is noteworthy that oxygen distribution has a similar character both in unsealed registering media and in those covered with a protective polymer layer. Availability of considerable oxygen amount in this registering media can be related with technological features of manufacturing the thin registering layer. When using vacuum deposition, there arises considerable amount of broken bonds in the structure of chalcogenide glass, which results in stage-by-stage accumulation of oxygen in this thin film.

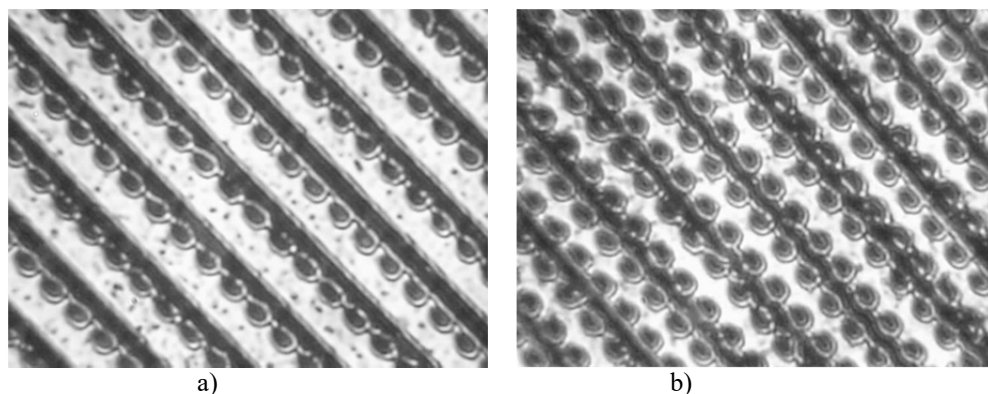


Fig. 2. External view of the recording zone on the optical carrier: data recording is realized from one side of the guide track (a) and from both sides (b)

Recording information onto optical disc carriers with the registering layer $\text{Te}_{14}\text{Sb}_{10}\text{Se}_{61}\text{Ge}_{15}$ was realized using focused radiation of a solid-state laser with the wavelength 530 nm. This record was made due to formation of pits in the absorbing chalcogenide layer. Information was registered on carriers of two types: first, we used optical disc carriers with open surface of the absorbing layer; second, this light-absorbing information layer was protected with a polymer film. In both cases, laser radiation was focused through transparent glass substrate of 3-mm thickness by using a special objective with the numeric aperture 0.65. In the latter case, we joined two substrates of the optical carrier, the thickness of the polymer layer was close to 0.5 mm. That provided independent recording process for each substrate of the optical carrier. After long-term storage (25 years), these optical disc carriers kept mirror reflection, uniformity of coating layers within the area of data recording. The shape and sizes of pits appear to be slightly changed: the sizes are larger a little. Fig. 2 shows the look of the recording zone on the optical carrier after its 25-year storage.

In the course of manufacturing the optical carrier, the surface of registering medium was processed with focused laser radiation to create concentric guide tracks. Information recording was realized on one or both sides of guide tracks. This way to form guide tracks is rather technological (it does not require any special preparation of the information carrier sub-

strate, the tracks can be recorded using the facility for information recording). However, this way has essential deficiencies, namely:

- registering medium of the information carrier is separated by narrow strips, which can have a negative impact on the carrier storage term;
- availability of a bowl formed from material of registering medium along the guide tracks results in reduced density of information recording.

A higher density of recording can be reached in the case when guide tracks are formed in the substrate. It can be realized in glass substrates by using plasmochemical etching [9, 10].

After long-term storage of the optical carrier with registering medium $\text{Te}_{14}\text{Sb}_{10}\text{Se}_{61}\text{Ge}_{15}$, guide tracks were kept unchanged, their sizes did not change within accuracy limits (Fig. 3).

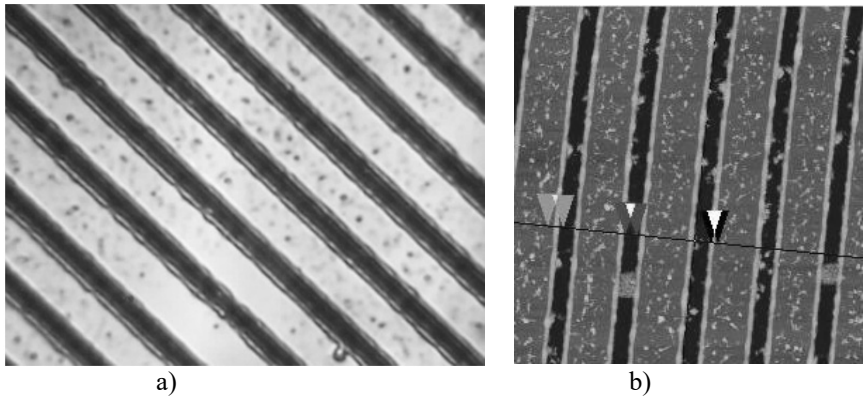


Fig. 3. Guide tracks on the optical disc carrier with registering medium $\text{Te}_{14}\text{Sb}_{10}\text{Se}_{61}\text{Ge}_{15}$ (track pitch $1.6 \mu\text{m}$). The images are obtained using: a) optical microscope; b) scanning tunnel microscope.

3. OPTICAL MEDIA FOR LONG-TERM DATA STORAGE BASED ON INORGANIC MATERIALS SUBSTRATES

As a whole, hopes to create optical disc carriers of the WORM type with glassy substrates based on vitreous chalcogenide semiconductors for long-term information storage are justified. However, our further investigations of properties inherent to optical carriers aimed at long-term storage have showed that optical carriers where microrelief structure is formed in the glassy substrate based on highly stable material have considerably higher reliability. In optical carriers where data recording is realized in CD and DVD formats, to make these substrates one can use optically transparent silicate or borosilicate glasses as well as silica ones. To create Bluray carriers, beside the above mentioned materials one can use substrates made of sapphire ones.

There are an interest in using of substrate made from inorganic materials (sapphire, quartz and silicate glasses) is shown in the last time. Storage terms of data recorded in form of microrelief structures on the media surface are limited by the changing time of pits form on the surface. There is obvious that excess of temperature over melting point leads to loss of recorded data. The maximal storage term of data recorded on the optical media can be estimated from the Eyring equation [11]. Then relation of critical data storage term t_1 and t_2 on the carriers with different melting temperature of substrate materials T_1 and T_2 may be presented as:

$$\frac{t_1}{t_2} = e^{(T_1 - T_2)/T}$$

The studies of data storage term on optical discs (CD-ROM and DVD-ROM) based on the accelerated ageing shows that estimated storage time on polycarbonate discs is about 20–50 years and depends on store conditions [12,13]. Then optical discs must be kept in specified climatic conditions (20 °C temperature and 40 % relative humidity) if they are used for long-term data storage. This demands essential capital investments for building of special depositories as well as support they work. Though, forecasted storage terms of data recorded on the surface of the substrates based on inorganic materials may be considerably increased (table 1).

Table 1. Forecasted storage terms of data recorded as relief on the surface substrate

Material substrate	Melting temperature, K	Data storage term relative to polycarbonate CD	Storage term, year
Polycarbonate	523	1	~ 20
Glass	923	$e^{1,36} = 3,91$	~ 80
Glassceramic	1696	$e^{4,00} = 54,78$	~ 1100
Fused silica	1986	$e^{4,99} = 146,94$	~ 2900
Sapphire	2318	$e^{6,13} = 457,73$	~ 9000

The using of sapphire allows create optical carriers with data storage term exceeding 1000 years. Unique physical properties of sapphire and its mechanical and chemical stability allow storing of proposed media at any conditions easing about media failure in cases of fire, flood or chemical pollution of depository. But due to these qualities there is sufficiently difficult to write data on sapphire disk surface.

The additional advantage of single crystal substrates under multicomponent material substrates (for example silicate glass) is possibility microrelief structures with higher resolution capability.

4. DATA RECORDING ON OPTICAL DISCS WITH INORGANIC SUBSTRATES

The performing of relief on the high-stable materials substrates directly by focused laser beam is difficult to realization. Initially, the information is recorded on the photoresist layer. The process of data recording on optical discs for long-term data storage consist of some technological steps used for master discs fabrication by photoresist method [14]. The photoresist layer is deposited on the surface of sapphire substrate (fig. 4) by the centrifuge. The information is recorded on photoresist layer in laser recording system by focused laser beam. Format of laser recording system defines the format of optical disc for long-term data storage. We used CD format for data recording. The etch mask is performed by selective etching of recorded photoresist layer. The information relief on the substrate surface is performed by reactive ion beam etching. The pits depth is calculated in compliance with ISO/IEC 10149:1995 defining data interchange on read-only 120 mm optical data disks (CD-ROM) [15]. The relief depth for soda-siliceous glass (refractive index is 1.51) 120 nm, for fused silica (refractive index is 1.46) – 130 nm, and sapphire (refractive index is 1.77) – 110 nm. The difference between refractive indexes of inorganic materials and polycarbonate leads to different thicknesses of discs (thickness of sapphire disc must be 1.1 mm versus 1.2 mm thickness of polycarbonate disc).

The ratio of photoresist and substrate materials etching rate defines the thickness of photoresist layer. There for performing a data structures with 110-130 nm depth must be about 150 nm layer thickness of photoresist Shipley 1813 used for production of master discs.

A dry etching technique must be used for performing of data structures on the inorganic substrates. Because conventional wet chemical etching doesn't allow accurately perform structures with resolution less then 1 micron. It is not enough to record information in opti-

cal discs formats. For example, pit width of CD format is 500 nm, DVD – 320 nm and BD – 220 nm. Therewith the performing structures on the same materials surface, for example sapphire, is impossible by the chemical etching because it has a very low etch rate in comparison with etch rates of etch masks. The photoresist rests is removed after etching, and data relief is covered by reflective metallic layer.

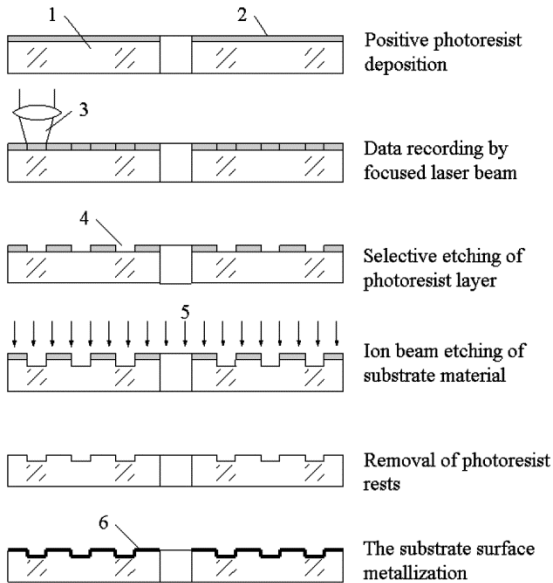


Fig. 4. The technique of data recording process on optical disc for long-term data storage: 1 – substrate, 2 – positive photoresist layer, 3 – focused laser beam, 4 – etching mask, 5 – ion beam, 6 – reflective metallic layer.

The ion source with cold cathode was used for reactive ion beam etching of substrate material. The study of various gas mixture showed that ions of CF_4 with various Ar partial has best etch rate. The maximal etch rate of substrate (15 nm/min for soda-siliceous glass and 5 nm/min for sapphire) was obtained with 10 mA/cm² current density of 3 cm diameter ion beam accelerated

2.6 kV. The data structure in CD format was performed on the surfaces of soda-siliceous glass and sapphire substrates (fig. 5). A depth of relief performed on the glass substrate was about 150 nm, on the sapphire substrate – 95 nm.

Consequently, the data was recorded on the surface of sapphire disc with 65.1 MB/sm² density in CD format. Also the opportunity of data recording in high-density DVD and BD formats was considered. There is a nickel and chrome layers characterized high mechanical and chemical stability as well as aluminum films traditionally used for optical discs production are applied as reflective coating.

4. CONCLUSIONS

1. Optical carriers with registering media made of vitreous chalcogenide semiconductors for information recording by local photo-thermal destruction of the absorbing layer with focused laser radiation keep their physical properties after long-term storage.

2. The shape and sizes of pits that code information show inessential changes: one can observe only a small increase in the pit sizes.

3. High-stable materials substrates are appropriate to fabrication of professional optical discs for long-term data storage. Silicon and sapphire substrates can be used for fabrication optical discs in BD format.

4. A data recording in the form of microrelief structure on the high-stable materials substrate surface can be performed by master-discs laser recording station and ion-beam etching of substrate material.

5. The using of high-temperature materials as reflective coating promotes to reliability increasing of data storage of optical media based on high-stable inorganic material substrate.

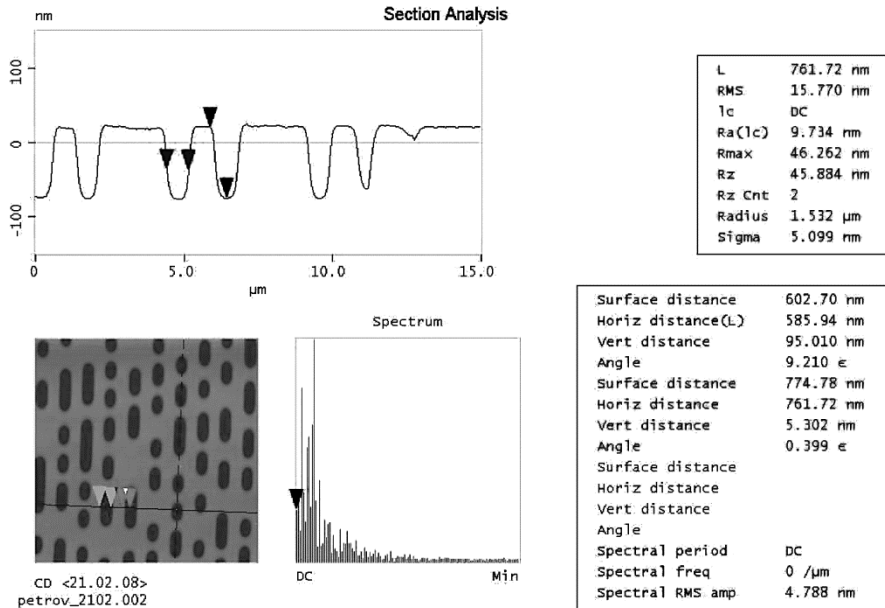


Fig. 5. The data structure in CD format on the surfaces of sapphire substrate

ЛИТЕРАТУРА

1. *Super-dense Optical Information Recording*, V.V. Petrov, A.A. Kryuchin, S.M. Shanoilo, V.G. Kravets', I.O. Kossko, Ye.V. Belyak, A.S. Lapchuk, S.O. Kostyukevych. Kyiv, Institute for information recording, NAS of Ukraine, 2009. 282 pages. (in Ukrainian).
2. *Optical-and-mechanical Storage Facility*, V.V. Petrov, A.A. Kryuchin, A.P. Tokar' et al. Kiev, "Naukova dumka", 1992. 152 pages. (in Russian).
3. W. Saffady. *Optical Storage Technology, 1993: A state of Art Review*. ISBN 0887368840. 1993.
4. Authors' certificate № 970449 USSR, Int. cl. index G 11 B 7/24. Carrier for optical recording. T.P. Doroshenko, A.A. Kryuchin, V.V. Petrov, G.Yu. Yudin. Applied 03.12.80. Published 30.10.82. Bulletin № 40.
5. Patent USA № 2008/0320205 A1. Int. cl. index G 06 F 12/00. Long-term digital data storage, Barry M. Lunt, Matthew R. Linford (USA), Brigham Young University (USA). Applied 20.06.2007. Published 25.12.2008.
6. Plasmon News. *First Real-Time Tests Help Determine Security of Data Stored on WORD Media*. 2004. www.plasmon.com.
7. *Non-organic photolithography*, V.V. Petrov, A.A. Kryuchin, S.O. Kostyukevych, V.M. Rubish. Kyiv, Institute for Physics of Metals, NAS of Ukraine, 2007. 196 pages. (in Ukrainian).
8. W. Lee, M. Chen, H. Weder, et al., Stability of thin Te and Te alloy films for optical data storage // *Proc. SPIE* 382, p. 282-289 (1983).
9. K. Sato, I. Okamoto, Y. Kitamoto, S. Ishida, Oblique ion nano-texturing technology for longitudinal recording media // *Jpn. J. Appl. Phys.* 46 (8A), p. 5139-5142 (2007).
10. Rau Zhi-giang, Fang Hong-li, Fu Xin-ding, Chen Guo-ming, Fabricating master with reactive Ion Beam Etching Method // *Chin. Phys. Lett.* 15 (7), p. 495-497 (1998).
11. Estimating a life expectancy of high-density recordable optical discs / Y. Okino, M. Irie, T. Kubo, M. Okuda // *Proc. of SPIE*. – 2005. – V. 5966. – P. 5966 1Z-1–5966 1Z-4.
12. Okino Y., Irie M., Kubo T. A New Approach for Estimating the Life Expectancy of Optical Disk for Digital Archival Storage // *Jap. J. Appl. Phys.* – 2005. – Vol. 44, N 5B. – P. 3513–3515.
13. Slattery O., Lu R., Zheng J., Byers F., Tang X. Stability Comparison of Recordable Optical Discs – a Study of Error Rates in Harsh Conditions // *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*. 2004. Vol. 109, N 5. P. 517–524.
14. Patent Ukraine № 81519 Україна, index G 11 B 7/26. The method of fabricating of optical carrier for long-term data storage / V.V. Petrov, A.A. Kryuchin, S.M. Shanoilo, V.O. Belyakovsky, I.V. Gorbob. O. Institute for information recording problems, *NAS of Ukraine*. Applied 14.02.2006. Published 10.01.2008. (in Ukrainian).
15. Gorbob I.V. The influence of substrate's material refractive index on optical media data layer relief depth // *Data recording, storage and processing*. 2009. V.11 , № 1. C. 3–10. (in Ukrainian)

Пути совершенствования характеристик запоминающих устройств большой емкости

В. В. Петров, А. А. Крючин, А. И. Брицкий,
А. С. Лапчук, С. М. Шанойло

Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2010. Т. 12, № 2. С. 12–24.

Представлены результаты анализа технологий записи информации с высокой плотностью, показано, что создание накопителей и носителей информации, удовлетворяющих требованиям современных информационных систем, возможно только с использованием нанотехнологий. Приведены результаты, полученные авторами при разработке физико-технических основ систем сверхплотной записи информации.

Ключевые слова: плотность записи, лазерное излучение, наноструктуры, структурированные среды, ближнее поле.

ВВЕДЕНИЕ

За последние двадцать лет плотность записи и емкость магнитных дисковых и ленточных запоминающих устройств возросла в сотни раз, в десятки раз возросла емкость оптических дисковых носителей. Быстро увеличивается емкость твердотельных носителей информации, которая уже превышает емкость некоторых типов оптических и магнитных дисков. С увеличением плотности записи информации на этих типах носителей все большее внимание уделяется повышению надежности хранения информации и обеспечению длительных сроков ее хранения. Размеры отпечатков, которыми кодируется записываемая на дисковых носителях информация, а самое главное, допуски на точность их формирования, перешли в область наноразмеров (<100 нм). Во флэш-памяти размеры областей хранения отдельных информационных единиц тоже составляют десятки нанометров.

Для магнитных дисков со времени их появления в 1956 году наблюдается стремительное увеличение плотности записи и емкости самих накопителей. Емкость магнитных дисков увеличилась от 5 Мбайт (первый дисковый накопитель IBM 305) до сотен гигабайт на одной рабочей поверхности современных магнитных дисков. Одной из основных проблем создания магнитных дисков со сверхплотной записью является обеспечение термодинамической устойчивости записанных отпечатков (сигналограмм). Для решения этой проблемы предлагается использование структурированных регистрирующих сред (регистрирующая среда представляет собой отдельные, не контактирующие между собой наноразмерные столбики ферромагнитного материала или частички ферромагнитного материала, окруженные оксидным слоем), и тонкопленочных (в том числе многослойные) сред с высокой коэрцитивной силой, запись информации на которые осуществляется с дополнительным локальным нагревом (HAMR-технология).

Совершенствование технологии изготовления магнитных лент за счет использования вакуумного нанесения однородных металлических регистрирующих сред, защиты регистрирующего магнитного слоя алмазоподобными пленками с высокой механической прочностью (специальное покрытие наносится и на нерабочую поверхность ленты), специальных высокопрочных материалов для основы магнитных лент позволило развернуть производство лент емкостью сотни гигабайт со скоростью передачи

данных десятки Мбайт/с. Гарантированный срок хранения информации на магнитных лентах составляет 30-50 лет.

Оптические методы записи информации начали интенсивно исследоваться с середины шестидесятых годов прошлого столетия. За этот период оптические накопители стали массовыми устройствами, обеспечивающими запись с высокой скоростью и хранение больших массивов информации, оптические диски выпускаются миллиардными тиражами. Среди других технологий, обеспечивающих регистрацию больших объемов информации, оптические методы записи информации привлекают к себе внимание высокой надежностью систем записи и возможностью обеспечения длительного хранения записанной информации.

Совершенствование характеристик систем оптической записи информации связано с применением более коротковолновых лазеров. Переход от лазеров ближнего инфракрасного диапазона до голубых лазеров ($\lambda = 405$ нм) позволил почти в 40 раз повысить емкость оптических носителей. Повышение емкости оптических носителей, конечно, было бы невозможно без создания малогабаритных высокоапертурных микрообъективов ($A = 0,85-0,95$). Возможности дальнейшего повышения емкости оптических носителей за счет улучшения характеристик дифракционно-ограниченных оптических систем фокусировки лазерного излучения в настоящее время практически исчерпаны. В настоящее время определены основные направления совершенствования характеристик систем оптической записи информации:

- использование иммерсионных систем записи информации;
- применение многоуровневой и объемной записи;
- использование ближнеполевых систем регистрации информации.

В настоящей работе приведены результаты исследований, проведенных нами с целью повышения плотности записи в оптических запоминающих устройствах, формирования рельефных наноразмерных рельефных структур на поверхности дисковых подложек.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМ СВЕРХПЛОТНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ ИНФОРМАЦИИ

Применение дифракционно-ограниченной оптики в системах оптической записи информации, в которых информация записывается и считывается сфокусированным линзой оптическим лучом, накладывает существенные ограничения на предельные значения плотности записи [1-3]. Для повышения разрешающей способности оптических систем были разработаны специальные методы формирования оптических лучей, диаметр которых меньше дифракционного предела. Наибольшее применение нашли: а) иммерсионные методы, основанные на распространении света в более плотной оптической среде, в которой свет имеет меньшую длину волны, и, как следствие, меньший диаметр сфокусированного оптического луча [4-6], б) ближнеполевые методы, использующие непрозрачный экран на субволновом расстоянии от объекта с субволновым диаметром отверстия в экране; оптическое излучение, проходящее через отверстие, фокусируется в субволновое пятно [7-9].

Для повышения разрешающей способности фокусирующей системы оптического запоминающего устройства нами было предложено использовать жидкоиммерсионные системы записи информации [5, 10, 11]. Такая система оказалась особенно эффективной при использовании оптического носителя цилиндрической формы [5, 10, 11]. Регистрирующая среда наносилась на внутреннюю поверхность оптически прозрачного цилиндра. При использовании для записи информации полупроводниковых лазеров инфракрасного диапазона (780 нм) осуществлялась запись элементов с разме-

рами, которые позже достигались при записи лазерами с длиной волны 650 нм. Жидкоиммерсионные системы оптической записи информации в настоящее время находят применение при изготовлении оптических дисков- оригиналов. В станциях лазерной записи дисков-оригиналов наиболее часто используется водная иммерсия, которая легко удаляется после завершения процесса записи информации. Прогнозируется переход к «супериммерсии», которую обеспечат иммерсионные жидкости с показателем преломления $n = 1,75$ [12]. К недостаткам технологии иммерсионной записи следует отнести появление дополнительных ошибок, связанных с выходом из жидкости пузырьков растворенного в ней атмосферного газа.

Следует отметить, что системы иммерсионной записи (экспонирования) нашли широкое применение в промышленных системах иммерсионной проекционной фотолитографии, в которых при использовании излучения с $\lambda = 193$ нм и органической иммерсионной жидкости с показателем преломления $n = 1,64$ получены минимальные размеры элементов 30 нм [12]. Использование такой иммерсионной жидкости и выходной линзы из кристаллического кварца с показателем преломления $n = 1,67$ позволяет увеличить значение числовой апертуры иммерсионной фокусирующей системы до 1,55, что обеспечивает разрешение 22 нм. Успешное применение иммерсионных систем в системах фотолитографии внесло существенные коррективы в технологию микроэлектронного производства, в частности, не предполагается дальнейшего развития фотолитографии с $\lambda = 157$ нм.

Теоретически с помощью ближнеполевых методов можно достичь почти неограниченного увеличения плотности записи информации. К большому сожалению, высокая разрешающая способность ближнеполевых систем создается за счет значительно уменьшения светопропускания. Коэффициент пропускания для малого отверстия в бесконечно тонком идеально проводящем экране уменьшается пропорционально $(d/\lambda)^4$, где d – диаметр наноапертуры. На практике в ближнеполевых фокусирующих системах при размере наноапертуры $d < \lambda/10$ коэффициент пропускания (коэффициент передачи по дальнему полю) оказывается чрезвычайно малым (10^{-5} – 10^{-6}). Характеристики типичного ближнеполевого зонда приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики ближнеполевого зонда фирмы NT-MDT (www.ntmdt-tips.com/catalog/snom)

Характеристики ближнеполевого зонда MF001	Показатели
Область рабочих длин волн, нм	400–550
Диаметр зонда, мкм	$3,5 \pm 0,5$
Оптическая эффективность, апертура 100 нм	6×10^{-4}
Оптическая эффективность, апертура 50 нм	6×10^{-5}

Малая оптическая эффективность ближнеполевых зондов является основным ограничивающим фактором их широкого применения. Ближнеполевые зонды нашли применение в устройствах магнитной записи как источники дополнительного нагрева магнитной регистрирующей среды с высокой коэрцитивной силой.

Рассматриваются возможности использования ближнеполевых головок только в режиме воспроизведения с оптических носителей емкостью (300–600) Гбайт типа ROM, запись информации на которые произведена электронным лучом [13, 14].

Одним из очевидных путей создания оптических носителей большой емкости является синтез многослойных носителей, но он связан с решением сложных технологических проблем. Первый шаг в этом направлении был сделан создателями DVD-носителей, в которых уже много лет успешно используются двухслойные структуры. Дальнейшее увеличение слоев в носителях, изготовленных по DVD-технологии (используются полупрозрачные отражающие слои из поглощающих материалов), связа-

но с существенным уменьшением сигналов воспроизведения и сложностью выделения их перекрестных помех от соседних информационных слоев.

Применение новых патентованных материалов для создания отражения от информационных слоев позволило разработать многослойные многофункциональные диски (VMD-носители) с четырьмя информационными слоями. По мнению разработчиков VMD-носителей, число слоев в них может достигать двадцати, а емкость – 48 Гбайт [1, 15]. Сообщалось о разработке оптического диска емкостью 1 Тбайт, в котором данные записываются на 200 виртуальных слоях. Запись информации осуществляется с использованием двухфотонного поглощения в органическом хромофоре, который введен в подложку оптического диска [15].

Отдельным направлением создания многослойных оптических дисков является разработка носителей с фотолюминесцентным считыванием [17-19]. Главной проблемой при создании таких носителей является достижение высокой скорости считывания. Предлагается для решения этой проблемы синтезировать новые наноструктурированные фотолюминесцентные материалы с высоким квантовым выходом, увеличить физический объем питов, которыми кодируется информация, использовать многоканальное считывание записанной информации.

Нам представляется, что многослойные диски типа ROM могут быть созданы с использованием в качестве отражающих покрытий на информационных слоях прозрачных оксидов с высоким показателем преломления, в частности, оксидов титана.

При прохождении луча вглубь регистрирующей среды он теряет интенсивность и его волновой фронт искажается из-за отражения, дифракции, поглощения и деформации волнового фронта в верхних регистрирующих слоях. Это приводит к сильному ослаблению сигнала из нижних регистрирующих слоев носителя информации. Ситуацию ухудшает тот факт, что сигнал от нижнего слоя должен опять пройти через все верхние слои регистрирующего материала, при этом он еще больше ослабляется и искажается. То есть при записи на многослойном носителе необходимо иметь возможность существенно изменять коэффициент отражения регистрирующего слоя от намного меньшего единицы до близкого к единице и при этом ограничить искажение волнового фронта. Из-за того, что для достижения большой плотности информации необходимо применять объектив с большой апертурой, для сохранения формы и величины угла схождения луча при проникновении его в глубину диска коэффициенты отражения и пропускания одного слоя должны слабо зависеть от угла падения плоской волны.

Большинство материалов, кроме металлов, имеют в оптическом диапазоне относительно небольшой коэффициент преломления и вследствие этого при их использовании можно достичь значительного коэффициента отражения только при создании регистрирующего слоя многослойной структуры, подобной структуре интерференционных фильтров. Поэтому намного более привлекательным решением этой проблемы является применение в качестве регистрирующего материала оптической среды с большим коэффициентом преломления. Особенностью таких материалов являются большие потери на поглощение оптического излучения. Поэтому регистрирующий слой с большим коэффициентом преломления должен быть тонким [20].

Оптимальный многослойный носитель должен иметь такие оптические параметры регистрирующих слоев, чтобы уровни сигнала от каждого слоя были примерно одинаковыми. Так как отраженный луч должен дважды проходить через предыдущие регистрирующие слои, условие одинакового уровня сигнала от каждого регистрирующего слоя можно записать так:

$$|R_{0i}| * |T_{0i}|^2 = const, \quad (1)$$

где R_{0i} – коэффициент отражения по интенсивности i -го слоя, а T_{0i} коэффициент прохождения по интенсивности плоской волны к i -му слою через верхние слои. Нужно сказать что уравнение (1) не учитывает множественного переотражения от информационных слоев, но так как коэффициенты отражения от каждого слоя малы, то переотражение не должно существенно повлиять на уровень фонового сигнала.

Если представить, что регистрирующих слоев много, и толщина их меняется от слоя к слою, то заменив разницу дифференциалом, толщину i -го слоя с хорошей точностью можно записать следующим образом:

$$s_i = S(i) - S(i-1) \approx \frac{dS(i)}{di} [i - (i-1)] = \frac{dS(i)}{di}, \quad (2)$$

где $S(i)$ – общая толщина среды регистрирующего материала предыдущих слоев до i -го слоя включительно.

Для регистрирующих слоев с большими потерями (металлические или GeSbTe-слои), когда диссипативные потери при распространении луча через регистрирующий слой значительно превышают отраженную от него энергию, уравнение (1) можно написать в следующем виде:

$$|R|^2 \frac{|n_2|^2}{|n_1|^2} k^2 \left(\frac{dS}{dn} \right)^2 \exp(-2\beta S)^2 = const = \gamma, \quad (3)$$

где γ – определяет относительный уровень сигнала детектора; $\beta = k_0 \frac{n_2' n_2''}{n_1}$; k_0 – волновое

число, n_1 – коэффициент преломления подложки диска, n_2' , n_2'' – действительная и мнимая части коэффициент преломления регистрирующего слоя. Нелинейное дифференциальное уравнение после простого преобразования можно записать как линейное:

$$\frac{dS}{dn} = \frac{\sqrt{\gamma}}{|R(N)| \frac{|n_2|}{|n_1|}} \exp(\beta S). \quad (4)$$

Решив это уравнение, из условия положительности толщины слоев, можно определить максимально возможное при данном относительном уровне сигнала γ число слоев носителя информации N_0 :

$$N_0 = \frac{|R| \frac{|n_2|}{|n_1|} k}{\beta \sqrt{\gamma}}. \quad (5)$$

Последний слой должен отражать как можно больше энергии луча (всю энергию) и поэтому можно положить $|R(N)| = 1$, и тогда уравнение (5) для N_0 можно переписать следующим образом:

$$N_0 < \frac{|n_2| k}{2 |n_1| \beta \sqrt{\gamma}} = \frac{|n_2|}{2 n_2' n_2'' \sqrt{\gamma}}. \quad (6)$$

Отсюда следует, что максимально допустимое количество слоев пропорционально модулю показателя преломления и обратно пропорционально произведению действительной и мнимой частей (потерь) коэффициента преломления регистрирующего слоя и корню квадратному от уровня сигнала считывания. Из формулы (6) видно, что, сни-

жив допустимый уровень сигнала в 100 раз, мы сможем только в 10 раз увеличить количество слоев у многослойного носителя информации. Вместе с тем, уменьшив в 10 раз потери, мы во столько же раз можем увеличить количество регистрирующих слоев. Поэтому для получения носителя с большим количеством слоев он должен иметь регистрирующие слои с большим коэффициентом преломления (действительную часть), а диссипативные потери в слое регистрации должны быть как можно меньше.

Полученные формулы верны для случая использования в качестве регистрирующего слоя материалов с большими диссипативными потерями – металлических и GeSbTe пленок. В случае использования в качестве регистрирующего материала тонкого слоя без потерь с большим показателем преломления (например оксида титана TiO₂) фор. (6) не верна. Но оказывается что и в этом случае можно применить аналогичный подход. В результате применения этого метода для регистрирующих сред без диссипативных потерь мы получили следующую формулу для максимального количества регистрационных слоев:

$$N_0 \leq 0,5 \left(1 + \frac{1}{\gamma} \right). \quad (7)$$

Из приведенной выше формулы видно, что максимальное количество регистрирующих слоев в этом случае будет в примерно 2 раза меньше, чем в идеальном варианте, когда мощность луча равномерно распределена по всем регистрирующим слоям без потерь на отражение от предыдущих:

$$N_0 = 1/\gamma. \quad (8)$$

Многослойный метод записи информации имеет ряд особенностей, которые выдвигают определенные требования к конструкции устройства для считывания и записи информации и к расположению слоев друг относительно друга. Первой особенностью является то, что каждый слой находится на разной глубине от поверхности носителя. Известно, что волновой фронт луча, проходящий через плоскопараллельный слой толщиной h , получает сферическую аберрацию пропорциональную NA^4h . При многослойной записи плоскость фокусировки должна перемещаться до 1 мм вглубь носителя информации, и при этом соответственно будет меняться величина сферической аберрации. Проблема компенсации сферической аберрации решается с помощью жидкокристаллической пластинки с кольцевыми фазовыми корректорами [1].

Как уже упоминалось выше, многослойный диск должен иметь структуру, которая обеспечивает во входном зрачке одинаковую энергию отраженного света от каждого слоя. Следовательно, во входном зрачке полезный сигнал имеет фоновый сигнал в N_0-1 раз больше полезного сигнала. Ситуацию ухудшает когерентность фонового и полезного сигналов, в результате чего изменение фазы этих двух лучей может существенно изменить сигнал детектора в результате эффекта интерференции. На рис. 1 показана оптическая схема считывания сигнала с многослойного носителя информации. Нетрудно видеть, что только $I_0 * S_d * S_0 / S_i$ часть энергии будет воспринята детектором, где S_i – площадь луча в плоскости изображения, отраженного от i -го слоя, S_0 – площадь пятна сфокусированного луча, отраженного от слоя, с которого информация считывается, S_d – площадь фотодетектора. Тогда уровень фонового сигнала может быть оценен по формуле:

$$\eta_{fon} = \frac{2 \sum_{i=1}^{(N_0-1)/2} I_0 S_d S_0}{I_0 S_0}. \quad (9)$$

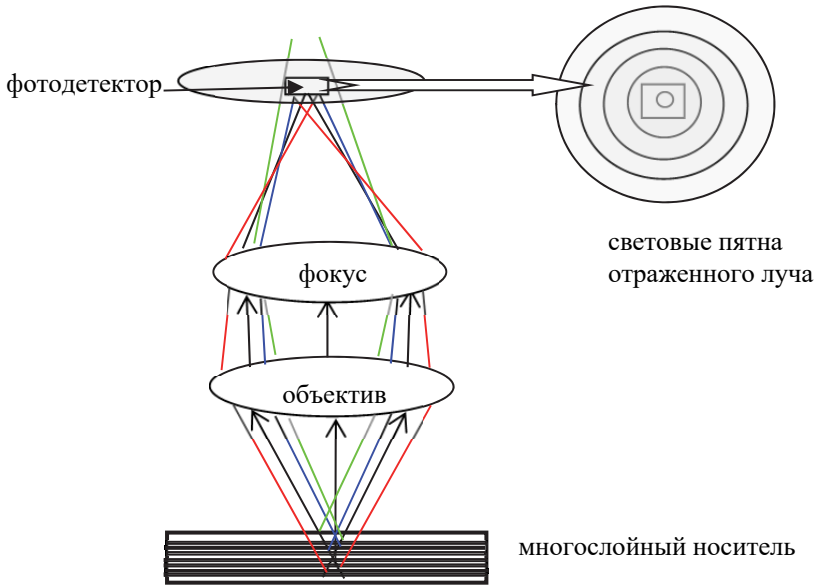


Рис. 1. Оптическая схема, показывающая распределение интенсивностей в плоскости детектора лучей, отраженных от разных регистрирующих слоев

Вследствие того, что

$$\frac{S_0}{S_i} \approx \left(\frac{\lambda}{NA} \right)^2 \frac{1}{(hNA)^2} = \left(\frac{\lambda}{h} \right)^2 \frac{1}{(iNA)^4}, \quad (10)$$

формулу (9) можно переписать как

$$\eta_{fon} \approx \frac{2S_d \sum_{i=1}^{(N_0-1)/2} \left(\frac{\lambda}{h} \right)^2 \frac{1}{(iNA)^4}}{S_0}.$$

Из формулы (11) видно, что, выбрав фотодиод достаточно малых размеров и достаточно большое расстояние между регистрирующими слоями h , фоновое излучение можно в значительной мере отделить от сигнала. Причем, с увеличением числовой апертуры расстояние между слоями, необходимое для достижения необходимого уровня фонового сигнала, уменьшается как $h_{\min} = 1/NA^2$. Отделение фонового излучения может быть достигнуто, когда оптическая система хорошего качества, чтобы не допустить большую интенсивность фонового излучения к детектору через переотражение и рассеивание.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ НАНОУПРАВЛЕНИЯ ЛУЧОМ ЛАЗЕРА

Решение задачи сверхплотной записи информации предполагает создание устройств прецизионного управления, которые функционируют в условиях естественных вибраций земной поверхности и обеспечивают вращение подложки по определенному закону, радиальное и осевое позиционирование луча лазера. За последние годы с использованием методов оптимального управления и цифровой фильтрации в институте создано ряд программно-аппаратных комплексов, предназначенных для измерения вибраций, профилей рельефа подложек и управления наноперемещениями. На рис. 2 приведен пример результата измерения вибраций позиционера

станции лазерной записи оптической информации по вертикальной оси, который используется для оценки качества аэростатической подвески и величины возмущающих воздействий, прикладываемых к системе автофокусировки.

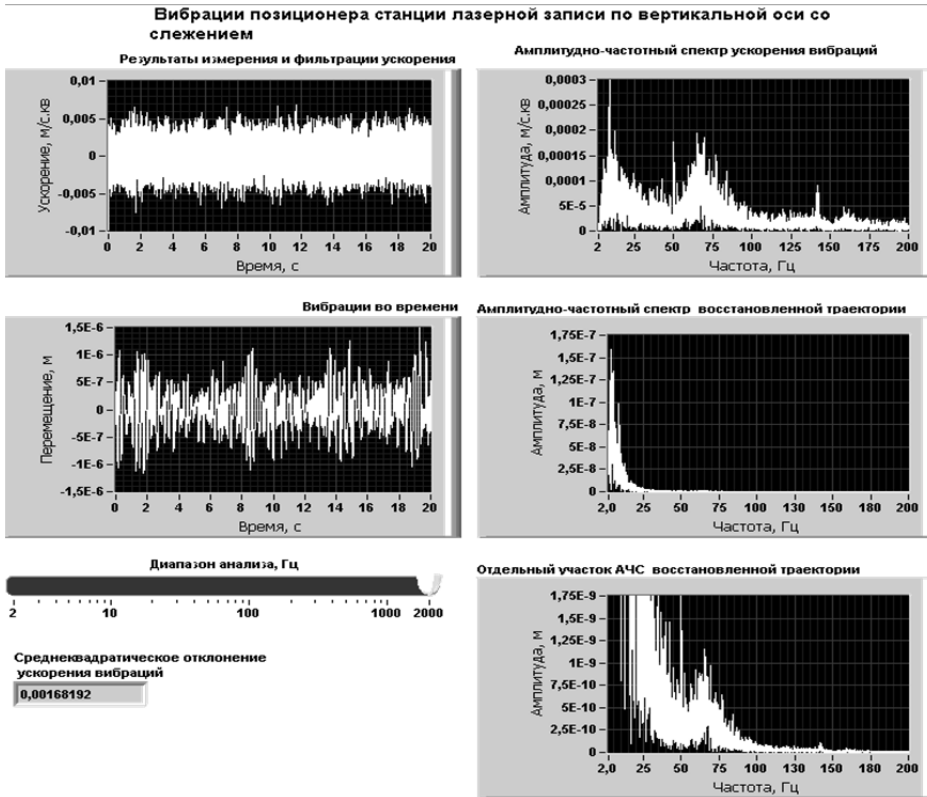


Рис. 2. Исследование вибраций Земной поверхности на элементах станции лазерной записи оптической информации

Измерение профиля рельефа подложки важно для определения требований к точности ее изготовления и требований к динамической точности системы автофокусировки. Это особенно важно для создания носителей длительного хранения информации на основе подложек из сапфира, которые для такого применения в мире пока не производятся. На рис. 4 приведен пример результатов такого исследования.

Отдельной и намного более сложной задачей является задача управления наноперемещениями больших масс в условиях упругих деформаций элементов конструкции, которая существует при радиальном позиционировании луча лазера. При этом необходимо измерение линейных перемещений с точностью до десятых долей нанометра и динамическая точность управления массой позиционера в десятки килограмм до единиц нанометров. Для решения этой задачи был разработан лазерный цифровой интерференционный дальномер с абсолютным отсчетом координаты и разрешением не хуже 0,6 нм, при этом интерполяция и устранение неоднозначностей выполняются на программном уровне вместе с решением задачи управления позиционером. На рис. 4 показаны ошибки позиционирования на реальной траектории записи диска оригинала.

Полученные точности измерений не являются пределом и пока ограничиваются стабильностью параметров элементов и среды измерений, а точность управления может быть улучшена в пределах порядка посредством применения перспективных исполнительных устройств, которые находятся на этапе исследования.

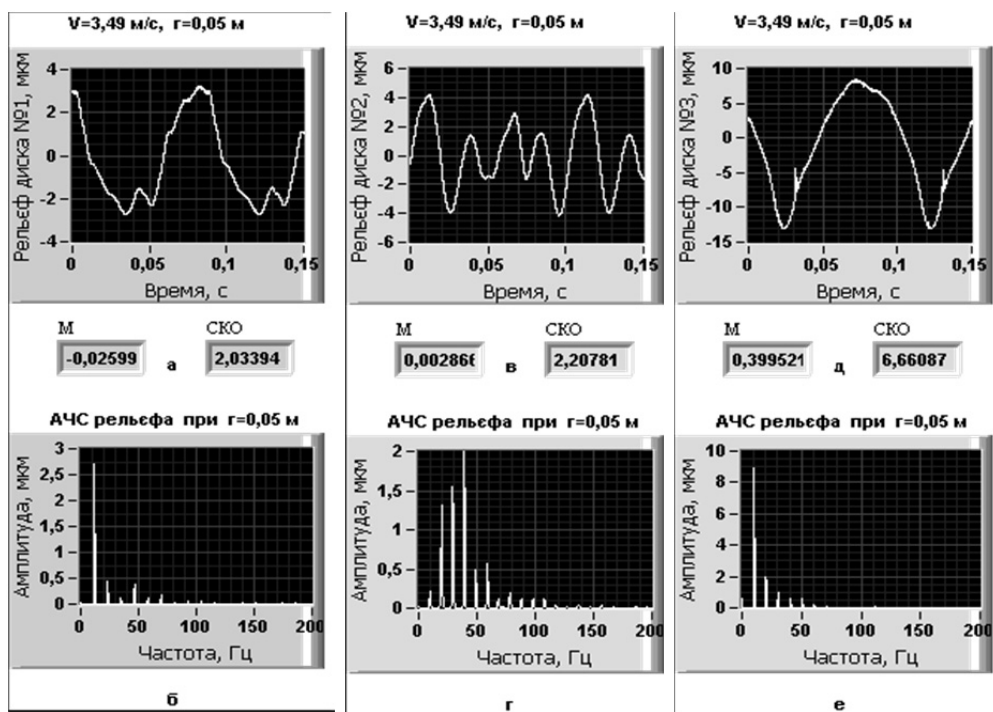


Рис. 3. К исследованию профиля рельефа подложки: диски № 1, № 2 – из стекла, № 3 – из сапфира; а, в, д – развертка профиля рельефа, б, г, е – соответствующие амплитудно-частотные спектры

СИНТЕЗ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НОСИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Тонкие стекла халькогенидных стеклообразных полупроводников, на протяжении многих лет были и остаются одним из основных материалов регистрирующих сред носителей информации в системах оптической записи информации. Для создания первых образцов оптических дисков WORM широко использовались процессы фототермической записи на тонких пленках халькогенидных полупроводников с высоким содержанием теллура. В дисковых носителях нами использовались пленки эвтектического сплава $\text{Te}_{14}\text{Se}_{61}\text{Ge}_{15}\text{Sb}_{10}$ толщиной 35 нм [1]. Запись информации производилась импульсами длительностью (80-20) нс. Под действием сфокусированного излучения длиной волны 530 нм происходило удаление материала поглощающей пленки из зоны облучения. Информационныепиты записывались по обе стороны дорожек слежения. Проведенные через 25 лет исследования записанных дисков показали, что форма и размеры питов практически не изменились, незначительно увеличилось содержание кислорода в приповерхностном слое (общее количество кислорода в материале регистрирующего слоя не превышает 6%). Исследуемые образцы сохранили зеркальный блеск и высокое отражение (>35%). Тонкие пленки халькогенидных стеклообразных

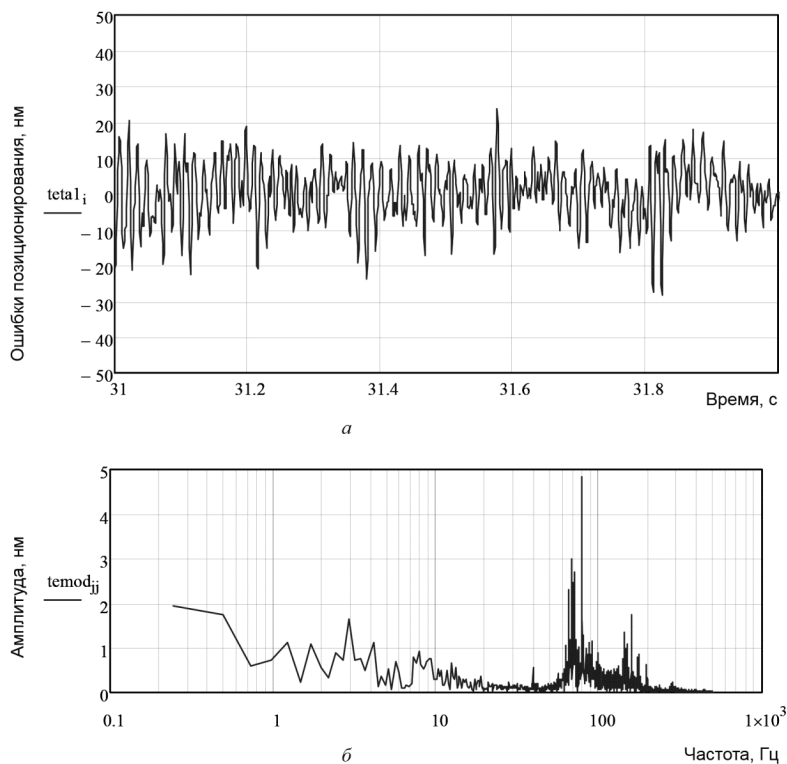


Рис. 4. Ошибки позиционирования на реальной траектории записи (а) и их амплитудно-частотный спектр (б)

полупроводников могут рассматриваться как перспективный материал для оптических носителей длительного хранения информации.

Как показали проведенные исследования, позитивные неорганические фоторезисты позволяют получать рельефные изображения с минимальными размерами 0,15-0,20 мкм при записи излучением с длиной волны 405 нм, что позволяет изготавливать с них матрицы для тиражирования дисков DVD. Пленки позитивного неорганического фоторезиста обладают достаточно широким динамическим диапазоном. Более перспективным является использование негативных неорганических фотрезистов, которые позволяют получать рельефные изображения на никелевых подложках, т.е. реализуется технология прямого мастеринга.

Нами предложена и экспериментально подтверждена идея использования высокотемпературных халькогенидных стекол для изготовления рельефных микроизображений на никелевых подложках, т.е. получения никелевых штампов без процесса гальванопластики. Проведенные эксперименты показали высокую механическую и термическую прочность рельефных изображений из высокотемпературного халькогенидного стекла. В процессе штамповки расплавленного поликарбоната не наблюдалось изменений геометрических размеров выступов на поверхности никелевой подложки.

Совершенствование технологии получения тонких пленок многокомпонентных халькогенидных полупроводников, разработка селективных травителей для высокотемпературных халькогенидных полупроводников, синтез многокомпонентных халькогенидных стеклообразных полупроводников позволят расширить применение этих

материалов в носителях оптической записи, в первую очередь, реверсивных, а также в технологическом процессе изготовления штампов для тиражирования компакт-дисков новых поколений.

ВЫВОДЫ

При создании оптических и магнитных носителей с максимальными достигнутыми к настоящему времени значениями плотности записи информации используется целый ряд общих технологий формирования наноразмерных рельефных структур.

Одним из наиболее перспективных направлений создания оптических и магнитных носителей большой емкости является создание многослойных носителей.

Создание высококачественных дисков-оригиналов для систем оптической и магнитной записи предполагает разработку специальных фоторезистов, в качестве которых могут использоваться неорганические фоторезисты на основе халькогенидных стеклообразных полупроводников.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Надійшлий оптичний запис інформації* / В.В. Петров, А.А.Крючин, С.М. Шанойло, В.Г. Кравець, І.О. Косско, Є.В. Беляк, А.С. Лапчук, С.О. Костюкевич: Відп. ред. О.Г. Додонов – Національна академія наук України, Інститут проблем реєстрації інформації. Київ, 2009. 282 с.
2. *Борн М., Вольф Э.* Основы оптики. М.: Наука, 1973 (2-е, испр. изд.).
3. *Daniel Courjon* Near-field microscope and near – field optics. – Imperial College Press, 2003. 317 p.
4. *Neijzen H.M., Meijders E.R., Boamfa M.I., Chen D.* Liquid immersion deep-UV optical disc mastering for high data capacity ROM discs // Proc of SPIE. 2005. Vol. 5966. P. 59661v-1 – 59661v-6.
5. *Petrov V.V., Shanoilo S.M.* Optical immersion recording of computer data // Experimentally Technik der Physic. – 1990. Vol. 38, № 5/6. P. 487-490.
6. *Vamivakas A. N., Younger R. D., Goldberg B. B., et al.* A case study for optics: the solid immersion microscope // Am. J. Phys. August 2008. Vol.76, N 8. P. 758-768.
7. *Bethe H. A.* Theory of diffraction by small holes // Phys. Rev. 1944. Vol. 66, 163. 8.
8. *Bouwkamp C. J.* On the diffraction of electromagnetic waves by small circular disks and holes // Philips Res. Rep. 1950. Vol. 5, 401.
9. *Ferry ZJJP* “Near-Field Optical Data Storage” Dr. degree dissertation, Technische Universiteit Delft, Holland, 2007, pp. 251.
10. *Chien – Yang Chen, Hung – Yin Tsai, Hung – Yi Lin.* Optical disk groove mastering using an electron beam recorder and chemically amplified resist // IEEE Trans. Magn. 2005. Vol. 41, № 2. P. 1025-1027.
11. *Takeda M., Furuki M., Yamamoto M., et al.* Progress in electron beam mastering of 100 G bit/inch² density disc // Jap. J. Appl. Phys. 2004. Vol. 43, № 7B. P. 5044-5046.
12. *Бельский А.Б., Ган М.А., Миронов И.А., Сейсян Р.Н.* Перспективы развития оптических систем для нанолитографии / Оптический журнал. 2009. Т.76, № 2. С. 59-56.
13. *Kitahara H., Ozawy Y., Masafumi A., et al.* Electron beam recorder with nanometer-scale accuracy for 100 Gbit/in² density mastering // Jap. J. Appl. Phys. 2004. Vol. 43, № 7B. P. 5068-5073.
14. *Chien – Yang Chen, Hung – Yin Tsai, Hung – Yi Lin.* Optical disk groove mastering using an electron beam recorder and chemically amplified resist // IEEE Trans. Magn. – 2005. Vol. 41, № 2. P. 1025-1027.
15. *Quard-layer DVD technology becomes the third HD format.* [Електронний ресурс] Video News – Technology News. Tuesday, 13.03.2007. – Режим доступу: <http://www.videomag.gr/cms/index.php?option=com-ontent&task=view&id=1000>.
16. *Two-photon volumetric optical disk storage systems: experimental results and potentials.* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.opticsinfobase.org/abstract.cfm?URI=OC-2003-OFB2>
17. *Беляк Е.В., Крючин А.А., Стецун А.И.* Люминесцентное считывание – путь появления емкости носителей информации // Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2003. Т. 5, № 1. С. 3-11.
18. *Kravets V.G., Kryuchyn A.A., Belyak Ie.V.* Luminescence of the pyrazoline dye in nanostructured zeolite matrix // Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. 2007. Vol.10, N.1. P.33-35.
19. *Беляк Є.В., Кравець В.Г., Крючин А.А.* Методи багаточарового фотолюмінесцентного запису інформації // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. 2008. Т. 9, № 4. С. 3–18.
20. *Shylo S.A., Lapchuk A.S., Song J.S., Kim K.S.* Optical parameters of light beam in multilayer nano-structures // Journal of Korean Physical Society. 2005. Vol. 47, August. P. 18-23.

Новітня технологія довготривалого зберігання інформації на сапфірових оптичних дисках

В. В. Петров, В. П. Семиноженко

Стенограма спільної доповіді на засіданні Президії НАН України 12 лютого 2014 року. Вісник НАН України. 2014. № 4. С. 1–8.

Перед человечеством стоит много проблем, важнейшими из которых являются энергетическая проблема, проблема бедности почти половины человечества и, несомненно, целый ряд проблем охраны здоровья. Однако в последнее десятилетие в связи с интенсивным внедрением информатизации во все области деятельности современного общества и, следовательно, переводом информации в цифровой вид возникла очень важная проблема долговременного хранения данных в цифровой форме. До наступления эры информатизации эта проблема не была столь актуальна, так как информация, записанная на бумаге, пергаменте и других носителях, имела срок хранения значительно больше средней продолжительности жизни человека и безболезненно возобновлялась.

Даже 20–30 лет назад, когда компьютерные носители информации имели низкую плотность записи данных и срок хранения информации на них достигал 20–25 лет, эта проблема уже начинала становиться актуальной. Ситуация резко изменилась в связи с тем, что с целью уменьшения стоимости хранения информации в последнее десятилетие плотность записи информации на оптических и особенно на магнитных носителях увеличилась в десятки и сотни раз, что и привело к катастрофическому уменьшению срока хранения информации. Фактически сегодня ни один современный носитель информации больше чем три-четыре года информацию не хранит. А к чему это приводит?

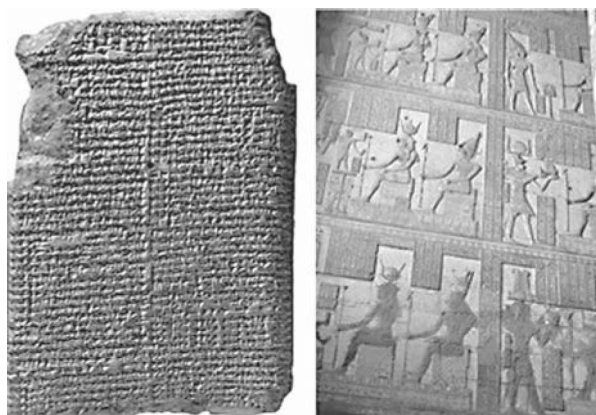
Представьте себе, что недавно фирма Google закупила 400 тыс. накопителей информации на магнитных дисках для того, чтобы создать память для современной, так называемой облачной системы хранения и обработки данных. И вот через три года они все должны быть заменены. Современный гигант в области информационных технологий, компания Google, может, и выдержит такой темп обновления носителей информации, но миллиарды пользователей персональных компьютеров должны менять все запоминающие устройства в таком же темпе. И самое главное – психология! Ну не может сегодня наш современник имеющиеся у него компьютерные документы, цифровые фотографии и семейные видеосюжеты записать на компьютерный носитель и положить в сейф для своих потомков. Он будет вынужден вытаскивать их и переписывать на новые носители информации. То есть, действительно сложилась катастрофическая ситуация. Создаются гигантские банки данных для централизованного хранения, и в них те же проблемы.

И прежде чем попытаться найти путь к решению этой проблемы, хотелось бы оглянуться, как же все-таки развивались исторические события в области хранения данных. А развивались они очень интересно. Дело в том, что до нас дошли глиняные таблички, которые были собраны в самой древней библиотеке 2700 лет назад. Они сохранились потому, что ассирийский царь Ашшурбанипал создал библиотеку, в которой постарался собрать все знания человечества того времени, накопленные в его родной стране и в окружающих государствах. Записывались эти знания на глиняных

табличках, на папирусах, на пергаменте и на восковых табличках для временного хранения. Так вот, сохранилось более 20 тыс. глиняных табличек, а всё остальное истлело. То есть, сохранили информацию только те носители, которые были выполнены из химически стойких материалов (рис. 1). Что такое глина? Глина – это суспензия двуоксида кремния и окиси алюминия, и когда она спекается, то превращается в химически стойкую и прочную керамику. Всего до нас дошло около 100 тыс. табличек разных стран и народов, но наиболее древние и интересные из них – это таблички шумеров, датируемые концом III тыс. до н.э. На табличках записано около 12 тыс. произведений, причем есть такие, которые исследователи до сих пор не могут понять. Далеко не все из них опубликованы. Там есть очень интересная информация, например о том, что уже в те далекие времена делались операции по лечению катаракты, описаны уникальные знания в области математики, генетики, об устройстве Солнечной системы. Это пример того, что если мы предпримем усилия для того, чтобы все знания, которыми сегодня обладает человечество, надежно сохранить, то, может быть, они потом дойдут до следующих поколений.

Так на чем же хранить информацию? Таблички шумеров сохранили информацию благодаря тому, что она наносилась в виде рельефа на химически и термически стойкую поверхность табличек из глины. Даже восковые валики Эдисона, на которых по окружности алмазной иглой была записана информация в виде рельефа глубиной всего несколько микрон, все равно сохранили информацию на протяжении вот уже более 100 лет, если они не были поцарапаны или их не съела плесень из-за плохих условий хранения. Таким образом, многократно подтверждается идея, что все-таки лучшим способом хранения информации является ее запись в виде рельефа на однородной поверхности. По такому пути мы и пошли, начав в 1975 г. разработку первого в мире накопителя на оптических дисках. Сегодня этот образец находится в Политехническом музее Украины, он практически на 10 лет опередил компакт-диски и в его конструкции заложены основные физические принципы, которые повсеместно применяются теперь при создании современных оптических дисков. За что сегодня фирма Phillips получает роялти от производителей компакт-дисков?

За формат представления данных. А все физические основы были разработаны нами ранее.



а

б

Рис. 1. Хранение информации в древности: *а* – клинописная табличка шумеров с описанием причин разрушения библейских городов Содома и Гоморры, 700 г. до н.э.; *б* – стела храма Рамсеса IV, 1100 г. до н.э.

Первый диск был изготовлен на подложке из силикатного стекла. Но стекло, хотя мы или нет, щелочное, и какие бы мы ни наносили на поверхность стойкие защитные покрытия, время берет свое, идет коррозия. В Ужгородском научно-технологическом центре материалов оптических носителей информации нашего ин-

ститута синтезированы и исследованы сотни различных материалов для регистрации информации, на которых ее можно хранить 30–50 лет. Но когда идет речь о хранении информации в течение сотен и тысяч лет, необходимо использовать высокопрочные, химически стойкие, жаропрочные, прозрачные материалы для защиты информационного рельефа. Все остальные методы записи (магнитная запись, любой другой рельефный метод, когда информация записывается на открытую поверхность) долговременного хранения не гарантируют.

Быстрое и широкое распространение персональных компьютеров потребовало создания технологии массового распространения больших объемов информации. Для этих целей оказалось востребованным производство оптических дисков (компакт-дисков) методом инжекционного литья из прозрачного поликарбоната. Эта технология позволила решить массу актуальных проблем, однако каждый следующий шаг по увеличению плотности записи данных (DVD, Blu-ray) приводил вместе с увеличением емкости к существенному уменьшению их надежности и уменьшению срока хранения информации. С увеличением плотности записи информации толщина защитного слоя от модели к модели уменьшилась с 1,2 мм для CD до 0,6 мм для DVD и, наконец, до 0,1 мм для оптических дисков Blu-ray.

Сегодня предпринимается много попыток использовать различные герметизирующие и регистрирующие покрытия ради решения проблемы долговременного хранения информации применительно к существующей технологии производства компакт-дисков. Однако в связи с тем, что температура плавления поликарбоната составляет всего 250 °С, а рабочая температура не должна превышать 110 °С, все больше исследователей видит необходимость увеличивать теплостойкость подложки оптических дисков. Разработок много. Опираясь на закон Аррениуса и правило Вант-Гоффа, можно сделать вывод, что наиболее химически стойкими являются высокотемпературные материалы. Среди оптически прозрачных материалов сапфир является самым высокотемпературным и самым твердым после алмаза материалом, обладающим вплоть до высоких температур высокой химической стойкостью как к щелочам, так и к кислотам. Поэтому сапфир необходимо рассматривать как наиболее перспективный материал для создания подложек оптических дисков для долговременного хранения данных (рис. 2).

Важно отметить, что все исследования по созданию систем долговременного хранения информации связаны исключительно с созданием различных типов оптических запоминающих устройств. Разработки осуществляются очень широким фронтом. Сегодня очень широко популяризируется М-диск. Он отличается от стандартного компакт-диска лишь тем, что вместо фталоцианинов в качестве регистрирующего материала используется неорганический многокомпонентный сплав, очень похожий на халькогенидные стекла, которые мы использовали 30 лет назад. Разработчики обещают срок хранения информации тысячу лет, но это нереально, потому что поликарбонат из-за низкой температуры плавления достаточно быстро деградирует, и сегодня уже известны микробы, которые разрушают его поверхность.

Очень интересна разработка французов. Для того чтобы хранить информацию о ядерных захоронениях, они предлагают, например, взять два сапфировых диска диаметром 200 мм, внутри нанести информацию на слой платины и затем пластины запаять. Стоимость такого диска с записанной информацией составляет 10 тыс. евро и использоваться они будут, видимо, только для некоторых экзотических применений. В этой разработке важно то, что в качестве подложки используется сапфир, но не для цифровой, а для проекционной системы представления информации.

Очень интересным является метод записи информации в объеме кварцевой пла-

стины в виде микрповреждений, создаваемых фемтосекундным лазером. Почему-то у них есть надежда, что такие микрповреждения будут сохраняться в кварце миллионы лет. Но даже если и удастся со временем реализовать такую систему, она будет уникальна, будет использоваться в крупных информационных центрах но не для массовых пользователей, которых сегодня значительно больше миллиарда.

Ситуация отчаянная. Если зайти на сайты, особенно американские, обсуждающие проблемы долговременного хранения данных, то там от безысходности предлагают вернуться к хранению цифровых файлов на высококачественной бескислотной бумаге, которая гарантированно может хранить информацию около 200 лет. Между прочим, Алексей Семенович Онищенко нам давно внушил, что если создавать носители для долговременного хранения, то они должны иметь время хранения значительно большее, чем время хранения информации на хорошей бумаге.

В чем же суть нашего подхода к созданию оптических дисков для долговременного хранения информации? Мы долго не могли осуществить высококачественную фокусировку лазерного пучка при прохождении его через сапфировую подложку. Много образцов было изготовлено в Институте монокристаллов, много было проведено экспериментов, пока, наконец, не появилась идея сделать такую оптическую систему, которая создает противоположные по знаку поляризационные искажения и таким образом компенсирует поляризационные искажения сапфировой подложки (рис. 3).

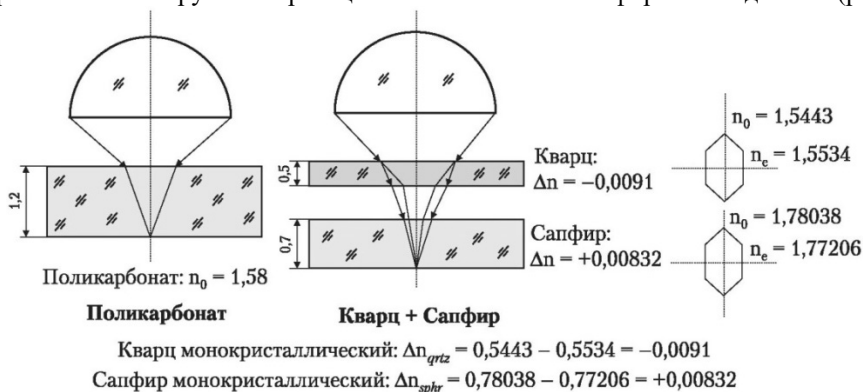


Рис. 3. Компенсация поляризационных aberrаций в сапфировой подложке

Вот простая иллюстрация (рис. 4). Самая первая фотография сделана без компенсирующей поляризационной пластинки, а другая – с компенсирующей поляризационной пластинкой на сапфире. Сразу видно, что изображение существенно улучшается, но это самая первая проба. Мы ее храним как первую историческую фотографию. Таким образом, путь к тому, чтобы использовать самый высокопрочный, самый высокостабильный материал, который к тому же производится в массовом количестве, открыт.

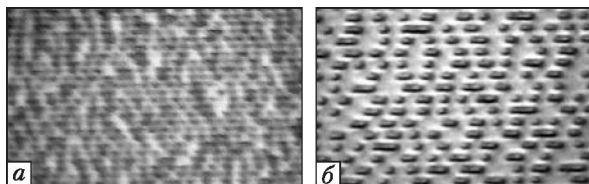


Рис. 4. Качество фокусирования системы: *a* – без компенсирующей поляризационной пластинки; *b* – с применением пластинки

Теперь уже стоит вопрос: как же такие сапфировые диски использовать? Наверное, самое простое решение состоит в том, чтобы максимально использовать технологические, аппаратные и программные разработки всего семейства сегодняшних компакт-дисков. Очевидно, что производство сапфировых дисков, аналогичных форматам CD-ROM и DVD-ROM, может быть налажено на существующих комплексах по изготовлению дисков-оригиналов компакт-дисков после некоторой их модернизации. Сегодня в мире работает более тысячи таких комплексов, имеющих производительность около 100 дисков в сутки, и переоснащение даже пятой части из них под производство сапфировых дисков позволит организовать выпуск около 10 млн дисков на сапфире в год, что может оказаться вполне достаточным для старта производства.

На следующих этапах могут быть адаптированы и технологии, осуществляющие однократную запись (CD-R) и многократную перезапись информации (CD-RW). Применение для этих стандартов сапфировых подложек позволит использовать регистрирующие материалы с более высокими температурами фазовых переходов и существенно увеличить срок хранения информации. Основной физической предпосылкой для этого является увеличение мощности синих полупроводниковых лазеров в десятки раз и существенное улучшение параметров оптических систем. Важнейшим фактором, определяющим максимальный срок хранения информации, является стойкость металлического отражающего покрытия, которое одновременно выполняет защитные функции. Ответ на многие вопросы стойкости металлических покрытий на поверхности сапфира дает комплекс исследований, проведенных в Институте проблем материаловедения под руководством академика Ю.В. Найдича. Показана высокая стойкость пленок ванадия и хрома вплоть до температуры 800 °С. Использование платины и родия может еще больше поднять температурную стойкость отражающего покрытия.

Самый первый оптический диск на сапфире, который мы сделали, это диск диаметром 80 мм и толщиной 0,71 мм. При записи по стандартной технологии CD-ROM на таком диске помещается 210 Мб информации. Дальнейшие наши шаги будут сделаны в создании CD-ROM дисков диаметром 120 мм и емкостью 700 Мб и DVD-ROM дисков емкостью 4,7 Гб (рис. 5).

Что же нужно сделать пользователю, чтобы иметь возможность читать такие диски? В общем-то, к счастью, совсем немного – приклеить кварцевую компенсационную пластинку толщиной 0,5 мм и размером 6 x 6 мм на объектив считывателя компакт-диска. Это может сделать сам пользователь или же персонал на любой сервисной станции. Вот таким образом возможен быстрый переход на оборудование для работы с сапфировыми дисками.

Мы сомневались, докладывать ли Борису Евгеньевичу об этих результатах. Но когда 25 января этого года Укрпатент после проведения патентного поиска сообщил нам, что аналогов такой системы в мире не существует, мы с Владимиром Петровичем Семиноженко сразу доложили Борису Евгеньевичу Патону, и поэтому доклад в короткий срок был поставлен на заседание Президиума НАН Украины. За это ему большое спасибо.



Рис. 5. Академик В.В. Петров демонстрирует первый в мире оптический диск на сапфире

Когда возник вопрос, что же записать на первый в мире сапфировый оптический диск, мы сразу решили записать на него фонограмму выступления Виктора Михайловича Глушкова на заседании Президиума АН УССР 11 ноября 1976 г. Он выступил с горячей поддержкой нашего совместного с Георгием Евгеньевичем Пуховым доклада по созданию первых в мире накопителей информации на оптических дисках и в дальнейшем активно поддерживал эту разработку.

Спасибо за внимание!

АКАДЕМИК НАН УКРАИНЫ В. П. СЕМИНОЖЕНКО

В 1998 г. мы с Вячеславом Васильевичем [Петровым] присутствовали на одном из заседаний, на котором выступал посол Соединенных Штатов господин Уильям Грин Миллер. В его выступлении прозвучало, что мы иногда незаслуженно забываем о том, что оптический метод записи информации впервые был предложен здесь, в Украине, в Киеве, но реализовали эту технологию в США. И тогда у нас впервые зародилось, так сказать, желание в чем-то реабилитироваться – ведь это о наших работах шла речь. Второй эпизод (а их было много) относился к печальному событию 2001 года – это известная трагедия во Всемирном торговом центре в Нью-Йорке. Среди самых масштабных потерь (в первую очередь, конечно, гибель более 2700 человек) была и огромная материальная потеря информации на всех носителях в этих зданиях. Подсчитать и оценить этот ущерб невозможно, то есть он на несколько порядков превосходит стоимость самих зданий. В качестве примера приводят гибель сорока с лишним тысяч негативов фотографий Джона Ф. Кеннеди, снятых личным фотографом президента.

И вот сейчас, когда мы имеем дело с массовым внедрением цифровых технологий в науке, бизнесе и даже в обычных домашних условиях, уже миллиарды людей задумываются над вопросом: как сохранить информацию, например, домашний архив? За фото пленки еще как-то спокойнее, ведь они хранятся лет 50–100 если их не очень сушить, нормально сохранять и, конечно, избегать пожаров. А на любом другом носителе уверенности, что не слетит информация, нет, ведь современные магнитные, оптические и твердотельные накопители хранят ее всего несколько лет. Большие компании переписывают свою служебную информацию. Даже сейчас в облаках все держат информацию с двойным-тройным дублированием, но это огромнейшая головная боль. Я уже не говорю о том, что документацию, содержащую коммерческие секреты, или закрытую информацию в облаках размещать рискованно. Современные технологии дублирования, резервирования и хранения информации на различных носителях могут существенно продлить сроки ее хранения, если температура не превышает 60–80 °С, однако повышение температуры до 100 °С и особенно возникновение пожара приводит к полной потере информации. В мире сегодня широким фронтом ведутся исследования по созданию технологий хранения информации на высокотемпературных носителях, таких как кварц, платиновые и вольфрамовые подложки и т.д.

Вот так и родилась у нас идея: а давайте сделаем аналог оптического диска не на поликарбонате, который совершенно ненадежен по всем параметрам, а на сапфире. Конечно, уникальные физико-технические характеристики сапфира давно привлекают внимание исследователей. Сегодня широко обсуждается технология хранения уникальной информации, предложенная французскими исследователями, когда информация хранится в виде микроизображений на тонкой платиновой пленке, нанесенной на сапфировый диск диаметром 200 мм. По сути это обычная микрофиша на сапфировом диске. Наверное, найдутся важные применения этой технологии, но это возврат к аналоговым технологиям, требующий создания новых достаточно дорогих техниче-

ских средств, потеря уникальных возможностей, которые дает цифровое представление информации. Мы же с Вячеславом Васильевичем попытались применить сапфировые оптические диски в современных цифровых системах хранения информации. А вот как сделать так, чтобы все домашние системы, которые есть у каждого дома или на работе, можно было использовать с минимальной переделкой, чтобы она [технология] была реально применима для широкомасштабного использования? Фактически все эти годы ушли на отработку технологических процессов, которые привели уже к созданию первого в мире цифрового сапфирового оптического диска диаметром 80 мм, который можно установить на любой современный оптический дисковод после очень простой коррекции его оптической схемы. И, конечно же, уже в ближайшее время мы изготовим первую партию сапфировых оптических дисков диаметром 120 мм для проведения испытаний.

Вот почему мы тогда обратились к идее сапфировых дисков. Ведь это уникальный материал, данный нам природой. Он по твердости уступает только алмазу, а по химической стойкости и жаропрочности существенно его превышает. Отличительной особенностью изделий из сапфира является комплекс уникальных свойств для использования их в экстремальных условиях. Сапфир обладает высокой твердостью, химической инертностью, высокой теплопроводностью, прозрачностью в широком спектральном диапазоне, сопротивляемостью термическому растрескиванию, износостойчивостью, высокой температурой плавления. Он идеально подходит для оптических окон при работе в экстремальных условиях в военной, научной и гражданской сфере использования, где материал работает продолжительное время, не меняя своих свойств.

В настоящее время наиболее широко применяемыми методами выращивания сапфира являются:

- метод Киропулоса (Rubicon, США; «Монокристалл», Россия);
- метод Степанова (Kusoga, Япония);
- метод теплообмена (GT Advanced Tech, США).

В Украине, в НТК «Институт монокристаллов» НАН Украины, разработана новая технология выращивания больших кристаллов сапфира методом горизонтальной направленной кристаллизации (ГНК) в защитной газовой среде. Данная технология специально была разработана для получения крупных монокристаллов сапфира в форме пластин с высокими оптическими и структурными характеристиками.

Новая технология метода ГНК дает возможность получать кристаллы сапфира высокого оптического качества и структурного совершенства с рекордной толщиной пластин приблизительно 80 мм и габаритами 500 x 350 мм². Эта разработка позволила также повысить рентабельность производства сапфира и вывести метод ГНК на передовые позиции в мире по экономической эффективности.

Для метода ГНК характерны следующие основные преимущества:

- высокое оптическое качество и однородность оптических свойств во всем объеме кристалла;
- возможность выращивания больших монокристаллов пластин сапфира различных кристаллографических ориентаций, в том числе с ориентацией (0001) на поверхности, что невозможно для большинства из перечисленных методов;
- высокие технико-экономические показатели при выращивании кристаллов и изготовлении из них оптических элементов больших размеров, такие как:
 - высокий процент выхода годной продукции (возможность выращивания кристалла под определенный размер изделия);
 - использование менее дорогостоящей шихты отечественного производства;

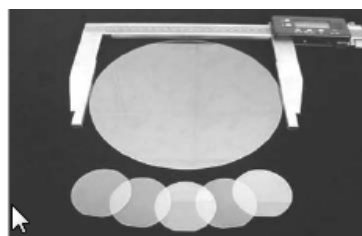
– технологичность и простота кристаллизационного оборудования, а также удобство в порезке и обработке плоских заготовок из выращенных кристаллов.

Очень важным при использовании изделий из сапфира, например в качестве оптических дисков для хранения, распространения и архивирования цифровой информации, является стабильность его характеристик во времени, оптическое и структурное качество материала, а также качество обработки поверхности. Поэтому этим свойствам сапфировых изделий уделяется особое внимание. Изготовления сапфировых пластин различных размеров. При использовании сапфировых пластин в качестве оптических носителей информации к функциональной поверхности сапфира предъявляются жесткие технические требования: отсутствие нарушенного приповерхностного слоя и поверхностных дефектов, низкий уровень шероховатости рабочей поверхности – поверхность должна быть зеркально отполирована. Изготавливаемые в настоящий момент и прошедшие испытания сапфировые диски удовлетворяют необходимым требованиям и имеют следующие технические характеристики (см. рис. 6).

РАЗРАБОТАН ПОЛНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦИКЛ ИЗГОТОВЛЕНИЯ САПФИРОВЫХ ПЛАСТИН

Достигнутые технические характеристики:

- размер $\varnothing 80 \times 0,7$ мм
- плотность дислокаций $<10^4 \text{ см}^{-2}$
- полуширина кривой качания (FWHM) – 6–9 угл. с
- отсутствие малоугловых границ блоков
- шероховатость поверхности $R_a < 2\text{Å}$
- отклонение рабочей поверхности подложки от кристаллографической плоскости (10–12), (0001) не более 3–5 угл. мин
- оптическая чистота 20/10–80/50 по стандарту USA MIL-0-13830



Сапфировые пластины для оптических носителей информации $\varnothing 80 \times 0,7$ мм

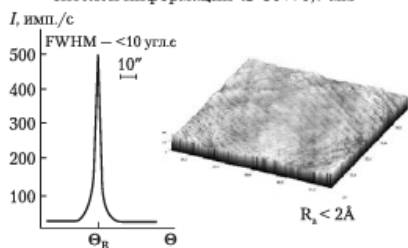


Рис. 6. Сапфировые диски для оптических носителей долговременного хранения информации

В институте создан опытно-промышленный участок изготовления оптических сапфировых дисков. Производственный цикл представляет собой многостадийное производство, начиная от роста сапфира и заканчивая получением готовых оптических дисков (рис. 7).

Благодаря широкому фронту исследований институтов НАН Украины мы имеем практически весь набор высоких технологий для создания в кратчайший срок чрезвычайно важного для современной информатики продукта, которым являются сапфировые оптические диски для долговременного хранения информации. К такой информации, в первую очередь, относится весь спектр фундаментальных научных знаний, накопленных человечеством: научная информация о земле, генетическая информация существующего биологического мира и многое другое. Таким образом проведенные исследования создают возможность долговременного сохранения информации в цифровой форме как для современников, так и для наших далеких потомков.

Благодарю за внимание.



Рис. 7. Опытно-промышленный участок изготовления оптических сапфировых дисков

От редакции: Интерес к этой работе в мире настолько велик, что интервью академика НАН Украины В.В. Петрова «Сапфировая вселенная», опубликованное в газете «Зеркало недели» 15 февраля 2014 года, в течение 5 дней было процитировано на 76400 сайтах мира.

Sapphire optical discs for long term data storage

Viacheslav V. Petrov, Andriy A. Kryuchyn, Semen S. Shanoilo,
Anatoliy S. Lapchuk, Yevhenii M. Morozov

Proc. of SPIE Vol. 9201 92010C-2, Optical Data Storage 2014.

Article ID 9201-OC. 9 p.

ABSTRACT

Results of implementation of technical solution for long term data storage technology on the basis of single crystal sapphire are presented. The effect of birefringence on the distribution of the focused laser beam through a uniaxial birefringent medium having a vertical orientation of the optical axis is analyzed. An expression for the calculation of the geometric aberrations of the focused laser beam in single-crystal substrate of the optical disc has been presented. It is shown that the problem of data reading through a substrate of negative single crystal sapphire can be solved by using for reading a special optical system with a plate of positive single crystal materials. The experimental results confirm the efficiency of the proposed technical solution.

Keywords: long term data storage, sapphire optical disc, birefringence, method of aberration compensation, optical compensating element

1. INTRODUCTION

One of the major problems facing mankind is the preserving and transmitting obtained knowledge to the succeeding generations. The optical discs have a great potential for long term archival storage. In this regard, special interest is the development and application of optical discs for the long term archival data storage. However, the existing optical discs can not provide the required level of reliability and data retention time due to the low stability of the polycarbonate substrate [1], and not sufficiently high its adhesion to the metal layer. The variety of technical solutions is proposed for technology of long term data storage which is based on using highly stable materials for both substrate and recording medium. First designed and manufactured optical discs had a substrate of silica glass [2]. Their data retention time could not exceed of 20-30 years because of degradation with time of recording layer based on chalcogenide glasses [3]. The cermets are used as recording medium in long term optical M-discs of write-once format with shelf life of 150-160 years [4]. A borosilicate glass is proposed as medium of the disc substrate as well as refractory metals such as tungsten and platinum are proposed to use for recording layer. An embossed microstructure on the surface is prepared by ion etching [5]. It is suggested to seal tungsten alloy disc by silicon nitride [6] and to read the information from platinum layer through sapphire windows [7]. The quartz is also proposed as substrate of optical disc for long term data storage [8]. The establishment of such data storage systems focuses on long term and reliable data storage, rather than getting the limit values of density and large amounts of data storage [5, 6, 8, 9].

Materials for the manufacture of optical discs having long term data storage time must be chemically, thermally and mechanically stable. The main element determining parameters of the optical disc is a transparent layer (substrate) through which the information is reading and recording layer on which information is recorded. Disc substrate is an external unprotected layer and it defines the types of materials and technologies that can be applied in the deposition of the recording layer, so the choice of the substrate medium is the key

element in development of technology of long term data storage. Table 1 shows characteristics of the materials that can be used for manufacture of optical disc substrate. In Table 1 the following designations are used: 1* – soluble in concentrated solutions of fluoride salts (such as, BaF₂, MgF₂, PbF₂, and oxides) at very high temperatures (> 1000 °C); 2* – soluble in alkaline aqueous solutions at high temperatures (> 300 °C) and solution of hydrofluoric acid; 3* – soluble in aqueous alkaline solutions and solution of hydrofluoric acid. From the Table 1 one can see that for long term data storage it is appropriate to apply a substrate from highly stable single crystal materials.

Table 1. Physical and chemical properties of materials suitable for the manufacture of optical discs for long term data storage

Parameters \ Material	Sapphire (Al ₂ O ₃)	Quartz (SiO ₂)	Fused quartz (SiO ₂)	Yttrium aluminum garnet (Y ₃ Al ₅ O ₁₂)	Magnesium aluminate (MgAl ₂ O ₄)	Diamond (C)
State of matter	Crystalline	Crystalline	Amorphous	Crystalline	Crystalline	Crystalline
Optical type of crystal	Negative	Positive	–	–	–	–
Mohs hardness	9	7	5,3 – 6,5	8,5	8	10
Fusing temperature (K)	2300	1960	1350 (softening)	2210	2400	1100 (burn down)
Thermal conductivity coefficient <i>k</i> (W/(mK))	~34	3	1,3	14	15	3200
Coefficient of linear thermal expansion $\alpha \cdot 10^{-6}$ (1/K)	5,6	0,55	0,55	8,0	7,5	1,0
Chemoresistance	1*	2*	3*	1*	3*	1*
Resistance to UV radiation	Not degraded	Not degraded	Degraded	Not degraded	Not degraded	Not degraded

*Corresponding author: kryuchyn@ipri.kiev.ua

2. METHOD OF ABERATION COMPENSATION IN SAPPHIRE OPTICAL DISC

The analysis of existing highly stable uniaxial single crystal materials has demonstrated that the best material for the optical disc substrate is leucosapphire [9, 10], on the internal surface of which the information micro relief structure is formed [5, 9, 10] since it has a high chemical stability, its wear resistance is 8 times greater than that of steel, it is thermally stable up to 1600 °C and it is optically transparent in the range from 0.17 microns to 5.5 microns [11]. In addition, sapphire is the hardest material being made of cheap components, and technology for growing single crystals sapphire is simple and affordable process. The sapphire substrate on which information is recorded in the form of a microrelief structure, and the data are read through the sapphire substrate can be a key element of technology for optical data storage with high reliability and long shelf life [9, 10]. Thickness of the substrate may be 0.4-1.2 mm, which provides sufficient mechanical strength to the carrier.

The disadvantage of sapphire is its optical anisotropy (birefringence) and as a consequence, the complexity of the optical scheme for reading information in the sense of the aberrations compensation caused by the anisotropy. The sapphire birefringence causes the wavefront distortions of the scanning laser beam as it passes through the optical disc. This is caused by the difference in optical path of light rays with different polarization that makes impossible to use the standard optical system for information reproducing from the optical disc with a birefringent sapphire substrate. The 0001 orientation of the axis of sapphire single crystal parallel to the optical axis of the optical head will result in a constant magnitude of aberrations during rotation of the optical disc. However the resolution of the optical

system drops 4.3 times for the case of CD with sapphire substrate due to birefringence. The resolution falls further with an increase of numerical aperture. Accordingly, the use of the birefringent single crystal sapphire as substrates for optical discs requires a change of standard optical readout system to compensate the aberrations created by rays with different polarization. This minimization of the polarization effect can only be applied to those optical discs manufactured from uniaxial birefringent sapphire with the optical axis orthogonal to the disc surface.

Sapphire substrates have significant birefringence Δn_{spf} ($n_o = 1.780$, $n_e = 1.772$, $\Delta n_{spf} = n_e - n_o = -8 \cdot 10^{-3}$ at $\lambda = 442$ nm), which leads to significant aberrations when focusing the laser radiation through the sapphire substrate of optical disk. Phase distortions of extraordinary wave (p-polarized) occur when the focused laser beam fall on single crystal sapphire substrate. The wavefront distortion can be calculated by formula [12]

$$\Delta\Phi_p = \frac{2\pi}{\lambda} H \frac{x^2}{\sqrt{1-x^2} \left(\frac{NA}{n}\right)^2} \left(\frac{NA}{n}\right)^2 \delta n = \frac{2\pi}{\lambda} H \left[\left(\frac{NA}{n} x\right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{NA}{n} x\right)^4 + \frac{3}{8} \left(\frac{NA}{n} x\right)^6 \right] \delta n, \quad (1)$$

where NA is numerical aperture of objective lens, $x = r / r_0$. From Eq. (1) one can see that phase distortions are superposition of astigmatism and spherical aberrations of various orders. In Eq. 1 is assumed that birefringence is small so it changes only the phase velocity but not direction of propagation of beam in birefringence layer. For large birefringence the Eq. 1 should be corrected. The first main term in Eq. (1) represents polarization stipulated astigmatism aberration. This aberration results in that the s- and p-polarized light will be focused at a different depth. The distance between focal points of the two beams is defined as follows [12, 13]:

$$\Delta F = 2H\Delta n / n_o, \quad (2)$$

where H is the thickness of optical carrier substrate. From Eq. (1) follows that the distance between two focused spots (spots of s- and p-polarized beams) is in several times larger than the depth of focus of readout optical system. Analysis of Eq. (1) has shown that the astigmatic aberrations caused by the anisotropy of the sapphire substrate can be compensated by using an additional compensating plate with a positive uniaxial material (opposite to the sapphire). Hence the first main condition for compensation plate is that it should have birefringence of opposite sign to birefringence of substrate. Schematic representation of the method of compensation of aberrations is shown in Fig. 1-4. From Eq. (1) follows that higher order aberration depends on parameter NA/n , and in the case of large difference in that parameter the higher order aberrations would not be well compensated. Therefore the best compensation scheme of aberration caused by substrate birefringence would be obtained when this parameters for optical substrate and compensation plate are approximately equal. Accordingly, the second main condition on medium of compensating plate of optical readout system is that the refractive index of the compensating plate should be approximately equal to the refractive index of the substrate of the optical carrier n_{sub} .

Focusing laser beam passed through uniaxial layer acquires spherical and astigmatism aberration. In the case of using standard readout optical system the beam passing through sapphire and compensation plates should have the same spherical aberration as beam passing through polycarbonate layer of standard optical disk. This condition can be written as follows:

$$\frac{n_{plc}^2 - 1}{8n_{plc}^3} NA_1^4 \frac{H_{plc}}{\lambda} = \frac{n_{spf}^2 - 1}{8n_{spf}^3} NA_1^4 \frac{H_{spf}}{\lambda} + \frac{n_{com}^2 - 1}{8n_{com}^3} NA_2^4 \frac{H_{com}}{\lambda}, \quad (3)$$

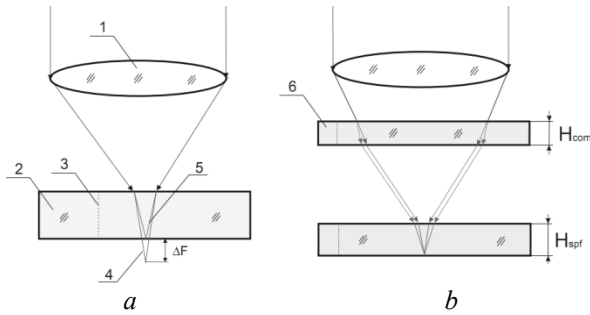


Fig. 1. Schematic representation of aberration compensation: 1 – objective lens, 2 – sapphire substrate, 3 – optical axis, 4 – extraordinary ray, 5 – ordinary ray, 6 – compensating plate

where n_{plc} is refractive index of polycarbonate, H_{plc} is thickness of polycarbonate substrate, n_{spf} is average value of the refractive index of sapphire between the ordinary and extraordinary rays, H_{spf} is thickness of sapphire substrate, n_{com} is average value of the refractive index between ordinary and extraordinary rays for the material used for the manufacture of the compensating plate, H_{com} is thickness of compensating plate, NA_1 is numerical aperture in region behind the objective, NA_2 is numerical aperture in the region where compensating plate is placed, λ is wavelength of laser radiation. Condition of astigmatism aberration compensation in general form can be written as:

$$\Delta\Phi = \Delta\Phi_1 + \Delta\Phi_2 = NA_1^2 \frac{H_{spf}}{n_{spf}^2} \Delta n_{spf} + NA_2^2 \frac{H_{com}}{n_{com}^2} \Delta n_{com} = 0, \quad (4)$$

where Δn_{spf} and Δn_{com} are differences of the refractive indices for the extraordinary and ordinary rays of sapphire and material of compensating plate, respectively. Fig. 2 shows a modified optical scheme of readout system. The modified optical scheme differs from the standard scheme by an additional compensating plate 6, which is situated between the lens and the carrier. During the data reproducing the laser beam emitted by a laser diode (1) passes through the diffraction grating (2), a quarter-wave plate (4) and the beam splitter cube (3) to an objective lens (5). The objective lens focuses the laser beam through compensating plate (6) and media substrate (7) to the relief structure of information media. Presence of single crystal compensating plate leads to the fact that ordinary and extraordinary beams are focused at the same plane.

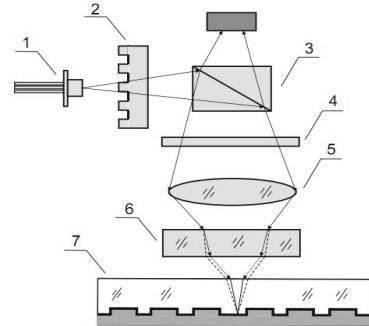


Fig. 2. Modified optical scheme of readout system

It is not always possible to insert compensation plate between objective lens and substrate of optical disk. In this case different optical schemes for birefringence related aberration compensation is required. Fig. 3 shows the modified optical scheme of readout system in which compensating plate is placed between diffraction grating and the beam-splitting mirror. During data reproduction, the laser beam from a laser diode (1) passed through the diffraction grating (2), compensating plate (4), beam-splitting mirror (3), collimating lens (5) and quarter-wave plate (6) and is directed onto the focusing objective lens (7). The focusing lens focuses the laser beam through a carrier substrate (8) on the microstructure relief of information layer. The presence of a compensating plate (4) made of uniaxial single crystal material leads to the compensation of

optical path difference between s- and p-polarized rays and focusing them in one focal plane in sapphire substrate (8). Because the modulated laser beam does not pass on the back way through the compensating plate (4) on the photodetector (10) is irradiated by astigmatic laser beam due to the birefringence of the sapphire substrate.

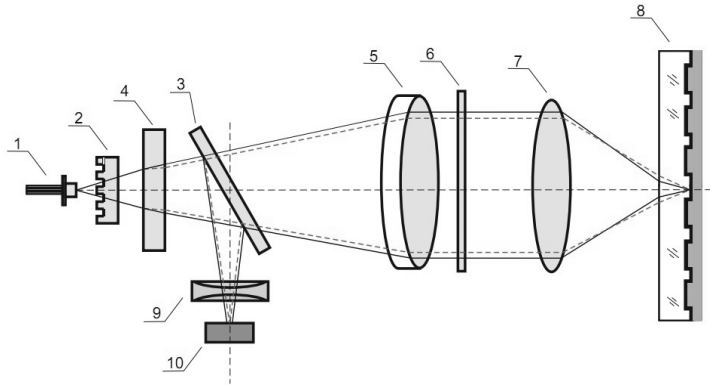


Fig. 3. Modified optical scheme of readout system in which compensating plate is placed between diffraction grating and beam-splitting mirror: 1 – laser diode, 2 – diffraction grating, 3 – beam-splitting mirror, 4 – compensating plate, 5 – collimating lens, 6 – quarter-wave plate, 7 – objective lens, 8 – optical disc, 9 – cylindrical lens, 10 – photodetector

Fig. 4 shows another modified optical scheme of readout system in which compensating plate is placed between beam-splitting mirror (3) and collimating lens (5). In this optical scheme correctly focused beam illuminates the photodetector (10) because the laser beam passes through the compensating plate (4) also on the way back from optical disc. Deviations of the extraordinary ray when it propagates through the optical disc substrate is compensated by deviations in the opposite direction when it passes through the compensating plate. This makes it possible to reduce the influence of birefringence in optical carrier substrates to a minimum.

It should be noted that the divergence angle of the laser diode beam is not large and hence numerical aperture NA_2 is usually significantly smaller than output numerical aperture NA_1 of objective lens. Hence the parameter NA/n at compensation plate also would be significantly smaller than at substrate of optical disk. That fact results to the small compensation of higher orders aberrations in these optical schemes. Therefore the quality of aberration compensation in optical schemes shown on Fig. 3 and Fig. 4 would be worse than that of optical scheme on Fig. 2.

Fig. 4. Modified optical scheme of readout system in which compensating plate is placed between beam-splitting mirror and collimating lens: 1 – laser diode, 2 – diffraction grating, 3 – beam-splitting mirror, 4 – compensating plate, 5 – collimating lens, 6 – quarter-wave plate, 7 – objective lens, 8 – optical disc, 9 – cylindrical lens, 10 – photodetector.

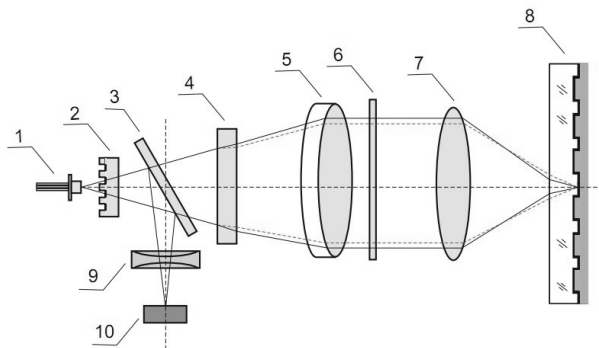


Table 2 shows examples of single crystal materials which can be used to manufacture of the optical media substrate and the compensating plates. The positive single crystal quartz ($n_o = 1.544$, $n_e = 1.553$, $\Delta n_{kvr} = n_e - n_o = -9 \cdot 10^{-3}$) is best choice for the medium of the compensating plate in optical scheme shown on Fig. 2 since it has refractive index close to refractive index of sapphire and its birefringence is not large and approximately equals to that of sapphire. The condition for astigmatism aberration compensation in this case can be written as:

$$\frac{H_{spf}}{n_{spf}^2} \Delta n_{spf} + \frac{H_{kvr}}{n_{kvr}^2} \Delta n_{kvr} = 0, \quad (5)$$

where H_{kvr} is the thickness of quartz compensating plate.

Table 2. Examples of single crystal materials which can be used to manufacture of the optical media substrate and the compensating plates

Material	Parameters		
	n_o	n_e	$\Delta n = n_e - n_o$
Sapphire (Al ₂ O ₃)	1,765	1,757	-0,008
Single crystal quartz (SiO ₂)	1,542	1,551	+0,009
Orthovanadate (YVO ₄)	1,993	2,212	+0,219
Rutile (TiO ₂)	2,574	2,860	+0,286
Zircon (ZrSiO ₄)	1,960	2,015	+0,055

Conditions for obtaining optical system with minimal residual aberrations for CD on the basis of high-stable single crystal sapphire substrate and single crystal quartz compensating plate (optical scheme on Fig. 2) can be written as [13]:

- 1) $H_{kvr} / H_{spf} = 0.62-0.72$,
- 2) $H_{kvr} + H_{spf} = H_{sum} \pm 5 \%$,
- 3) $|n_{com} - n_{sub}| < 0.3$,

where H_{sum} is thickness of the polycarbonate substrate. The first condition is condition of the astigmatism compensation, the second is condition that spherical aberration of optical scheme with compensation plate is the same as polycarbonate substrate (it is approximate condition), the third is condition of large and sufficient for optical recording compensation of higher-order aberrations.

Table 3 shows examples of constructional parameters (thickness) of the disc with sapphire substrate and quartz compensating plate for different formats of optical data storage.

Table 3. The thickness of sapphire and quartz layers for various formats optical discs

Type of media	The thickness of sapphire substrate (mm)	The thickness of quartz plate (mm)	Uncompensated aberration $\Delta\Phi/\Phi_0$, 100 %
CD	0,714	0,486	1
DVD	0,357	0,243	1,6
CD (for reading at a wavelength of $\lambda = 400$ nm)	0,714	0,486	0,3

In the case of using standard optical information reading system the total thickness of quartz compensating plate and the sapphire substrate to be approximately equals (condition 2) to the thickness of the polycarbonate substrate [13]. This condition is not rigorous, but it is sufficiently precise for the engineering calculations of the optical system.

It should be noted that in the case of DVD-format the compensating quartz plate is very thin, which can lead to a reduction of reliability of data storage and causes difficulties during its manufacture. It was suggested to solve this problem by using optical scheme shown on Fig. 3 or Fig. 4: 1) choose a material with a higher value of birefringence Δn_{com} and 2) place the compensating plate in that part of the optical scheme, which has a smaller value of numerical aperture $NA_2 = 0.107$ (in DVD format numerical aperture NA_2 is 0.6 at the point behind the lens) .

Table 4 shows examples of single crystal materials with a higher Δn_{com} which can be used to manufacture of the compensating plates.

Table 4. Examples of single crystal materials which can be used to manufacture of the compensating plates ($\lambda = 650$ nm)

Material	Parameters		
	n_o	n_e	$\Delta n = n_e - n_o$
Yttrium orthovanadate (YVO ₄)	1,993	2,212	+ 0,219
Rutile (TiO ₂)	2,574	2,86	+ 0,286
Zircon (ZrSiO ₄)	1,96	2,015	+ 0,055

For example, in the case of sapphire substrate and yttrium orthovanadate compensating plate the condition of spherical aberration compensation when reading at $\lambda = 650$ nm can be written as:

$$1 = 1,69 \cdot H_{spf} + 0,00163 \cdot H_{YVO_4}, \quad (7)$$

where H_{YVO_4} is the thickness of yttrium orthovanadate compensating plate. The condition of astigmatism aberration compensation in this case ($NA_2 = 0,107$) can be written as:

$$H_{YVO_4} / H_{spf} = 1,59. \quad (8)$$

Table 5 shows the values of the thickness of sapphire substrate and compensating plate, depending on the materials used and the reading parameters (reading at a wavelength λ is 650 nm).

Table 5. Constructional parameters (thickness) of the sapphire substrate and compensating plates

Numerical aperture NA_2	Constructional parameters				
	Thickness of the sapphire substrate (mm)	Thickness of the compensating plate (mm)			
		SiO ₂	YVO ₄	TiO ₂	ZrSiO ₄
0,107	0,58	12,45	–	–	–
0,1	0,58	14,29	–	–	–
0,107	0,59	–	0,94	1,23	3,49
0,1	0,59	–	1,11	1,35	3,99

It should be noted that in the case of using first compensation scheme with yttrium orthovanadate plate for DVD ($NA = 0.6$) its thickness H_{YVO_4} is 0.03 mm which is difficult to manufacture. However this scheme gives significantly better compensation of aberration caused by birefringence in optical carrier substrates.

3. EXPERIMENTAL RESULTS

The information (in a standard CD-ROM format) was recorded (at 2X speed) on photoresist layer with thickness of 150 nm deposit on sapphire disc having a thickness of 0.7 mm and a diameter of 80 mm by audio recording laser station established at the Institute for Information Recording of NAS of Ukraine. A single-mode semiconductor laser QLD-405-100S (405 nm, 100 mW) was used as a source of coherent light. Power of the laser beam at the output of the lens was 3 mW. Etching time of the photoresist layer in an alkaline etchant consisted 7 seconds. A modified optical ROM drive Plextor PX-891 SA was used for the optical system test. Reading was performed according to the optical scheme shown in Fig. 2. The standard reading device modification is consisted in fixing a compensating quartz plate (with vertical orientation of optical axis) having a size 5x5x0.5 mm to the objective lens by gluing method.

The results of test pointed out that the quartz compensating plate allows a robust data retrieving in the case of reading data through sapphire substrate by a standard optical drive. Figure 5 demonstrates the result of test obtaining by Nero CD-DVD Speed program, from which one can see that the disc does not have uncorrectable errors C2, but there are small numbers of correctable errors C1.

The experiment has pointed out the possibility of full compensation of polarization stipulated wave front distortion of the sapphire substrate. The individual method of sapphire substrates manufacture allows obtain more accurate substrate thickness than in injection molding process of polycarbonate optical discs. The transparency of sapphire in the ultraviolet range allows using shorter wave radiation for recording and reproducing information.

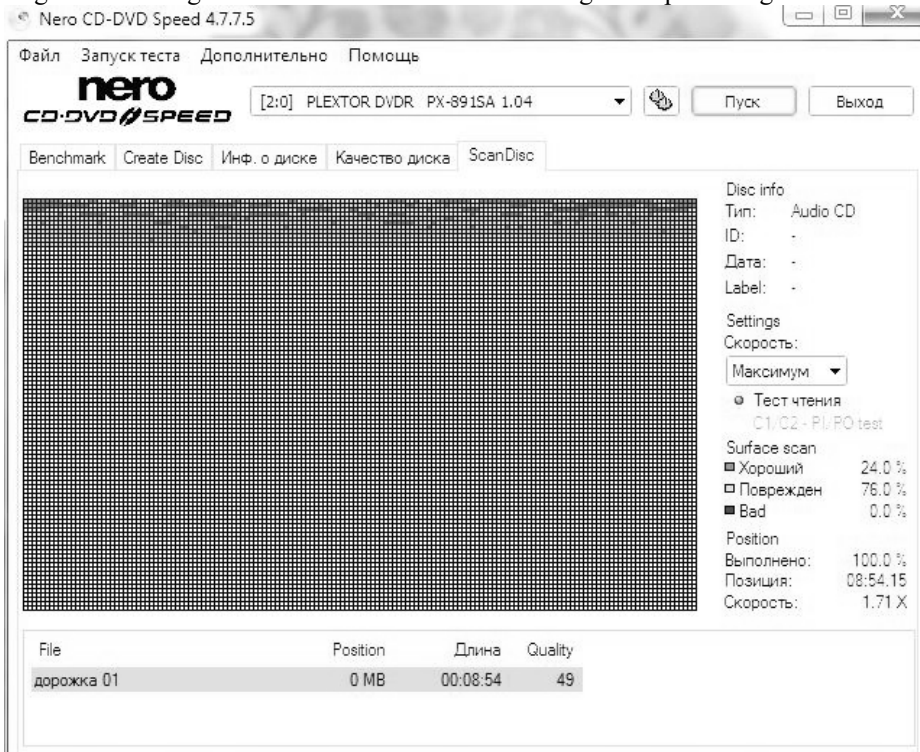


Fig. 5. The results of the test of retrieving data through sapphire substrate reading out by modified standard reading device. The results obtained by Nero CD-DVD Speed program

4. CONCLUSIONS

1. It has been considered the effect of birefringence on the distribution of the focused laser beam through a uniaxial birefringent medium having a vertical orientation of the optical axis. An expression for the calculation of the geometric aberrations of the focused laser beam in single-crystal substrate of the optical disc has been presented.

2. The permissible levels of the anisotropy were calculated for optical discs of different formats allowable thickness discs of different formats and the maximum thickness of sapphire optical discs in which there is no significant signal distortion have been demonstrated.

3. The method of compensating aberrations when reading data from uniaxial birefringent medium was developed. The basic parameters of reading out system for the sapphire disc with a vertical optical axis orientation were calculated. The structural parameters (thickness) of the optical disc sapphire substrate and quartz compensating plate of different formats were presented.

4. An experimental verification of the method of the aberrations compensations which showed that the quality of images obtained through the glass and sapphire plate with compensation, virtually identical has been performed. Thus, the application of the compensating quartz plate further allows read information from the optical sapphire disc for information retention.

REFERENCES

1. Nikles, D. E., Wiest, J. M., "Accelerated aging studies and the prediction of the archival lifetime of optical disc media," Proc. SPIE 3806, 30-36 (1999).
2. Petrov, V. V., Gorshkov, N. V., "Optical disk as a unique information media for controlling systems," XI Vsemirnyy nauchno-technicheskiy congress, 1-21 (1977).
3. Petrov, V. V., Kryuchin, A. A., Gorbov, I. V., Kossko, I. O., Kostyukevych, S. O., "Analysis of properties of optical carriers after long-term storage," Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics 12(4), 399-402 (2009).
4. Access point: <http://www.ritek.com/m-disc/eng/download/001.pdf> [Electronic Resource].
5. Ukrainian Patent #73611, G11B 7/254 (2011).
6. Vries, J., Schellenberg, D., Abelmann, L., et al., "Towards Gigayear Storage Using a Silicon-Nitride/Tungsten Based Medium," ArXiv.org: 1310.2961v1 (2013).
7. Access point: <http://news.sciencemag.org/sciencenow/2012/07/a-million-year-hard-disk.html> [Electronic Resource].
8. Zhang, J., Beresna, M., Kazansky, P., "5D Data Storage by Ultrafast Laser Nanostructuring in Glass," CLEO: Science and Innovations paper: CTh5D.9 (2013) (http://dx.doi.org/10.1364/CLEO_SI.2013.CTh5D.9).
9. Ukrainian Patent #73611, G11B 7/254 (2005).
10. Petrov, V. V., Kryuchyn, A. A., Gorbov, I. V., et.al., "Opticheskie diski dlya dolgovremennogo hraneniya informatsii," Nanosistemy, nanomaterialy, nanotehnologii 7(3), 825-832 (2009) [in Russian].
11. Dobrovinskaya, E. R., Lytvynov, L. A., Pishchik V., [Sapphire: Material, Manufacturing, Applications], Springer Science + Business Media, Philadelphia (2009).
12. Stallinga S. "Axial birefringence in high-numerical-aperture optical systems and the light distribution close to focus," J. Opt. Soc. Am. A. 18 (11), 2846-2859 (2001).
13. Petrov, V. V., Semynozhenko, V. P., Puzikov, V. M., Kryuchyn, A. A., Lapchuk, A. S., Morozov, Ye. M., Borodin, Y. O., Shyhovets, O. V., Shanoylo, S. M., "Method of aberration compensation in sapphire optical disks for long term data storage," Functional Materials 21(1), 105-111 (2014).

Перспективи використання оптичних носіїв для зберігання цифрових електронних ресурсів

В. В. Петров, А. А. Крючин

Бібліотечна планета. 2015. № 1 (67). С. 18–20.

Стрімкий розвиток електронних цифрових технологій багато в чому змінив напрям діяльності бібліотек і радикально поміняв погляд на бібліотеку в сучасному світі. Все частіше в суспільстві звучать поняття: електронні інформаційні ресурси, цифрові документи, електронні бібліотеки. Зберігання, розвиток і раціональне використання національних інформаційних ресурсів є завданням державного значення. Електронна форма дозволяє зберігати інформацію найнадійніше і компактно, поширювати її набагато оперативніше і ширше [1].

Швидко зростають як кількість електронних бібліотек так і обсяги представленої в них інформації. Зростання обсягів інформації відбувається за рахунок нових надходжень, а також за рахунок послідовної роботи по оцифруванню раніше створених фондів. Планується перевести до 2015 року 50 % всіх бібліотечних фондів Росії в цифрову форму [2].

Запропоновано і реалізовано декілька структур електронних бібліотек, які успішно функціонують [3]. При будь-якій структурі електронної бібліотеки однією з основних проблем залишається зберігання інформації. З нею бібліотеки стикаються якщо не на початку створення колекції, то через деякий час – неминуче. Необхідно забезпечити не лише зберігання електронних документів, але і можливість їх тривалого використання в умовах технологій, що стрімко розвиваються.

Для визначення вимог до систем і носіїв довготермінового зберігання необхідно, в першу чергу, оцінити об'єм інформації, представленої в електронних бібліотеках і архівах.

Нижче наведені як приклад об'єми даних, представлених в деяких електронних бібліотеках і архівах різного рівня [1].

Об'єми даних в електронних бібліотеках і архівах

Бібліотека	Електронний ресурс	Об'єм фондів, од. зберігання
Електронні бібліотеки		
Бібліотека Конгресу США	10 Тбайт	134·10 ⁶
Національна бібліотека Данії	236 Тбайт	
Російська державна бібліотека	162 Тбайт	43,1·10 ⁶
Національна бібліотека Білорусі «Електронний архів національної періодики» (ЕАНП)	300 Гбайт	38,813·10 ³
Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського	≈2 Тбайт	15·10 ⁶
Електронні архіви		
Архів австралійського сегменту Інтернет (PANDORA)	≈7 Тбайт	200·10 ⁶
Архів Білорусі	735 Гбайт	735·10 ³
Архів ГНІПП «Геоінформ Україна»	≈160 Гбайт	184·10 ³

Слід зазначити, що об'єм даних, представлених в електронному вигляді, постійно збільшується. Наприклад, в Бібліотеці Конгресу США щодня сканується від 75 до 200 документів, фонд електронних документів Французької національної бібліотеки щорік зростає на 150 тисяч документів.

Одним з основних технічних рішень при організації зберігання даних є використання ієрархічної структури запам'ятовуючих пристроїв. Проблему довготермінового зберігання цифрових документів потрібно починати вирішувати на етапі їх створення. Більше 65 % вартості технологічного процесу життєвого циклу цифрових документів від створення до збереження складає саме забезпечення зберігання, і з часом ця доля збільшуватиметься. Не можна вирішувати проблему зберігання окремо, вона має бути зв'язана в єдиний технологічний цикл створення – обробки – зберігання – використання цифрових документів [4].

Практично всі ієрархічні структури зберігання даних передбачають використання оптичних носіїв для архівного зберігання даних. Сьогодні найпопулярніший спосіб зберігання даних – це використання DVD-дисків. Проте 43% користувачів зберігають свої файли на носіях, термін зберігання ще менший, ніж в оптичних дисках [5]. За даними, опублікованими асоціацією OSTA (Optical Storage Technology Association), лише 47% DVD з одноразовим записом забезпечують термін зберігання більше 15 років, деякі носії цього типу – лише 1,9 років. Запис на DVD-диски відбувається з використанням методів оптичної або електронної мікроскопії, і якщо настане така необхідність, то прочитати дані з подібного носія можливо при створенні мікрорельєфних структур. Але для тривалого зберігання диски не варто використовувати в основному через те, що чинники довкілля згубно впливають на компоненти, з яких виготовлений диск.

Розроблені архівні сховища даних на оптичних дисках ємністю більше 34 Тбайт з терміном зберігання більше 50 років [6]. Найчастіше при виборі типів оптичних носіїв обмежуються найзагальнішими рекомендаціями типу:

- необхідно використовувати носії відомих виробників;
- застосовувати носії різних типів.

Проводяться численні дослідження по створенню спеціальних носіїв з одноразовим записом для архівного зберігання. У носіях з одноразовим записом пропонується використовувати спеціальні барвники з більш високими температурами фазових переходів і фоточутливими матеріалами з незворотними фазовими переходами, а також відбиваючі шари, що містять золото [7].

У компакт-дисках з одноразовим записом термін служби носія визначається в основному змінами характеристик реєструвального середовища (в якості котрих найчастіше використовують органічні барвники). Реєструвальне середовище найбільш чутливе до підвищеної вологості. За різними оцінками довговічність компакт-дисків може становити від 30 до 50 років. Оцінки базуються на прискорених тестах старіння компакт-дисків при підвищених температурах і вологості.

Для забезпечення довготермінового зберігання даних створюються і вже використовуються професійні оптичні диски. Їх головною особливістю є використання високостабільних матеріалів, як для створення підкладок, так і інформаційних шарів. Першим зразком професійних оптичних дисків для архівного зберігання є диски типу UDO (ultra density optical – надщільний оптичний). Такі диски розробила і випускає компанія Plasmon. UDO-носії можуть бути використані в двох режимах: при реверсивному записі або записі WORM. Процес запису в режимі WORM відбувається за рахунок зміни структури матеріалу реєструвального середовища на молекулярному рівні, він гарантує неможливість зміни записаної інформації на носіях UDO. Ємність

5,25-дюймового UDO-носія становить 30 Гбайт, а гарантований термін зберігання даних перевищує 50 років. Найвища для сучасних оптичних носіїв щільність запису досягається за рахунок використання лазерів з довжиною хвилі 405 нм. У 2006 році завершилася розробка UDO-носія ємністю 60 Гбайт, а в 2008 році – 120 Гбайт. Передбачено, що пристрої запису/відтворення інформації для цих носіїв задовольнятимуть вимогам зворотної сумісності. Запис і відтворення даних з UDO-носіїв вимагає застосування спеціальних пристроїв, що відрізняються від системи запису/відтворення даних з компакт-дисків.

Інший, на наш погляд, перспективніший напрям досліджень полягає в удосконаленні технології виготовлення компакт-дисків, яка б дозволила істотно збільшити гарантований термін зберігання інформації, з одного боку, а з іншого – зберегти можливість читання їх стандартними пристроями відтворення даних компакт-дисків.

Підвищення гарантованого терміну зберігання даних досягається за рахунок того, що запис даних здійснюється у вигляді мікрорельєфної структури в шарі високостабільного матеріалу. Температура плавлення цього матеріалу в 2-3 рази перевищує температуру плавлення органічних барвників, застосованих як реєструвальне середовище в компакт-дисках з одноразовим записом. Фактично пропонується структура носія інформації перших оптичних дисків WORM, в яких широко застосовувався перфораційний запис на тонких склоподібних халькогенідних напівпровідниках [8]. Проведені дослідження зразків оптичних скляних дисків з реєструвальними середовищами такого типу показали, що після зберігання протягом 25-30 років в неопалювальних приміщеннях форма і розміри пітів збереглися [9].

Для істотного підвищення термінів служби оптичних носіїв пропонується використовувати носії, в яких застосовуються підкладки з високостабільних матеріалів. Одним з варіантів виготовлення таких носіїв є використання металевих нікелевих підкладок. Фактично для довготермінового зберігання інформації пропонується використовувати нікелеві штампи, які застосовуються при тиражуванні компакт-дисків [10, 11, 12]. Копія матриці, яка використовується для видання компакт-диска, передається для архівного зберігання [11]. Така технологія довготермінового зберігання даних успішно застосовується в ряді країн для зберігання мультимедійної інформації.

Передбачається, що такі носії виготовляються на спеціалізованих підприємствах на замовлення архівних установ і бібліотек. Пропозиція виготовляти носії для довготермінового зберігання на спеціалізованих підприємствах розширяє кількість можливих технологій виготовлення носіїв. Зокрема, пропонується виготовляти носії з голографічним записом з терміном зберігання більше 50 років [7].

На сьогоднішній день німецька фірма Syulex пропонує диски із спеціального скла «Glassmasterdisc», які здатні зберігати записану інформацію впродовж 1000 років (як гарантують виробники таких дисків). Скло, яке є в основі конструкції даних дисків, стійке до хімічних реагентів. Вартість самого диска становить 150 євро, а його виготовлення здійснюється в індивідуальному порядку протягом 5-10 днів.

Для підвищення гарантованих термінів зберігання даних на оптичних носіях пропонується використовувати в якості підкладок більш стабільні матеріали з високими температурами плавлення, такі як кварц [13] і сапфір [13]. При розробці таких носіїв головна увага приділяється не досягненню високої щільності запису і ємності носіїв, а створенню пристроїв, що забезпечують гарантоване довготермінове зберігання даних. Одна з технічних проблем, яка виникає при застосуванні в носіях інформації підкладок з кристалічних матеріалів, полягає в тому, що оптична анізотропія матеріалу підкладок призводить до розмиття сфокусованої плями. Це розмиття, як показали проведені нами дослідження, можна усунути за допомогою спеціальних компенсуючих

оптичних елементів [13]. Використання таких елементів доцільне і в оптичних носіях, в яких застосовується сапфірові захисні диски, крізь які здійснюється відтворення даних [13].

Постійно при створенні систем довготермінового зберігання даних виникає питання – чи зможемо ми прочитати дані при виході з ладу пристроїв відтворення [14].

У зв'язку з тим, що проблема довготермінового зберігання даних в цифровому вигляді далеко ще не вирішена, пропонується організувати зберігання даних на мікрофільмах і на спеціальних кварцових і сапфірових носіях в аналоговій формі [15,16]. Передбачається, що така форма представлення даних дозволить надійніше відтворювати дані при зміні операційних систем або повній зміні пристроїв відтворення даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Крючин А.А.* Технологии долгосрочного хранения данных в электронных библиотеках и архивах / А.А. Крючин, И.В. Горбов, Н.В. Солонина // Библиотеки национальных академий наук: проблемы функционирования, тенденции развития. 2013. Выпуск №11. С. 170-181.
2. «Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации» от 7 февраля 2008 г. № Пр-212 // РГ. 2008. 16 февр. 16 полоса. 3. *Шухарт С.* Как организовать долговременное хранение данных / С. Шухарт. Сети и Системы связи. 2003. № 12. С. 3–5.4. *Шварцман М. Е.* К вопросу о долгосрочном сохранении цифровой информации / М. Е. Шварцман [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.benran.ru/Magazin/cgi-bin/Sb_07/pr_07.exe?15!. Загл. с экрана.
5. Изучаем накопители для длительного хранения данных. CHIP Online Россия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ichip.ru/stati/testy-i-obzory/2012/06/nakopiteli-dlya-dlitelnogo-hraneniya-dannyh>
6. Способствовать информационному и технологическому прогрессу Общества и Государства [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.elar.ru/products/>. Загл. с экрана.
7. Analysis of the plasticsubstrates, the reflective layers, and the adhesives of today's archival – grade DVDs / Guilin Jiang, Felipe Rivera, Supriya Kanyal, Robert C. Davis, Richard Vanfleet, Barry M. Lunt, Matthew R. Linford // Optical Data Storage. 2010. 7730. P. 7730N-1– 7730N-8.
8. *Петров В.В.* Надшліпний оптичний запис інформації / В. В. Петров[та ін.] ; відп. ред. О.Г. Додонов ; Ін-т проблем реєстрації інформації НАН України. К. : НАН України, 2009. 282 с.
9. *Petrov V.V.* Analysis of properties of optical carriers after long-term storage / V. V. Petrov, A. A. Kryuchin, I. V. Gorbov, I. O. Kossko, S. O. Kostyukevych // Semiconductor Physics. Quantum Electronics & Optoelectronics. 2009. V. 12, № 4. P. 399–402.
10. *Toppin E.* Setting a new standard in permanent archival storage / E. Toppin // Digital 2Disc. – 2010. P. 42–44.
11. Металеві носії для довготермінового зберігання інформації / В. В. Петров, А. А. Крючин, С. М. Шанойло, Л. І. Крючина, І. О. Косско. К. : ІПРІ НАН України, 2005. 132 с.
12. *Ефимов Д. А.* Скрижали 21 века – применение металлических носителей для сверхдолгого хранения оцифрованных библиотек [Электронный ресурс] / Д. А. Ефимов // Библиотеки и информационные ресурсы в современном мире науки, культуры, образования и бизнеса: материалы конф. Электрон. дан. М.: ГПНТБ России, 2010. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Систем. требования: IBM PC, Windows 2000 или выше. Загл. с этикетки диска. ISBN 978-5-85638-139-8. № гос. регистрации 0321000673.
13. *Петров В.В.* Технології створення перспективних оптичних носіїв / А.А. Крючин, С.М. Шанойло, А.С. Лапчук // Тези доповідей міжнародної конференції «Сучасна інформатика: проблеми, досягнення та перспективи розвитку» Київ, 2013. С.253-254.
14. *Когаловский М. Р.* Тенденции развития технологий управления информационными ресурсами в электронных библиотеках / М. Р. Когаловский // Труды 8^{ой} Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» RCDL'2006. Суздаль, 2006. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rcdl.ru/proceedings.php?year=2006>.
15. *Irie M.* Standardized Life Expectancy of High-Speed Recordable Optical Disks / M.Irie, Y.Okino // IEEE Transactions on magnetics. 2007. V 41. № 2. P. 864–866.
16. *Устинов В.* Хранение данных на CD- и DVD-дисках: на наш век хватит? / В. Устинов // Broadcasting. Телевидение и радиовещание. 2006. № 4. С. 54–59.

Розділ 4

ВИСОКОШВИДКІСНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ЦИФРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТЕЛЕВІЗІЙНИМИ КАНАЛАМИ. ЕЛЕКТРОННА КОМП'ЮТЕРНА ГАЗЕТА «ВСЕ – ВСІМ»

Кінець 80-х – початок 90-х років 20-го століття відзначилися різким збільшенням виробництва та масовим поширенням високопродуктивних персональних комп'ютерів. В індивідуальному користуванні було вже сотні тисяч персональних комп'ютерів, і гострим стало питання, як поширювати інформацію, де і як її отримувати власникам персональних комп'ютерів.

Великі комп'ютери (обчислювальні комплекси) та безліч персональних були з'єднані аналоговими телефонними лініями; обмін даними зі швидкістю 19,2 кбіт/с здійснювався за індивідуальними даними через електронну пошту. Але коли необхідно було швидко надати інформацію сотням тисяч і мільйонам персональних комп'ютерів при практично відсутній мережі Інтернет, виникла проблема мереж з відповідною пропускнуою здатністю. Сучасна інформаційна інфраструктура, яка би взяла на себе інформаційне забезпечення всіх галузей (промислових, наукових, економічних, медичних, суспільних тощо) життєдіяльності країни, була відсутня.

В Інституті проблем реєстрації інформації НАН України було розроблено і впроваджено в практику новий принцип масового поширення інформації – принцип комп'ютерної газети. Науково-технічна розробка інституту втілилася в життя у вигляді Української електронної комп'ютерної газети «ВСЕ–ВСІМ», зареєстрованої 8 лютого 1991 року Держтелерадіо України як засіб масової інформації.

Телевізійна комп'ютерна преса «ВСЕ–ВСІМ» дозволила реалізувати принципово нові можливості поширення комп'ютерної інформації (науково-технічних рефератів, реклами, комерційної, суспільно-політичної, ділової та інших видів інформації) у рамках великих

регіонів з урахуванням мовних, економічних та інших особливостей із використанням дешевих масових засобів прийому, селекції, реєстрації та обробки інформації з урахуванням індивідуальних потреб людини сучасного суспільства.

Суть роботи системи полягала в тому, що інформація зі студії за допомогою існуючих телевізійних передавачів ширилася всією територією України. Споживачем інформація приймалася звичайною телевізійною антеною через спеціальні телевізійні адаптери, які перетворювали телевізійні сигнали до вигляду, що сприймався комп'ютером і записувався безпосередньо в його пам'ять. Промисловими підприємствами України було виготовлено достатню кількість телевізійних адаптерів, що повністю забезпечило потребу споживачів.

В інститут інформація стікалася телефонними лініями, супутниковими та радіорелейними каналами і кожен день передавалася по всій Україні на каналі «УТ-1» протягом однієї години зі швидкістю 1,25 млн біт за секунду. У кожному сеансі передавалося від 40 до 60 Мбайт інформації, класифікованої за 76 розділами. Абоненти отримували ті рубрики, на які підписалися. Сотні тисяч користувачів могли приймати її одночасно. Для інформаційного наповнення передач електронної комп'ютерної газети «ВСЕ–ВСІМ» було створено систему з понад 50 тематичних редакцій, які готували інформаційні блоки для передачі користувачам. Значну частину інформаційних блоків становила наукова інформація.

Каналами електронної комп'ютерної газети «ВСЕ–ВСІМ» передавалася інформація бази даних Current Contents Інституту наукової інформації США, ВІНІТІ, а також реферати наукових публікацій учених України. Інститут щотижня отримував інформацію з БД Current Contents на правах оренди і поширював її територією України. Це був перший вдалий досвід широкого використання світових баз даних реферативної інформації.

Комп'ютерна газета «ВСЕ–ВСІМ» дозволила створити систему баз даних наукової інформації. Редакції газети «ВСЕ–ВСІМ» вдалося зібрати понад 8 млн рефератів статей з журналів усього світу та записати на 50 компакт-дисках для використання вченими та викладачами України.

У 1995 р. інститут почав випускати перший український реферативний журнал «Джерело». В 1998 р. спільно з Національною бібліотекою України імені В. І. Вернадського була започаткована національна система реферування наукових видань України.

На основі газети «ВСЕ–ВСІМ» було створено першу корпоративну систему розповсюдження інформації. Вона забезпечувала оперативною інформацією всі обласні та районні податкові адміністрації і інспекції України, в яких було встановлено понад 800 робочих місць абонента. Таким чином, створена Інститутом проблем реєстрації інформації НАН України система збору великих обсягів різноманітної інформації і системи її передачі каналами телевізійного мовлення, виготовлення Київським ВО «Електронмаш», Смілянським радіоприладним заводом і ВО «Київський радіозавод» понад 45 тисяч телевізійник

адаптерів дозволили в найкоротший строк об'єднати в єдину інформаційну систему всі великі та середні адміністративні, господарські й комерційні структури України і зробити рішучий крок на шляху створення інформаційної структури сучасного суспільства та ринкової економіки.

Електронна комп'ютерна газета «ВСЕ – ВСІМ», яка виходила 10 років, стала одним із найбільших реалізованих проектів у галузі інформаційних технологій в Україні. В інституті було запропоновано принципово новий метод розповсюдження комп'ютерної інформації телевізійними каналами. Розробка була захищена патентом України та визнана кращим патентом України 1993 року.

Телевизионно-компьютерная пресса «ВСЕ – ВСЕМ»

В. В. Петров, В. Я. Сандул

Вестник Всесоюзного общества информатики и вычислительной техники.
Москва. 1990. № 2. С. 8–18.

Авторы благодарны председателю ГКВТИ СССР Б. Л. Толстых, академику В. С. Михалевичу, академику АН УССР В. И. Скурихину за их интерес и поддержку в реализации ТКП «ВСЕ-ВСЕМ», а также профессору А. Г. Додонову за активное участие в создании системы и руководство разработками аппаратных средств, обеспечивающих передачу-прием компьютерной информации по широкополосному телевизионному каналу.

Рассмотрен принципиально отличный от существующего принципа распространения информации «один для всех» новый принцип «ВСЕ – ВСЕМ», состоящий в том, что для передачи компьютерной информации со скоростью 1 Мбит/с с одновременным селективированием ее на приемной ПЭВМ используется широкоэмиттерный телевизионный канал и специальные программно-аппаратные средства. Представлена уникальная возможность организации электронной почты с использованием телевизионной сети и рассчитанной на массового абонента.

Информатизация общества существенно влияет на темпы роста производительности труда, увеличивает роль ресурсо- и природосберегающих технологий, сокращает сроки научных разработок и внедрения их в производство раскрепощает интеллектуальный потенциал человека, усиливает его инициативу и творческие способности.

Особенно важным становится значение информатизации общества в условиях рыночной экономики. Это связано с тем, что принятие квалифицированных и обоснованных решений без наличия полной, достоверной и актуальной информации не представляется возможным, а следовательно, может привести к нарушению экономических, деловых и финансовых связей.

В республике, как и стране в целом, складывается ситуация, когда информатизация общества не опережает, а отстает от темпов развития рыночной экономики.

По аналогии с принимаемыми радикальными шагами по вводу рыночной экономики необходимо принять радикальные шаги в информатизации общества.

Как и все ведущие страны мира, наша страна вынуждена будет потратить десятилетия и значительные средства на создание современных телекоммуникационных сетей, мощных информационно-вычислительных комплексов и баз данных компьютерной информации. В целях ускорения этого процесса, а также получения в кратчайшие сроки практических результатов в области информатизации общества предлагается принцип создания телевизионно-компьютерной прессы «ВСЕ – ВСЕМ», основанный на массовом распространении максимально полной компьютерной информации, охватывающей все основные направления деятельности общества, по широкополосному телевизионному каналу с предоставлением абонентам возможности аппаратной селекции получаемой информации в процессе информационного сеанса, а также организации массовой электронной почты с учетом языковых особенностей абонентов.

ИНФОРМАЦИЯ – ОДИН ИЗ ВАЖНЕЙШИХ ВИДОВ СЫРЬЯ

Информация в современном обществе – один из важнейших видов сырья. Например, от оперативности информирования исследователей и разработчиков во многом зависит прогресс науки и техники, общества в целом [4].

Недостаточность в информации играет далеко не последнюю роль в отставании наших разработок в области техники на одно-два поколения. «Информационный голод» приводит к тому, что наше общество может многое не услышать и не увидеть в быстро меняющемся современном мире, не принять вовремя жизненно важных и принципиальных решений в области науки, техники или общественной жизни.

Информация в развитом обществе – ничем не восполнимый вид сырья. Это подтверждается следующими основными принципами:

- человек (как и любое живое существо) ощущает органическую потребность в непрерывном притоке воспринимаемой им информации, которая так же необходима для его биологической жизнедеятельности, как обмен веществ и физическое взаимодействие с окружающим миром;

- любые принципиально новые достижения в области науки и техники могут быть осуществлены только с использованием индивидуумом интеллектуального сырья, знаний, уже накопленных человечеством;

- информация как один из жизненно важных видов сырья должна отвечать самым высоким требованиям в части своих основных характеристик, которыми являются достоверность, компетентность, полнота и актуальность.

За последние 20 лет темп жизни резко возрос, увеличилась периодичность информационных поступлений, которые стали еженедельными и даже ежедневными практически по всем видам информации.

Опыт использования научно-технической информации показывает, что информация, полученная через 9–12 месяцев с момента ее создания, потребителю, как правило, уже не нужна. Она безнадежно устаревает – решение уже принято, проектные разработки завершены или завершаются, выбор сделан, «время ушло» и т.д.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПОДХОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИЕЙ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

В настоящее время информация в нашей стране поступает к заинтересованным специалистам через 4-5 месяцев, в то время как за рубежом она поступает к потребителю через неделю. Таким образом, разница в скорости прохождения информации до потребителя у нас и за рубежом 17–20 раз [4].

Следовательно, налицо «информационный голод», если не нашего общества в целом, то, по крайней мере, значительной части исследователей и разработчиков.

Существующие в нашей стране средства поиска и доставки информации создавались в то время, когда объемы поступающей к человеку информации и темпы ее поступления были сравнительно малы. Она накапливалась в библиотеках, и пользователи знакомились с ней эпизодически. Эта психология во многом сохранилась и в наше время. Анализ посещаемости научными сотрудниками библиотек показывает, что в среднем они пользуются библиотекой 3 раза в год. Это объясняется природой человеческого характера – его трудно «оторвать от стула».

Создавая компьютерные информационные системы, их разработчики использовали имевшийся опыт накопления информации в библиотеках, что вылилось в создание

информационно-вычислительных комплексов с большими банками данных и организацией работы с ними пользователей по аналогии с библиотеками.

Ежегодно в мире в области науки и техники формируется огромное количество информации. Только 50 % этой информации попадает в «поле зрения» информационных систем, а формируемые из нее базы данных отражают не более 2 % актуальной информации, что удовлетворяет только 1 % потребности потребителей в оперативных сведениях.

Несмотря на наличие мощных информационных систем и сетей передачи данных за рубежом информированность там тоже не высока, так как она в основном повторяет «принцип библиотеки», т. е. обращения пользователя по индивидуальным запросам к базам данных. Так, анализ использования эксплуатируемой более чем в 10 странах системы ВИДЕОТЕКС показывает, что во Франции среднемесячное занятие 1 терминала – 97 мин, а число вызовов в месяц – 16 [3].

Организация всеобъемлющих баз данных, содержащих всю создаваемую общественной информацию, которая, по некоторым оценкам, составляет объем около 2000 Гбайт в год, является еще не решенной задачей. Объем информации в существующих базах данных составляет около 200 Гбайт [4]. Поэтому даже при реализации информационного обслуживания потребителей по индивидуальным запросам они гарантированно получают неполную информацию, а в связи с индивидуальным поиском ее в больших объемах стоимость информационного обслуживания довольно высока. Именно поэтому, несмотря на то что система ВИДЕОТЕКС эксплуатируется на Западе уже около 10 лет, число пользователей ее невелико, например, в ФРГ – 120 тысяч, в Японии – 30 тысяч, в Канаде – 20 тысяч [3].

Явная неспособность существующей системы распространения информации удовлетворить потребности потребителей указывает на единственно возможный путь для потребителя уйти от униженного для него принципа предоставления информации «ешь, что дают» – это персональная компьютеризация, которую мы сейчас и наблюдаем.

Пользователь не хочет куда-то ходить, что-то просить, разъяснять, доказывать. Он хочет получить независимость и вместо предлагаемой ему сверхмощной суперЭВМ где-то далеко он предпочитает иметь у себя на столе компактную, недорогую, оснащенную соответствующей периферией персональную ЭВМ.

Существующие компьютерные системы распространения информации, реализующие обслуживание пользователей по запросам, не только дорогостоящие, но и не способны в полной мере удовлетворить «информационную потребность» пользователя.

Тем не менее опыт развития общества показывает, что есть и другие, более эффективные по сравнению с «библиотеками», пути информатизации, а именно, создание прессы, т. е. источника и системы распространения информации, рассчитанных на массовый круг потребителей информации, в виде газет с многомиллионными тиражами и других массовых публикаций.

Идеальной ситуацией являлась бы возможность доставки пользователю всей интересующей его информации домой или на рабочее место. Однако здесь имеет место ряд ограничивающих факторов, в первую очередь таких, как баланс свободного времени индивидуума, стоимость информации и весьма малый процент практически полезной для него информации.

Самым массовым носителем информации в настоящее время является бумага, что предопределило создание текстовых баз данных в бумажной форме в виде архивов документации, библиотечных каталогов, словарей и энциклопедий – наиболее привычных для пользователей. В повсеместной практической научной, инженерной или

учебной работе широко практикуется работа именно с этими базами данных (просмотр, поиск, каталогизация, селекция фрагментов, контекстный анализ и др.) [1].

ЧЕЛОВЕК КАК ЭЛЕМЕНТ СОВРЕМЕННОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА

Важнейшим свойством рационально организованного, высокоинтеллектуального общества является условие раскрепощения личности человека, приоритет его индивидуальности, что качественно улучшает творческий потенциал как общества в целом, так и его отдельных индивидуумов [7]. Индивидуум – основной элемент информационного общества, имея потенциальную возможность получать все виды прессы, физически не в состоянии даже «бегло просмотреть» хотя бы сотые или тысячные доли ежедневно обрушивающегося на него информационного потока.

Если предположить, что человек работает с информацией по 8 часов в день и просматривает одну страницу текста (2000 байт) за 2 мин, то тогда за день он просмотрит около 500 страниц текста, а годовой объем мировой информации, составляющий порядка 2000 Гбайт, он сможет просмотреть за 2 млн дней.

Именно поэтому крупные предприятия и организации содержат огромные отделы НТИ, задачей которых является оперативное осмысливание информации и селектирование ее с учетом потенциальных интересов индивидуальных потребителей.

Так как человек стал на путь создания компьютерных систем формирования, хранения и обработки информации, то попытка «втиснуть» в существующие системы распространения собираемых «индивидуальных» запросов влечет за собой создание мощных информационных сетей, большого количества крупных центров хранения и обработки информации, насчитывающих более 4000 крупных баз данных. Если индивидуальный потребитель хочет осмыслить хотя бы 10 % поступающей ежегодно информации (т. е. 200 Гбайт), то при средней скорости ввода-вывода информации в современных ЭВМ порядка 1 Мбайт/с только для ввода информации потребуется примерно 100 ч машинного времени, т. е. для обслуживания 1 млн пользователей потребуется 100 млн ч машинного времени в год, или в среднем 1 крупная ЭВМ на 100 пользователей.

Очевидно, что увеличение количества пользователей и увеличение объема информационных баз данных потребуют крупных затрат на создание и эксплуатацию мощных вычислительных центров и каналов связи, а следовательно, потребуют для своей реализации многомиллиардных затрат и длительного внедрения, что подтверждается имеющимся зарубежным опытом.

ТЕЛЕВИЗИОННО-КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРЕССА «ВСЕ-ВСЕМ»

Основная особенность процесса информатизации современного общества состоит в резком увеличении производства персональных ЭВМ, количество которых в мире составляет уже более 100 млн. шт. В нашей стране также предпринимаются активные усилия по развертыванию их массового производства.

Производительность персональных ЭВМ уже достигает нескольких миллионов операций в секунду, и обеспечение их компьютерной информацией представляет в настоящее время серьезную проблему. Персональные ЭВМ становятся интеллектуальным терминалом пользователя, например, в системах типа ТЕЛТЕКС, и превращаются в мощный инструмент общения пользователя с информационными базами данных. Однако, учитывая сложившуюся информационную технологию обслуживания пользователей по индивидуальным запросам и низкую скорость передачи информации по телефонным сетям, эффективность использования оконечных персональных

ЭВМ крайне мала, а стоимость получаемой ими информации высока. Исходя из ежегодного мирового прироста информации объемом порядка 2000 Гбайт, ежедневный прирост объема информации составляет около 6 Гбайт. Сложившаяся система реферирования информации уменьшает этот объем до 3-10 %, а так как рефераты имеются на машинных носителях, то их ежедневный объем максимально может составить 200 Мбайт. Например, объем всех реферативных изданий ВИНТИ составляет 2–3 Гбайт/год, т. е. около 10 Мбайт в день.

Ежедневный прирост компьютерной информации в виде рефератов и кратких сообщений, максимальные объемы которого оцениваются примерно в 200 Мбайт, современная персональная ЭВМ способна обработать по кодовым словам и ключам в течение 0,5-1 ч.

Исходя из этого на общем собрании АН УССР в декабре 1988 г. был предложен новый принцип массового распространения компьютерной информации – принцип компьютерной прессы, предполагающий:

- осуществление передачи компьютерной информации по широкополосным каналам широкоэмитательного телевидения со скоростью не менее 1 Мбит/с;
- массовое использование в качестве оконечных приемных устройств распространяемой компьютерной информации современных персональных ЭВМ, оснащенных компьютерным телевизионным приемником информации;
- оснащение абонентских персональных ЭВМ разработанными в Институте проблем регистрации информации АН УССР (ИПРИ АН УССР) оптико-механическими запоминающими устройствами со сменными носителями большой емкости (200 Мбайт) [7].

Формирование ежедневных сеансов передачи компьютерной прессы может осуществляться по региональному принципу. Следовательно, любой пользователь персональной ЭВМ может представить по почте, телефонным и другим каналам связи в региональный центр свою компьютерную информацию для включения ее в ближайший сеанс передачи, т. е. все абоненты компьютерной прессы, наряду с приемом передаваемой компьютерной информации, могут передавать собственную информацию для всех абонентов сети. Такая система реализует принцип передачи всей информации всем пользователям – принцип «ВСЕ – ВСЕМ».

Чтобы «компьютерная пресса» была биологически приемлемой для человека, желательно, чтобы сеанс передачи информации не превышал 0,5–1 ч. Таким образом, скорость передачи должна быть не ниже 1 Мбит/с.

Телевизионно-компьютерная пресса «ВСЕ – ВСЕМ» позволяет реализовать принципиально новые возможности распространения компьютерной информации (научно-технических рефератов, рекламы, коммерческой, общественно-политической, деловой и других видов информации) в рамках крупных регионов с учетом языковых, экономических и прочих особенностей с использованием дешевых массовых средств приема, селекции, регистрации и обработки информации с учетом индивидуальных потребностей человека современного общества.

Этот принцип позволяет устранить бумагу как носитель информации на всех основных этапах ее существования (формирование, распространение, прием и обработка) [2]. Это обеспечивает резкое снижение стоимости информации и качественно упрощает доступ к ней массового потребителя с одновременным максимальным использованием существующих систем телекоммуникации.

В этих условиях требуется не только высокая скорость передачи, но и создание специальных программно-аппаратных средств для селективного информирования в процессе ее приема и последующей ее автоматизированной обработки.

Стоимость дополнительных программно-аппаратных средств, требуемых для оснащения ПЭВМ потребителя, не должна превышать 5–10 % ее стоимости.

ТЕХНОЛОГИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕЛЕВИЗИОННО-КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРЕССЫ «ВСЕ – ВСЕМ»

Для приема информации по телевизионному каналу ПЭВМ пользователей должны быть оснащены разработанными в ИПРИ АН УССР и поставляемыми абонентам системы «ВСЕ – ВСЕМ» специальными программно-аппаратными средствами.

В целях организации телевизионно-компьютерной прессы «ВСЕ – ВСЕМ» (ТКП «ВСЕ – ВСЕМ») на Украине создан Межотраслевой центр компьютерной информации (МЦКИ) в составе ИПРИ АН УССР и Специального конструкторского бюро оптических запоминающих устройств Минрадиопрома СССР. Установка у абонентов Центра программно-аппаратных средств и их обслуживание будут осуществляться Украинским ПО ВТИ ГКВТИ СССР.

ТКП «ВСЕ – ВСЕМ» сможет обеспечить ежедневную передачу-прием больших объемов компьютерной информации (300–500 Мбайт) по широкоэмитальной сети украинского телевидения с длительностью сеанса 0,5–1 ч. Эти возможности превосходят имеющиеся в стране объемы компьютерной информации. Так, годового объема БД, обрабатываемых в УкрНИИТИ – это около 90 % информации, генерируемой в ГАСНТИ, – достаточно для ежедневной передачи лишь 20 Мбайт. Объем информации, поступающей от МЦНТИ, составит еще 10–15 Мбайт. Кроме системы автоматизации научно-технической информации, в стране практически нет подобных развитых информационных комплексов. Библиографические описания научно-технических изданий (основная часть информации ГАСНТИ) не пользуются широкой популярностью – лишь 60 % работников науки и техники проявляют к ним интерес. Следовательно, возникают новые проблемы – формирование в компьютерном виде недостающих объемов остальных видов информации для ежедневных сеансовых блоков, а также обеспечение условий для повышения потребительского «спроса» информации. Решение указанных проблем – реальный шаг к интенсификации информационного обмена, к выходу из критической ситуации, в которой находится процесс информатизации советского общества.

Просматриваются следующие пути информационного насыщения ТКП «ВСЕ-ВСЕМ»:

- распространение 100 % объема информации, генерируемой в настоящее время в ГАСНТИ;
- формирование тематических редакций на базе научных и информационных отделов институтов системы АН УССР, кафедр ведущих вузов, а также отделов НТИ крупнейших НПО республики – генераторов НТИ;
- интенсификация создания в информационных центрах и библиотеках фактографических и полнотекстовых БД;
- формирование организаций – генераторов библиографических документов в области художественной литературы, периодических литературно-художественных, политических изданий и средств массовой информации;
- привлечение к информационному обмену организаций республики систем Госплана, Госснаба, ЦСУ, МВД и др.;
- привлечение к передаче в компьютерном виде через систему «ВСЕ – ВСЕМ» оперативных новостей, формируемых средствами массовой информации (ТАСС – РАТАУ, газетные издательства и пр.);

– включение в систему всех справочных и рекламных служб городов и республики (служба 09, транспорт, магазины, кинотеатры, спортмероприятия и их результаты и пр.);

– организация электронной почты для обмена информацией между абонентами системы;

– организация передачи информации, формируемой в системе банков республики и страны, Госстраха и других аналогичных организаций;

– привлечение к информационному обмену кооперативов, индивидуальных хозяйств;

– организация обмена информацией с зарубежными странами.

Существенный элемент информационного обеспечения ТКП «ВСЕ – ВСЕМ» – его децентрализация. Суть его заключается в создании на базе научно-исследовательских и учебных организаций Украины тематических редакций, обеспечивающих основные функции:

– изучение информационных потоков ГАСНТИ по выбранной тематике и выдача МЦКИ рекомендаций на заключение договоров с конкретными информационными центрами;

– генерация дополнительной, не нашедшей отражения в ГАСНТИ информации (в первую очередь по украинским изданиям);

– квалифицированные консультации абонентов ТКП «ВСЕ – ВСЕМ» в рамках своей тематики.

Задачей создаваемых тематических редакций является организация публикации через ТКП «ВСЕ – ВСЕМ» рукописей статей, докладов и пр., которые, в первую очередь из-за организационных недостатков, не могут быть опубликованы в традиционных изданиях. Здесь большой разрыв информации, причем в актуальной форме – полные тексты и фактография. Для этого необходимо решить вопрос авторского права публикации через ТКП «ВСЕ – ВСЕМ».

ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЙ ИНФОРМАЦИИ И ФОРМИРОВАНИЕ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМЫ «ВСЕ – ВСЕМ»

Важнейшим источником информации должны стать библиотечные фонды. Перенос первоисточников на машинные носители и передача их через МЦКИ по запросам абонентов существенно наполнят ежедневные сеансовые блоки компьютерной информации и вызовут несомненный интерес. Здесь возможно реализовать такую схему: генерация бибописания с указанием места хранения первоисточника (в информационных центрах) – передача их (МЦКИ) – запрос абонента по месту хранения – формирование текста на машинном носителе (организация-хранитель) – передача текста (МЦКИ). Головной организацией здесь могла бы стать Центральная научная библиотека АН УССР им. В. И. Вернадского.

Узкое место этого процесса – оснащение организаций-хранителей (библиотек) современными средствами ВТ, периферийным оборудованием, штатами и финансирование. Технические аспекты разрешимы, так как существующие за рубежом сканеры позволяют переносить на машинные носители до 3000 документов/ч, а также ввод и передачу информации с микрофиш до 3500 стр./ч [1].

Безусловно, в современных условиях возрождения отечественной культуры было бы целесообразным развернуть работы по созданию в стране аналогичной ГАСНТИ Государственной автоматизированной системы информации в области культуры (ГАСИОК). Важнейшей ее частью могла бы стать подсистема генерации библиогра-

фических описаний изданий художественной литературы и т. п. На Украине на себя эту роль могла бы взять Государственная библиотека им. КПСС на основе идеологии ГАСНТИ.

Большие объемы информации сосредоточены в базах данных некоторых ведомств. В первую очередь, это информация ЦСУ, Госснаба, Госплана. Требуется установить контакты с этими ведомствами через их головные НИИ и ВЦ в целях выявления путей взаимовыгодного обмена информацией.

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОЧТЫ

По-видимому, наиболее мощный поток информации должен дать обмен сообщениями между абонентами системы, т. е. электронная почта. Предоставление возможности оповещения не только одного предприятия-адресата, а и определенных их групп, причем с минимальными временными задержками на доставку сообщений, несомненно, заинтересует пользователей. Для обеспечения оперативности необходимо предусмотреть средство быстрой доставки информации, предназначенной для передачи, от абонента-отправителя в центр. Таким средством может стать, например, тот же канал телевидения, используемый в обратном направлении – от областных студий в Киев, и традиционные выделенные или коммутируемые линии связи. При этом необходимо будет организовать в таких областных центрах филиалы ТКП «ВСЕ – ВСЕМ», обеспечивающие сбор, подготовку и передачу информации в центр.

В рамках электронной почты абоненту ТКП «ВСЕ – ВСЕМ» можно присваивать постоянный номер, сохраняющийся за ним даже в случае его местонахождения в другом регионе или в пути, куда и будет направляться адресованная ему информация.

Здесь же могут быть организованы разделы по принципу клубов, ассоциаций по производственным интересам, ведомствам, формальным и неформальным организациям, рекламно-коммерческих и других типов информации.

ПРИНЦИПИАЛЬНО НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ТЕЛЕВИЗИОННО-КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРЕССЫ «ВСЕ – ВСЕМ»

В эпоху научно-технической интеграции, когда все крупные научные открытия делаются на стыках наук, а технические разработки – при участии многих ведомств, специалист крайне нуждается в информации – путеводителе по смежным областям.

С учетом этого предлагаемая система распространения информации позволит организовать распределительную функцию: возможность получения не обширного «журнала», а по рубрикам (ключевым словам) – статей, опубликованных в различных «журналах».

Индивидуальная селекция информации, предусматриваемая в ТКП «ВСЕ – ВСЕМ», позволит абоненту осуществлять отбор необходимой ему информации из всего потока по 512 рубрикам и ключевым словам с различной глубиной маскирования. Набор ключевых слов и рубрик пользователь формирует на своей персональной ЭВМ, что дает возможность оперативно корректировать круг его интересов.

Организация личных баз данных предоставит пользователю принципиально новую возможность – средствами достаточно простой в эксплуатации для него информационно-поисковой системы производить просмотр баз данных по соответствующим тематическим рубрикам с выводом, при необходимости, на твердую печать нужных материалов.

Кроме того, каждый абонент сможет в соответствии со структурой своих инфор-

мационных потребностей иметь минимум один свой личный журнал, который он открывает, рассчитывая не только получить очередную порцию полезной для него информации, но и просто пообщаться с единомышленниками.

В целях расширения информационных возможностей системы абонентам будут предоставляться дополнительные внешние запоминающие устройства на сменных оптических цилиндрах ЕС-5153 емкостью 200 Мбайт, что предоставит им возможность создания личных баз данных практически неограниченных объемов.

Таким образом, ТКП «ВСЕ – ВСЕМ» позволит активизировать накопленные человеческие знания. Этот фактор является основополагающим принципом предложенной ИК АН УССР концепции информатизации общества.

УПРОЩЕНИЕ ДЕЛОВЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ПРОИЗВОДИТЕЛЯМИ И ПОТРЕБИТЕЛЯМИ

На разных этапах развития общества во всех сферах его деятельности всегда играл важную роль принцип организации цепочки ПРОИЗВОДИТЕЛЬ – ПОТРЕБИТЕЛЬ.

В разное время вакуум между ними заполняла определенная коммерческая прослойка – наиболее активная часть общества (кушцы, коммивояжеры, маклеры, менеджеры и др.). Несмотря на наличие такой прослойки связи между пользователем и потребителем осуществлялись далеко не в оптимальные сроки, и далеко не наиболее выгодных для обеих сторон условиях, так как «прослойка» руководствовалась, конечно же, прежде всего собственными интересами.

В условиях перехода на рыночную экономику установление непосредственных контактов между производителем и потребителем приобретает определяющее значение.

В рамках развитой абонентской сети системы «ВСЕ – ВСЕМ» пользователь и производитель получают возможность установить как через электронную сеть, так и электронную почту непосредственные деловые, коммерческие и производственные контакты.

РЕОРГАНИЗАЦИЯ ФУНКЦИЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЛУЖБ ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ, РАСШИРЕНИЕ ИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

В мире наблюдается серьезный кризисный момент в развитии информационной деятельности. Прежде всего это обусловлено тем обстоятельством, что в современных условиях информационное обеспечение должно охватывать не только научно-техническую, но и другие виды информации, а также началом эпохи вступления в информационное общество. Кардинально меняются функции и обязанности работников информационного обеспечения и используемые ими средства [9].

В развитых западных странах более половины трудовых ресурсов занято в производстве и обработке информации [8]. Это влечет за собой изменение профессиональной структуры общества, рост творческой составляющей в различных направлениях профессиональной деятельности. Исходя из этого на повестку дня встала необходимость в объединении всех информационных служб в единую информационную систему информационно-вычислительных услуг с развитыми сетями для сбора, обработки и распространения компьютерной информации. Это позволит унифицировать формы, средства и алгоритмы обработки информации.

Необходимо объединить все категории информационных работников в рамках единой информационной системы, а также обеспечить организацию обратной связи,

т. е. снабжать потребителя максимально необходимой ему информацией и, с другой стороны, использовать его как источник – автора или эксперта, обеспечив адресное распространение производимой им информации.

НАЦИОНАЛЬНЫЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ РЕГИОНАЛЬНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Предлагаемая ТКП «ВСЕ – ВСЕМ» позволит решить и некоторые социальные аспекты общества. В идеале в развитом информационном обществе значительная часть его членов получит возможность работать на дому. Уже на начальном этапе создания абонентской сети системы «ВСЕ – ВСЕМ» обществу представляется уникальная возможность – предоставить работу на дому творческим работникам, привлечь к общественно-полезному труду в домашних условиях инвалидов, пенсионеров и другие группы населения. В ТКП «ВСЕ – ВСЕМ» наряду с распространением научной, коммерческой и социальной информации можно организовать процесс обучения школьников и студентов, переквалификацию кадров с учетом всех новых знаний, формируемых человечеством. Предоставляется возможность организации информационных потоков на национальном языке, а также языках национальных меньшинств с автоматизированным их переводом на различных стадиях – формирования, передачи, приема и др.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ТКП «ВСЕ – ВСЕМ»

Абоненты ТКП «ВСЕ – ВСЕМ» оснащаются дополнительными внешними устройствами «ОРИЗОН-ТУ-ИПРИ» и ЕС-5153, а также специальным программным обеспечением (включая достаточно мощную информационно-поисковую систему и современную СУБД).

Устройство «ОРИЗОН-ТУ-ИПРИ», серийно выпускаемое Смелянским радиоприборным заводом, предназначено для приема компьютерной информации по каналам широковещательного телевидения с аппаратным селективированием принимаемой информации и записью выбранной абонентом информации на долговременное запоминающее устройство.

Устройство ЕС-5153 – накопитель на оптических цилиндрах, предназначенный для использования в качестве внешнего запоминающего устройства прямого доступа ПЭВМ, будет выпускаться несколькими серийными заводами. Он позволяет осуществлять однократную запись в произвольном месте сменного цилиндрического носителя информации емкостью 200 Мбайт и многократное считывание записанной информации. Связь с ПЭВМ осуществляется через контроллер ЕС-5153-0101, обеспечивающий подключение до четырех накопителей.

Основные параметры накопителя

Время доступа к информации, мкс.....	500
Скорость записи/считывания, Кбит/с.....	750
Время включения, с.....	1
Срок хранения информации на носителе, лет.....	15-20

Поставляемые специальные программные средства включают в себя более 10 комплексов программ, информационно-поисковую систему, СУБД, обеспечивают и реализуют следующие функции:

- прием информации по телевизионному каналу;
- запись принятой информации на внешнее запоминающее устройство;

- более тонкое послесеансовое селектирование принятой информации;
- организацию индивидуальных баз данных;
- поиск и обработку принятой информации по рубрикам (до семи уровней) и ключевым словам.

СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АБОНЕНТСКОЙ СЕТИ ТКП «ВСЕ – ВСЕМ»

В рамках создания на Украине ТКП «ВСЕ – ВСЕМ» в ИПРИ АН УССР в ноябре 1989 г. при участии специалистов ПО РРТ УССР была завершена разработка упомянутых программно-аппаратных средств и проводились экспериментальные сеансы передач компьютерной информации больших объемов (10-20 Мбайт) со скоростью передачи в канале до 1 Мбит/с, селектированием в процессе приема ее оконечной ПЭВМ по заданным рубрикам и записью на внешние запоминающие устройства.

В настоящее время завершаются работы по созданию экспериментальной сети ТКП «ВСЕ – ВСЕМ» (в количестве 20-25 абонентов) в Киеве, Харькове, Ворошиловграде, Донецке.

Регулярные экспериментальные передачи компьютерной информации по широко-вещательному телевидению планируется начать в июле-августе 1990 г.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕЛЕВИЗИОННО-КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРЕССЫ

Современное состояние средств массовой информации характеризуется интенсивным внедрением вычислительной техники в технологическом процессе подготовки изданий. Поэтому, учитывая наличие информации на машинных носителях, задача передачи ее через ТКП «ВСЕ – ВСЕМ» упрощается. Требуется только на приемлемых условиях договориться с издательствами газет на тиражирование их информации через ТКП «ВСЕ – ВСЕМ».

ТКП «ВСЕ – ВСЕМ» в будущем может охватить широкий круг абонентов – частных лиц, так как число ПЭВМ в личном пользовании будет возрастать. Кроме того, на основе средств ТКП «ВСЕ – ВСЕМ» несложно организовать и отдельную ее подсистему типа ТЕЛТЕКС, использующую в качестве абонентского пункта обычный телевизионный приемник. Поэтому информация для бытового применения, а это, кроме некоторых из указанных видов информации, в первую очередь справочная и рекламная информация, может уже на начальном этапе включаться в информационный обмен через ТКП «ВСЕ – ВСЕМ». Такая служба, как 09, уже автоматизирована, что снимает ряд проблем при обмене информацией.

В связи с переходом народного хозяйства к рыночной экономике и неизбежным возникновением ценных бумаг, финансовых бирж, безработицы и прочих сопутствующих свободному рынку динамичных элементов, оперативное информирование организаций и отдельных лиц о ситуациях и тенденциях в финансовом мире республики, страны может принимать существенное значение.

В дальнейшем в ТКП «ВСЕ – ВСЕМ» необходимо организовывать сеансовые блоки компьютерной информации в виде политематических, многоаспектных периодических изданий – электронных журналов с обязательным наличием графических страниц, неподвижных видеоизображений и звукового сопровождения. Должна быть обеспечена возможность получения у абонента всего журнала или его тематических фрагментов с выводом их на консольный экран ПЭВМ. В ТКП «ВСЕ – ВСЕМ» должна быть организована тематическая запись информации на оптические носители, а

также их распространение (издание электронных книг), создание электронного магазина, где по выставленным образцам изданий на бумаге любому желающему в его присутствии может быть распечатан в типографском исполнении и переплетен экземпляр выбранного им издания. Тут же можно наладить дешевую продажу на дискетах или других носителях отдельных статей, сообщений, игровых и учебных программ, оперативных новостей политики, культуры, спорта, учебных программ.

Важнейшим направлением развития системы является создание и распространение учебных программ для школ, вузов и др. в сотрудничестве ПО УкрВУЗинформатика, ВЦ Минпроса УССР.

Настоящая статья – постановочная по своей сути, и выводы об эффективности и результатах предлагаемого пути информатизации общества можно будет сделать через два-три года после его внедрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированные системы управления (Применение вычислительной техники и автоматизированных систем управления на предприятиях и в отраслях промышленности). – М.: Экономика, 1972.
2. Горностаев Ю. М. Современные тенденции развития систем обработки текстовых баз данных// Проблемы информационных систем. 1989. N 7. С. 71-95.
3. Глушков В. М. Основы безбумажной информатики. – М.: Наука, 1987.
4. Grenier I., Nanon G. A videotex Success Story// Telephony, 1987, N 4.
5. Еришов А. П. Информатизация: от компьютерной грамотности учащихся к информатизации общества// Коммунист. 1988. N 2. С. 82-92.
6. Кедровский О. В. Информатизация – все начнем сначала? – Материалы семинара. Теория и практика формирования и использование информационных ресурсов/ Общество «Знание» РСФСР, МДНТП. – М., 1989.
7. Петров В. В. Доклад на общем собрании АН УССР// В!сник АН УРСР. 1989. С. 65-67.
8. Хасэгава Х. Мир компьютеров в вопросах и ответах/ Пер. с япон. В 2-х кн. – М.: Мир, 1988. – 272с.
9. Hyams M. Information Science – and the profession of communications// Libr. Ass; oc.res. 1980. N 9. P.397.

Система распространения компьютерной информации «ВСЕ–ВСЕМ»

В. В. Петров, В. Я. Сандул, А. Г. Додонов

Электронное моделирование. 1991. № 1. С. 14-17.

В настоящее время трудно переоценить значение информации для развития современного общества. От своевременности, достоверности и доступности информации во многом зависит эффективность экономики, развитие науки и техники, обоснованность принятия решений, интеллектуальный уровень отдельного человека и всего общества. Объемы порождаемой, циркулирующей и хранимой информации огромны, и без средств, позволяющих автоматизировать целенаправленный отбор нужной информации, формирование необходимых массивов и распространение информации между заинтересованными пользователями, обойтись в настоящее время невозможно.

Существуют различные способы распространения информации, в частности, это и печатная продукция (газеты, журналы, книги), радио и телевидение, и распространение информации с помощью электронно-вычислительной техники, систем и сетей. Каждый существующий способ распространения информации имеет достоинства и недостатки. Так, радио и телевидение позволяют осуществлять массовое распространение информации среди пользователей, но при этом трудности вызывают запоминание и последующее ее использование. Информацию, представленную в виде печатной продукции, можно длительное время хранить, однако ее поиск, выборка нужного материала затруднены.

В настоящее время развиваются методы сбора и обмена информацией в компьютерном виде. Для этого создаются мощные информационные системы, содержащие центры сбора, хранения и распространения информации. Оперативность доведения, а также доступность информации для пользователей существенно зависят от способа ее распространения. Возможность распространения информации массовым пользователям в значительной мере определяется стоимостью ее доставки. Основными видами распространения компьютерной информации являются бумажные носители, носители на магнитных лентах и дисках, а также распространение информации по телефонным каналам связи и каналам связи кабельного телевидения.

Первые два вида распространения информации, представленной в компьютерном виде, не позволяют оперативно получать необходимую информацию, так как требуют почтовой или курьерской пересылки носителей информации, а затем длительной ее обработки.

Учитывая качество телефонных каналов связи, имеющихся в нашей стране, трудно надеяться на возможность в ближайшем будущем массового распространения по ним компьютерной информации. В то же время переход экономики на прямые связи между предприятиями приводит к необходимости массового оперативного распространения коммерческой, научной, технической, рекламной и других видов информации в масштабах крупных регионов и страны в целом.

Организация подобного распространения информации усложняется, с одной стороны, лавинообразным ростом объемов создаваемой и используемой информации во всех областях человеческой деятельности, с другой – требованием оперативного и избирательного поиска требуемой информации в различных, часто территориально

удаленных от потребителя местах ее сбора и хранения. Эту задачу можно решить с помощью информационно-вычислительных систем, базирующихся на интегрированном использовании банков данных и сетей ЭВМ. Такие системы, как правило, обеспечивают возможность взаимодействия удаленных потребителей с информационно-вычислительными ресурсами центров хранения информации.

Преодоление сложившихся диспропорций между требованиями информатизации общества и существующими техническими средствами возможно только при качественно новых подходах к организации информационной системы, которые позволили бы реализовать на практике «компьютерную гласность». Например, сроки получения нужной научно-технической информации для пользователей и разработчиков в СССР в среднем в 17–20 раз больше, чем в западных странах.

Количество электронно-вычислительных машин у пользователей стремительно растет, особенно в связи с массовым производством персональных ЭВМ. Для организации более эффективной работы ЭВМ они должны обладать возможностью оперативного получения и последующей обработки компьютерной научной, технической, общественно-политической и других видов информации. К концу следующей пятилетки только на Украине будет около 1 млн ПЭВМ, которые по своей производительности мало отличаются от ЭВМ в информационных центрах. Очень трудно представить и тем более реализовать эффективную систему передачи информации из таких центров пользователям, используя существующие традиционные способы ее передачи. В республике имеется около 100 тысяч предприятий, организаций и учреждений – источников и потребителей различного рода информации. В этих условиях только появление новых, нетрадиционных методов формирования, хранения и распространения информации позволит решить проблему доведения информации до потребителей. В Институте проблем регистрации информации (ИПРИ) АН УССР предложены принципы построения системы распространения и обмена компьютерной информацией с использованием сети ширококвещательного телевидения, основополагающим из которых является принцип «ВСЕ – ВСЕМ». Его суть заключается в том, что в Центральном банке информации, представленной в компьютерном виде, формируются рубрики рефератов вновь поступившей информации, а затем через телевизионный передатчик телецентра со скоростью несколько Мбит в секунду информация передается по сети ширококвещательного телевидения.

Следующий принцип – это принцип селективных передач и приема информации. Информация, поступающая из центра компьютерной информации, передается по рубрикам, и ЭВМ пользователя в процессе приема может проводить селекцию этой информации по интересующим разделам. Отобранная информация может накапливаться во внешней памяти ЭВМ, что дает возможность организовать индивидуальные и коллективные информационные базы по интересам. Кроме того, по запросу пользователей полный объем интересующей пользователя информации может быть передан только ему по индивидуальному запросу. Экспериментальные передачи по сети ширококвещательного телевидения компьютерной информации подтвердили эффективность такой системы распространения информации. Для этого разработаны специальный адаптер и специальное программное обеспечение для ПЭВМ.

В настоящее время на базе ИПРИ АН УССР и его СКВ, Минрадиопрома СССР создается Межотраслевой центр компьютерной информации (МЦКИ), который обеспечит абонентов всей интересующей их информацией, имеющейся в отечественных информационных центрах (ВИНИТИ, МЦНТИ, ВНИТИЦентр, ВИМИ, УкрНИИНТИ и др.), а в будущем и за рубежом.

Предусматривается два основных вида передачи компьютерной информации:

– передача общего потока информации с селективированием ее по заданным рубрикам и ключевым словам, а также записью во внешнюю память персональных компьютеров пользователей;

– передача дополнительной информации конкретным пользователям по их заявкам.

В настоящее время МЦКИ осуществляет регулярные передачи компьютерной информации по стандартному телевизионному широкоэмителльному каналу в отведенное для этого дневное время со скоростью до 1 Мбит/с с приемом и записью ее в долговременную память оконечных персональных компьютеров пользователей (по задачам, рубрикам, ключевым словам).

Общий ежедневный объем накапливаемой и передаваемой по телеканалу компьютерной информации МЦКИ в первые 2 года будет составлять 100–150 Мбайт (около 75 тысяч страниц печатного текста). Кроме получения ежедневной оперативной компьютерной информации абоненты МЦКИ будут иметь возможность оперативного доступа к базам МЦКИ для поиска во всем объеме имеющейся там информации (по выделенным и коммутируемым линиям связи, а также путем почтовых отправок на магнитных, оптических и бумажных носителях).

Создание МЦКИ позволит: ускорить процесс внедрения и практического использования новых информационных технологий в народном хозяйстве;

– повысить эффективность научных исследований за счет оперативного доступа к банкам данных научно-технической информации;

– обеспечить создание организационно-технической основы для проведения научно-исследовательских работ в области новых информационных технологий;

– обеспечить условие для эффективного международного сотрудничества на базе информационных технологий;

– организовать «электронную газету» для оперативного распространения коммерческой, деловой видов информации.

Электронная библиотека МЦКИ будет оперативно и гибко реагировать на различные информационные запросы своих абонентов: публикацию по требованию, обеспечивающую твердую копию или электронное распространение;

– ретроспективный информационный поиск материалов в банках данных в режиме диалогового взаимодействия по выделенным или коммутируемым ЛИС, а также по почтовому, телетайпному и телеграфному запросам;

– коммерческо-рекламное распространение информации.

Создание сети абонентов МЦКИ будет осуществляться в три этапа:

– оснащение телеадаптерами и специальным программным обеспечением пользователей, имеющих персональные компьютеры типа ЕС1840, ЕС 1841, IBM PC и другие совместимые с ними персональные компьютеры;

– подключение к сети МЦКИ абонентов, не имеющих персональных компьютеров, с централизованной поставкой им необходимого оборудования и программных средств;

– оснащение пользователей МЦКИ накопителями на сменных оптических цилиндрах емкостью 200 Мбайт и организация системы распространения заказной компьютерной информации на оптических цилиндрах для создания индивидуальных баз данных пользователей.

В работе МЦКИ будут задействованы ведущие научные, информационные институты и другие организации республики и страны. Техническое обслуживание средств вычислительной техники будет осуществляться производственным объединением вычислительной техники и информатики.

В дальнейшем предполагается организация двусторонних коммуникационных связей с пользователями и поставщиками информации с использованием проводных

линий связи, а также организация передачи информации по радиоканалам и спутниковой связи, выход на зарубежные сети и телекоммуникационные ресурсы.

Межотраслевой центр компьютерной информации оснащается современными средствами вычислительной техники, коммуникационным, связным и сервисным оборудованием, в том числе новыми отечественными накопителями на оптических носителях информации большой емкости, разработанными в ИПРИ АН УССР.

Для организации передачи компьютерной информации по телеканалу, приема и записи ее в ПЭВМ в ИПРИ АН УССР предложен специальный адаптер, а также соответствующее программное обеспечение, которые будут поставляться абонентам МЦКИ. Таким образом, в республике будет создана система распространения научно-технической, общественно-политической, деловой и коммерческой компьютерной информации для предприятий, организаций и отдельных пользователей всего региона.

Установка адаптера и специального программного обеспечения на персональных компьютерах абонентов позволит им получать глобальную «компьютерную газету» по всем основным направлениям деятельности с использованием ЭВМ для анализа, обработки полученной информации и других работ. Абонентам МЦКИ в дальнейшем будет осуществляться централизованная замена существующей аппаратуры на более современную. С целью создания индивидуальных баз данных пользователей большой емкости в течение 1991–1992 гг. персональные компьютеры абонентов МЦКИ будут укомплектованы отечественными накопителями информации на сменных оптических цилиндрах емкостью 200 Мбайт.

Таким образом, МЦКИ, реализующий перечисленные выше задачи, представляет собой сложную организационно-техническую систему, состоящую из информационной среды, комплекса технических и программных средств.

Основными техническими решениями, которые могут быть приняты при построении и обеспечении функционирования МЦКИ, являются следующие:

- определение функциональных подсистем МЦКИ и поэтапная реализация соответствующего технического и программного обеспечения;
 - ориентация на использование современных средств вычислительной техники (32-разрядных микро ЭВМ), имеющих высокое быстродействие, развитое программное обеспечение и средства телекоммуникации;
 - отработка технологических процедур, связанных с автоматизированным информационным обменом в процессе опытной эксплуатации системы;
 - планомерное наращивание функциональных возможностей системы и расширение предоставляемого сервиса;
 - разработка специализированных аппаратных и программных средств, обеспечивающих постоянное повышение эффективности и качества информационных услуг.
- Создаваемая электронная библиотека МЦКИ будет оперативно и гибко реагировать на различные информационные нужды своих абонентов:
- публикацию по требованию, обеспечивающую твердые копии или электронное распространение;
 - ретроспективный информационный поиск материалов в банках данных в оперативном режиме (по выделенным или коммутируемым каналам связи), по почтовому, телетайпному и телеграфному запросам;
 - коммерческо-рекламное распространение информации.

Новый подход к реализации массовой информатизации общества

В. В. Петров

В книге *В.В. Петров, А.А. Крючин, А.П. Токарь, С.М. Шанойло, В.Я. Сандул. Оптико-механические запоминающие устройства. Глава 6. Киев. Наукова думка. 1992.*

В условиях рыночной экономики народного хозяйства информатизация общества принимает принципиально важное значение. Это обусловливается тем, что принятие квалифицированных и обоснованных решений без наличия полной, достоверной и актуальной информации не представляется возможным, а, следовательно, может привести к нарушению экономических, деловых и финансовых связей.

В стране в целом складывается ситуация, когда информатизация общества не опережает, а отстает от темпов развития рыночной экономики. Кроме этого, решение проблемы информатизации общества существенно влияет на темпы роста производительности труда, увеличивает роль ресурсо- и природосберегающих технологий, сокращает сроки научных разработок и внедрения их в производство, раскрепощает интеллектуальный потенциал человека, усиливает его творческую инициативу и способности.

Важнейшим видом сырья для современного общества является информация.

Недостаточность в информации играет далеко не последнюю роль в отставании наших разработок в области техники на 1-2 поколения. «Информационный» голод приводит к тому, что общество может многое не услышать и не увидеть в быстро меняющемся современном мире, не принять вовремя жизненно важные и принципиальные решения в области науки, техники или общественной жизни.

Информация в развитом обществе – ничем невозполнимый вид сырья. Действительно, это подтверждается, по крайней мере, следующими основными принципами:

– человек ощущает органическую потребность в непрерывном притоке воспринимаемой им информации, которая так же необходима для его биологической жизнедеятельности, как обмен веществ и физическое взаимодействие с окружающим миром;

– любые принципиально новые достижения в области науки и техники возможны только с использованием индивидуумом интеллектуального сырья – знаний, уже накопленных человечеством;

– информация как один из жизненно важных видов сырья должна отвечать самым высоким требованиям в части своих основных характеристик, которыми являются достоверность, компетентность, полнота и актуальность.

За последние 20 лет темп жизни резко возрос, увеличилась периодичность информационных поступлений, которые стали еженедельными и даже ежедневными практически по всем видам информации. Опыт использования научно-технической информации показывает, что информация, полученная потребителем через 9-12 месяцев от момента ее создания, в большинстве своем уже не нужна. Она безнадежно устаревает – решение уже принято, проектные разработки завершены или завершаются, выбор сделан, «время ушло» и т.д. Время прохождения информации до потребителя составляет 4-5 месяцев, в то время как за рубежом это время составляет одну неделю.

Следовательно, налицо «информационный голод» если не нашего общества в целом, то по крайней мере значительной части исследователей и разработчиков.

Существующие в нашей стране средства поиска и доставки информации создавались в то время, когда объемы поступающей к человеку информации и темпы ее поступления были сравнительно невелики. Информация накапливалась в библиотеках, и пользователи знакомились с ней эпизодически. Эта психология во многом сохранилась и в наше время. Анализ посещаемости научными сотрудниками библиотек показывает, что в среднем они пользуются библиотекой 3 раза в год.

Создавая компьютерные информационные системы, их разработчики использовали опыт накопления информации в библиотеках, что привело к созданию информационно-вычислительных комплексов с большими банками данных и организацией работы с ними пользователей по аналогии с библиотеками.

Ежегодно в мире в области науки и техники формируется огромное количество информации, но только 50 % ее попадает в «поле зрения информационных систем, а формируемые из нее базы данных отражают не более 2 % актуальной информации, что удовлетворяет только 1 % потребности потребителей в оперативных сведениях. Несмотря на наличие мощных информационных систем и сетей передачи данных за рубежом, информированность там тоже не высока, так как она в основном повторяет «принцип библиотеки», т.е. обращения пользователя к базам данных по индивидуальным запросам.

Так, анализ использования эксплуатируемой более чем в 10 развитых странах системы ВИДЕОТЕКС показывает, что, например, во Франции среднемесячное занятие 1 терминала – 97 минут, а число вызовов в месяц – 16 [3].

Организация всеобъемлющих баз данных, содержащих всю создаваемую обществом информацию, которая по некоторым оценкам составляет объем около 2000 Гбайт в год, на сегодняшний день является еще не решенной задачей [4]. Объем информации в существующих в настоящее время базах данных составляет около 200 Гбайт. Поэтому, даже при реализации информационного обслуживания потребителей по индивидуальным запросам они гарантированно получают неполную информацию, а в связи с индивидуальным поиском ее в больших объемах стоимость информационного обслуживания довольно высока. Именно поэтому, хотя система ВИДЕОТЕКС эксплуатируется на западе уже около 10 лет, число пользователей ее невелико, например, в ФРГ – 120, в Японии – 30, в Канаде – 20 тыс. [3].

Явная неспособность существующей системы распространения информации удовлетворить потребности потребителей указывает на единственно возможный путь для потребителя – уйти от унизительного для него принципа предоставления информации «ешь, что дают» к персональной компьютеризации, которую сейчас, собственно, мы и наблюдаем.

Существующие компьютерные системы распространения информации, реализующие обслуживание пользователей по запросам, не только дорогостоящие, но и не способны в полной мере удовлетворить «информационную потребность» пользователя.

Тем не менее опыт развития общества показывает, что есть и другие, более эффективные (по сравнению с «библиотеками») пути информатизации, а именно, создание прессы, т.е. источника и системы распространения информации, рассчитанных на массовый круг потребителей информации в виде газет с многомиллионными тиражами и других массовых публикаций.

Идеальной ситуацией являлась бы возможность доставки пользователю всей интересующей его информации домой или на рабочее место. Однако здесь имеют место

ряд ограничивающих факторов, в первую очередь таких, как баланс свободного времени индивидуума, стоимость информации и весьма малый процент практически полезной для него информации.

Самым массовым носителем информации в настоящее время является бумага, что и предопределило создание текстовых баз данных в бумажной форме в виде архивов документации, библиотечных каталогов, словарей и энциклопедий – наиболее привычных для пользователей. В повсеместной практической научной инженерной или учебной работе широко практикуется работа именно с этими базами данных (просмотр, поиск, каталогизация, селекция фрагментов, контекстовый анализ и т. п.).

Поскольку человек стал на путь создания компьютерных систем формирования, хранения и обработки информации, то попытка «втиснуть» в существующие системы распространения собираемых «индивидуальных» запросов влечет за собой создание мощных информационных сетей, большого количества крупных центров хранения и обработки информации, насчитывающих сегодня более 4000 крупных баз данных. Если индивидуальный потребитель хочет осмыслить хотя бы 10 % поступающей ежегодно информации (т.е. 200 Гбайт), то при средней скорости ввода-вывода информации в современных ЭВМ порядка 1 Мбайт в секунду только лишь для ввода информации потребуется примерно 100 часов машинного времени, т.е. для обслуживания 1 млн пользователей потребуется 100 млн часов машинного времени в год или в среднем 1 крупная ЭВМ на 100 пользователей.

Основная особенность процесса информатизации современного общества состоит в резком увеличении производства персональных ЭВМ, количество которых в мире составляет уже более 100 млн штук. В нашей стране также предпринимаются активные усилия по разрыванию их массового производства.

Производительность персональных ЭВМ уже достигает нескольких миллионов операций в секунду, и обеспечение их компьютерной информацией представляет серьезную проблему. Персональные ЭВМ становятся интеллектуальным терминалом пользователя, например, в системах типа ТЕЛТЕКС, и превращаются в мощный инструмент общения пользователя с информационными базами данных. Однако, учитывая сложившуюся информационную технологию обслуживания пользователей по индивидуальным запросам и низкую скорость передачи информации по телефонным сетям, эффективность использования оконечных персональных ЭВМ крайне мала, а стоимость получаемой ими информации высока. Исходя из ежегодного мирового прироста информации объемом порядка 2000 Гбайт, ежедневный прирост объема информации составляет около 6 Гбайт. Сложившаяся система реферирования информации уменьшает этот объем до 3–10 %, а так как сегодня рефераты имеются на машинных носителях, то их ежедневный объем максимально может составить 200 Мбайт. Так, объем всех реферативных изданий ВИНТИ составляет 2–3 Гбайта в год, т.е. около 10 Мбайт в день.

Широкое внедрение внешних запоминающих устройств ЕС 5133 и особенно массовое распространение недорогих, способных хранить записанную информацию несколько десятков лет, сменных носителей информации емкостью 200 Мбайт позволяет реализовать принципиально новый, отличный от существующих, подход к информатизации общества.

Этот принцип заключается в организации массового распространения компьютерной информации – принцип компьютерной прессы, предполагающий:

- осуществление передачи компьютерной информации по широкополосным каналам широкоэмитательного телевидения со скоростью не менее 1 Мбит в секунду;
- массовое использование в качестве оконечных приемных устройств распростра-

няемой компьютерной информации современных персональных ЭВМ, оснащенных компьютерным телевизионным приемником информации;

– оснащение абонентских персональных ЭВМ разработанными в Институте проблем регистрации информации АН Украины (ИПРИ АН Украины) оптико-механическими запоминающими устройствами со сменными носителями большой емкости (200 Мбайт) [6].

Формирование ежедневных сеансов передачи компьютерной прессы может осуществляться по региональному принципу. Следовательно, любой пользователь персональной ЭВМ может представить по почте, телефонным и другим каналам связи в региональный центр свою компьютерную информацию для включения ее в ближайший сеанс передачи, т.е. все абоненты компьютерной прессы, наряду с приемом передаваемой компьютерной информации могут передавать собственную информацию для всех абонентов сети. Такая система реализует принцип передачи всей информации всем пользователям – принцип «ВСЕ – ВСЕМ».

Чтобы «компьютерная пресса» была биологически приемлемой для человека, желательно, чтобы сеанс передачи информации не превышал 0,5–1 ч, т.е. скорость передачи должна быть не ниже 1 Мбит/с.

Компьютерно-телевизионная пресса «ВСЕ – ВСЕМ» (КТП «ВСЕ – ВСЕМ») позволяет реализовать принципиально новые возможности распространения компьютерной информации (научно-технических рефератов, рекламы, коммерческой, общественно-политической, деловой и других видов информации) в рамках крупных регионов с учетом языковых, экономических и прочих особенностей с использованием дешевых массовых средств приема, селекции, регистрации и обработки информации с учетом индивидуальных потребностей человека современного общества.

Предлагаемый принцип позволит устранить бумагу как носитель информации на всех основных этапах ее существования (формирование, распространение, прием и обработка) [1]. Это обеспечит резкое снижение стоимости информации и качественно упростит доступ к ней массового потребителя с одновременным максимальным использованием существующих систем телекоммуникации.

КТП «ВСЕ – ВСЕМ» сможет обеспечить ежедневную передачу – прием больших объемов компьютерной информации (300-500 Мбайт) по широковещательной сети украинского телевидения с длительностью сеанса 0,5–1 ч. Это превосходит имеющиеся сегодня в стране объемы компьютерной информации. Так, годового объема БД, обрабатываемых в УкрНИИТИ – а это около 90 % информации, генерируемой в ГАСНТИ – достаточно для ежедневной передачи лишь 20 Мбайт. Объем информации, поступающей от МЦНТИ, составит еще до 10–15 Мбайт. Кроме системы автоматизации научно-технической информации в стране практически нет подобных развитых информационных комплексов.

Кроме имеющихся отечественных и зарубежных информационных центров важнейшим источником информации должны стать библиотечные фонды. Перенос первоисточников на оптические цилиндры и передача их через МЦКИ по запросам абонентов существенно наполнят ежедневные сеансовые блоки компьютерной информации и вызовут несомненный интерес. Здесь возможно реализовать такую схему: генерация библиотечного описания с указанием места хранения первоисточника (в информационных центрах) – передача их (МЦКИ) – запрос абонента по месту хранения – формирование текста на машинном носителе (организация хранителя) – передача текста (МЦКИ).

Узкое место этого процесса – оснащение организаций-хранителей (библиотек) современными средствами ВТ, периферийным оборудованием, штатами и финансиро-

ванием. Технические аспекты разрешимы, так как существующие за рубежом сканеры позволят переносить на машинные носители до 3000 документов/ч, а также ввод и передачу информации с микрофиш до 3500 страниц/ч [8].

Безусловно, в современных условиях возрождения отечественной культуры было бы целесообразно развернуть работы по созданию в стране аналогичной ГАСНТИ Государственной автоматизированной системы информации в области культуры (ГАСИОК). Важнейшей ее частью могла бы стать подсистема генерации библиографических описаний изданий художественной литературы и т.п.

По-видимому, наиболее мощный поток информации должен дать обмен сообщениями между абонентами системы, т.е. электронная почта. Предоставление возможности оповещения не только одного предприятия-адресата, а и определенных их групп, причем с минимальными временными задержками на доставку сообщений, несомненно, заинтересует пользователей. Для обеспечения оперативности необходимо предусмотреть средство быстрой доставки информации, предназначенной для передачи, от абонента-отправителя в центр. Таким средством может стать, например, тот же канал телевидения, используемый в обратном направлении, оптические цилиндры и традиционные выделенные или коммутируемые линии связи.

В рамках электронной почты абоненту КТП «ВСЕ – ВСЕМ» можно присваивать постоянный номер, сохраняющийся за ним даже в случае его местонахождения в другом регионе или в пути, куда и будет направляться адресованная ему информация. Здесь же могут быть организованы разделы по принципу клубов, ассоциаций по производственным интересам, ведомствам, формальным и неформальным организациям, рекламно-коммерческих и других типов информации.

В эпоху научно-технической интеграции, когда все крупные научные открытия делаются на стыках наук, а технические разработки – при участии многих ведомств, специалист крайне нуждается в информации-путеводителе по смежным областям. С учетом этого предлагаемая система распространения информации позволит организовать распределительную функцию: возможность получения не обширного «журнала», а рубрик (ключевых слов), в результате чего он получит статьи, опубликованные в различных «журналах».

Индивидуальная селекция информации, предусматриваемая в КТП «ВСЕ – ВСЕМ», позволит абоненту осуществлять отбор необходимой ему информации из всего потока до нескольких сотен рубрик и ключевых слов с различной глубиной маскирования. Набор ключевых слов и рубрик пользователь формирует на своей персональной ЭВМ, что дает возможность оперативно корректировать круг его интересов.

Организация личных баз данных предоставит пользователю принципиально новую возможность – средствами достаточно простой в эксплуатации для него информационно-поисковой системы производить просмотр баз данных по соответствующим тематическим рубрикам с выводом, при необходимости, на твердую печать нужных материалов.

Кроме того, каждый абонент сможет, в соответствии со структурой своих информационных потребностей, иметь минимум один свой личный журнал, который он открывает, рассчитывая не только получить очередную порцию полезной для него информации, но и просто пообщаться с единомышленниками.

В рамках развитой абонентской сети системы «ВСЕ – ВСЕМ» пользователь и производитель получают возможность установить как через электронную сеть, так и электронную почту непосредственные деловые, коммерческие и производственные контакты.

В связи с переходом народного хозяйства к рыночной экономике и неизбежным возникновением ценных бумаг, финансовых бирж, безработицы и прочих сопутствующих свободному рынку динамичных элементов, оперативное информирование организаций и отдельных лиц о ситуациях и тенденциях в финансовом мире республик, страны может принимать существенное значение.

В дальнейшем в КТП «ВСЕ – ВСЕМ» необходимо организовывать сеансовые блоки компьютерной информации в виде политематических, многоаспектных периодических изданий – электронных журналов с обязательным наличием графических страниц, неподвижных видеоизображений и звукового сопровождения. Должна быть обеспечена возможность получения у абонента всего журнала или его тематических фрагментов с выводом их на консольный экран ПЭВМ. В КТП «ВСЕ – ВСЕМ» должна быть организована тематическая запись информации на оптические носители, а также их распространение (издание электронных книг), создание электронного магазина, где по выставленным образцам изданий на бумаге любому желающему в его присутствии может быть распечатан в типографском исполнении и переплетен экземпляр выбранного им издания. Тут же можно на дискетах, оптических цилиндрах или других носителях наладить дешевую пролажу отдельных статей, сообщений, игровых и учебных программ, оперативных носителей политики, культуры, спорта, учебных программ.

Важнейшим направлением развития системы является создание и распределение учебных программ для школ, вузов, групп переподготовки специалистов и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Горностаев Ю.М.* Современные тенденции развития систем обработки текстовых баз данных // Проблемы информационных систем. 1989. № 17. С. 71– 95.
2. *Глумков В.М.* Основы безбумажной информатики. М.: Наука, 1987.
3. *Grenier, Nanon G.* A videotex Success Story // Telephony. 1987. 213, No 4.
4. *Еришов А.П.* Информатизации: от компьютерной грамотности учащихся к информатизации общества// Коммунист. 1988. № 2. С. 82-92.
5. *Кедровский О.В.* Информатизация – все начнем сначала? / Материалы семинара. Теория и практика формирования и использование информационных ресурсов. М.: Об-во Знание. 1989.
6. *Петров В.В.* Доклад на общем собрании АН УССР // Вісник АН УРСР. 1989. № 3. С. 65-67.
7. *Хасэгаева Х.* Мир компьютеров в вопросах и ответах / Пер. с япон. В 2-х кн. М.: Мир, 1988. С. 272.
8. *Huams M.* Information science and the profession of communications // Libr. Ass; oc.res. 1980. № 9. P. 397.

Спосіб передачі та прийому даних по каналу телевізійного мовлення

В. В. Петров, О. Г. Додонов, В. Я. Сандул, О. В. Нестеренко

Патент України № 4 МПК H04N 7/18. Опубліковано 30.04.1993.

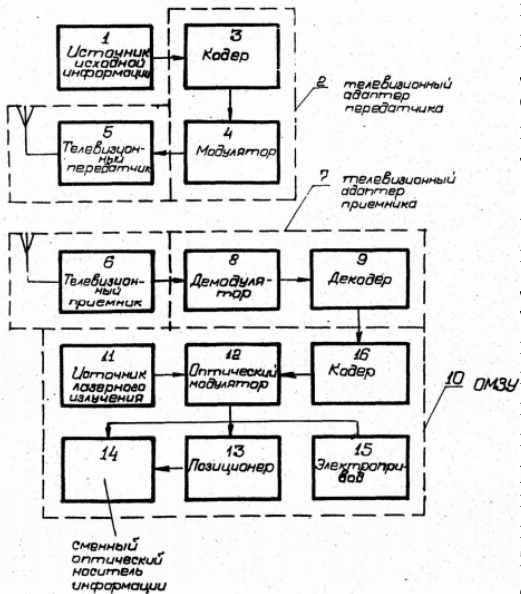
Изобретение относится к информационной технике и может быть использовано при создании индивидуальных банков данных, систем искусственного интеллекта и др. Известен способ воспроизведения аудио-видеоинформации, согласно которому исходные данные пользователям персональных ЭВМ по их запросам из баз данных передаются по телефонным каналам связи [1]. Эти данные пользователи в случае необходимости могут сохранить для последующего употребления, записав их в своих персональных ЭВМ на соответствующие носители информации. Недостатком способа является невысокая скорость передачи, т.е. малая информационная емкость передаваемых пользователям данных по узкополосным телефонным каналам связи и вследствие этого практическая невозможность создания ими индивидуальных баз данных большой информационной емкости, а также их оперативного обновления, что существенно ограничивает функциональные возможности пользователей. Наиболее близким к заявляемому по технической сущности и достигаемому результату является способ приема периодически передаваемых данных телетекста, согласно которому исходные данные кодируют, замешивают его время обратных ходов кадровой развертки в передаваемые при трансляции программ телевизионного вещания видеосигналы, модулируют ими несущую частоту телевизионного передатчика, передают совместно по телевизионному каналу связи, принимают, демодулируют, селективируют переданные данные из принятых телевизионных сигналов, декодируют и декодированные данные записывают в оперативное запоминающее устройство, из которого по запросу пользователя они могут быть вызваны на экран своего телевизионного приемника [2].

Недостатком способа является весьма малая информационная емкость доступного таким образом пользователям массива передаваемых с высокой скоростью данных (обычно поэтому самого примитивного, например, бытового характера), которая к тому же при последующих сеансах связи уничтожается, что полностью исключает возможность создания пользователями своих индивидуальных баз данных. Поэтому пользователь лишен возможности создания совершенной индивидуальной базы данных, а также возможности оперативного обновления в ней больших массивов данных. Все это существенно ограничивает его функциональные возможности.

В основу данного изобретения поставлена задача по увеличению информационной емкости передаваемых и принимаемых данных, а также обеспечению возможности их многократного использования. Поставленная задача решена тем, что, в способе передачи и приема данных по каналу телевизионного вещания на передающей стороне кодируют исходные данные, модулируют несущую частоту кодированной информацией и передают по каналу телевизионного вещания, а на приемной стороне принятый сигнал демодулируют, демодулированный сигнал декодируют и запоминают, согласно изобретению, на передающей стороне исходные данные перед кодированием пакетируют, передают модулированный сигнал по каналу телевизионного вещания в полосе частот яркостного видеосигнала, на приемной стороне принятые декодирован-

ные данные повторно кодируют, модулируют по интенсивности лазерное излучение кодированными данными, модулированным по интенсивности лазерным излучением записывают данные на сменный оптический носитель информации.

Согласно предложенному способу все вновь поступившие в базу данных исходные данные, снабженные соответствующими дескрипторами, регулярно в монопольном режиме (т.е. в периоды времени, когда не транслируются программы телевизионного вещания) транслируются по телевизионным каналам связи. Кроме того транслируются также данные, соответствующие предварительным индивидуальным запросам пользователей. При этом для защиты индивидуальных запросов от несанкционированного доступа передаваемые данные соответствующим образом шифруются. Кроме того передаваемые данные для повышения надежности передачи кодируются и паке-тируются. Пользователи же из этого информационного потока регулярно извлекают в соответствии с указанными ими дескрипторами нужные данные и записывают их



на сменные оптические носители информации в свою индивидуальную базу данных, что позволяет им при весьма скромных затратах владеть всей новейшей информацией по интересующей их тематике.

Сущность изобретения поясняется чертежом, на котором изображена функциональная схема примера реализации данного способа. Изображенная на чертеже схема реализации способа передачи и приема данных по каналу телевизионного вещания содержит на передающем конце тракта источник исходной информации 1 (например, банк данных, который оборудован ЭВМ хранения информации, устройством подготовки данных на магнитных лентах, персональными ЭВМ со средствами считывания данных с бумажных носителей или микрофиш и др. устройствами), телевизионный адаптер передатчика 2 (включающий в себя как минимум кодер 3 и модулятор 4) и телевизионный передатчик 5 (входящий в состав телецентра общегосударственного или местного вещания). На приемном конце тракта к выходу телевизионных приемников 6 (бытовых или специальных – на чертеже для простоты изображен лишь один из них) последовательно подключены свои телевизионные адаптеры приемника 7 (включающие в себя как минимум демодулятор 8 и декодер 9) и оптико-механические запоминающие устройства 10. Каждое оптико-механическое запоминающее устройство 10 включает в себя оптически связанные источник лазерного излучения 11 (например, полупроводниковый, твердотельный или иной лазер с соответствующими дополнительными электронными – например, источником электропитания – и оптическими – например, дифракционной решёткой – узлами, на чертеже для простоты не показанными), оптический модулятор 12 (например, электрооптический, акустооптический), позиционер 13 (например, в виде подвижной оптической головки, содержащей фокусирующий объектив) и сменный оптический носитель информации 14 (например, цилиндрический, дисковый). Со сменным оптическим носителем информации 14 кинематически связан электропривод 15

его вращения. К электрическому входу оптического модулятора 12 через кодер 1 (содержащий узлы, обеспечивающие как помехоустойчивое, так и канальное кодирование) подключен выход телевизионного адаптера приемника (точнее, выход декодера 9). Приведенная схема реализации предложенного способа передачи и приема данных по каналу телевизионного вещания функционирует следующим образом. Подготовку исходных данных в источнике информации 1 осуществляют с использованием ЭВМ хранения информации (например, ЕС 1045), устройства подготовки данных на магнитных лентах, а также персональных ЭВМ, к которым подключены средства считывания данных (например, сканеры) с бумажных или иных носителей информации. Подготовленные исходные данные регулярно в отведенное для этого время через телевизионный адаптер передатчика 2 (в котором осуществляется их пакетирование, помехоустойчивое кодирование и др. необходимая обработка в кодере 3, а также модуляция несущей частоты в модуляторе 4) подают на телевизионный передатчик 5, при помощи которого их излучают в эфир со скоростью 1-2 Мбит/с. Эта информация принимается телевизионным приемником 6, а в телевизионном адаптере приемника при помощи демодулятора 8 демодулируется и при помощи декодера 9 декодируется (в том числе дешифруется) и распаketируется. Восстановленные на выходе телевизионного адаптера приемника 7 исходные данные, соответствующие указанным пользователем дескрипторам, поступают в оптико-механическое запоминающее устройство 10, в котором записываются на сменные оптические носители информации 14 (предпочтительно типа WORM – write once read many). Из последних пользователь составляет и постоянно обновляет свою индивидуальную базу данных. Запись данных на сменные оптические носители информации 14 при этом осуществляется следующим образом. Поскольку запись данных на оптическом носителе информации 14 происходит, вообще говоря, с неприемлемым уровнем ошибок, в кодере 1 исходные данные кодируются помехоустойчивым кодом (например, кодом Рида-Соломона), обеспечивающим необходимое (на 6-8 порядков) повышение надежности записи. Кроме того, так как скорость вращения сменного оптического носителя информации 14, обеспечиваемая при помощи электропривода 15, является не вполне постоянной, в кодере 16 исходная информация кодируется также канальным кодом (например, MFM-кодом), позволяющим при ее считывании выделять тактовые импульсы, необходимые для декодирования помехоустойчивого кода. Выходными сигналами кодера 16 в оптическом модуляторе 12 обеспечивается модуляция по интенсивности лазерного излучения, излучаемого его источником 11. Это излучение позиционером 13 выводится в соответствии с заданным адресом на соответствующую информационную дорожку сменного оптического носителя информации 14, на которую и записывается. Таким образом, предложенный способ позволяет при весьма скромных аппаратурных и финансовых затратах создавать индивидуальные базы данных в соответствии со своими интересами практически всем пользователям персональных ЭВМ. В сущности предложенный способ позволяет реализовать принципиально новую информационную технологию, согласно которой создаваемые индивидуальные базы данных дадут возможность пользователю накапливать, оперативное обновлять и хранить исчерпывающе полный объем необходимых ему данных (в том числе полученных по экстренным индивидуальным запросам из самых полных банков данных) непосредственно в своей персональной ЭВМ, что чрезвычайно расширяет его функциональные и деловые возможности.

Использование современных технологий для обеспечения научно-технической информацией научных работников и специалистов Украины

В. В. Петров, А. А. Крючин, С. М. Шанойло,
Л. И. Крючина, И. В. Петров

Библиотеки национальных академий наук: проблемы функционирования, тенденции развития. 2003. Вып. 2. С. 83–90.

ВВЕДЕНИЕ

Проведение научных исследований на уровне, соответствующем мировому, разработка конкурентоспособной продукции, подготовка специалистов, владеющих современными методами исследований, возможны только при обеспечении научных работников, преподавателей и разработчиков новой техники оперативной, полной научно-технической информацией. Решить эту задачу в условиях ограниченных финансовых ресурсов возможно только с использованием передовых информационных технологий, созданием современных центров обработки, хранения и распространения научно-технической информации. Институт проблем регистрации информации (ИПРИ) НАН Украины поставил перед собой задачу не только разработать на современном уровне системы для распространения больших объемов информации, в первую очередь нацеленных на научно-техническую, широкому кругу пользователей, но и создать на базе института центр, который, основываясь на прогрессивных информационных технологиях, реализовывал бы задачи информационного обеспечения научных исследований в Украине.

Эту задачу ИПРИ НАН Украины определил как одну из приоритетных в своей деятельности. Разработки института в этом направлении были поддержаны Кабинетом Министров Украины, Президиумом НАН Украины. В частности, были одобрены инициативы и конкретные работы института по созданию Украинского реферативного журнала «Джерело» (постановление Президиума НАН Украины № 77 от 16.03.1994), по обеспечению мировой реферативной научной информацией институтов Национальной академии наук Украины (постановления Президиума НАН Украины № 207 от 08.09.1994 и № 326 от 20.10.1999), по созданию технологического комплекса изготовления штампов для тиражирования компакт-дисков (постановление Президиума НАН Украины № 328 от 26.09.1997), по использованию электронной компьютерной газеты «Все-Всем» для информационного обеспечения институтов НАН Украины (распоряжение Кабинета Министров Украины № 157-р от 04.03.1996, постановления Президиума НАН Украины №63 от 29.03.1991 и № 317 от 15.11.1993), по перезаписи этнографических коллекций, которые хранятся на валиках Эдисона (постановление Президиума НАН Украины № 122 от 03.04.1996).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ МАССОВОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Обеспечить большое число пользователей научно-технической информацией при расходовании минимального объема финансовых ресурсов возможно при использовании двух современных технологий: распространения научно-технической информа-

ции на компакт-дисках и использования скоростных каналов связи. При этом должна быть решена проблема централизованного приобретения баз данных мировой научной информации с правом распространения их научно-исследовательским и учебным заведениям.

Деятельность ИПРИ НАН Украины по информационному обеспечению научных исследований и научно-технических разработок в Украине на протяжении последних десяти лет была направлена на создание, внедрение и реализацию технологий распространения компьютерной информации по скоростным беспроводным каналам связи, а также технологии подготовки к изданию и производству компакт-дисков (штампов для тиражирования).

Минимальная стоимость распространения научно-технической информации большому числу пользователей может быть обеспечена при издании и распространении компакт-дисков. Стоимость издания в Украине одного компакт-диска при тираже более 1000 копий не превышает 1,8-2,5 грн. За 20 лет промышленного производства компакт-дисков в мире (первые компакт-диски по современной технологии массового производства изготовлены в октябре 1982 года [1]) они стали средством массового распространения информации в цифровой форме, общий объем производства компакт-дисков приближается к 20 млрд шт. в год [2]. В настоящее время объемы информации, распространяемой на компакт-дисках, превышают объемы информации, получаемой пользователями по компьютерным сетям и на других типах носителей. По прогнозам специалистов фирмы Media Manufacturing Industry, даже через десять лет (в 2013 г.) объем информации, распространяемой на компакт-дисках, будет превышать 40 % общего объема распространяемой информации [3].

В ИПРИ НАН Украины с 1995 по 1999 гг. на базе использования отечественных технологий разрабатывался и был создан комплекс подготовки к изданию компакт-дисков и изготовления штампов для их тиражирования. Сотрудниками института подготовлены к изданию 50 компакт-дисков с базами данных Current Contents за 1994–1999 гг., периодически готовятся и издаются компакт-диски с базой данных рефератов научных публикаций ученых Украины. Созданный технологический комплекс позволяет готовить к изданию не только компакт-диски с базами данных, но и учебные мультимедийные курсы, тематические компакт-диски, посвященные конкретным научно-техническим проблемам, материалы научных конференций и симпозиумов.

Специалистами ИПРИ НАН Украины первыми в Украине и в странах СНГ была разработана и эксплуатировалась с 1991 по 2000 гг. скоростная беспроводная система передачи цифровой информации, получившая название «Электронная компьютерная газета «Все-Всем», признанная Госпатентом Украины лучшим изобретением Украины 1993 г. В системе использовалась передача информации по телевизионному каналу со скоростью 1,2 Мбит/с. Запросы от абонентов компьютерной газеты передавались в Национальный банк компьютерной информации по электронной почте, факсу, телефонным каналам, Интернету [4, 5]. Технологические решения, заложенные в организацию скоростной передачи данных большому числу пользователей, нашли применение в более поздних разработках в США, странах Юго-Восточной Азии.

По электронной компьютерной газете «Все-Всем» на протяжении почти десяти лет подписчикам ежедневно передавалось 500-700 Мбит информации, в том числе научно-техническая информация (базы данных ВИНТИ (Россия), база данных Current Contents Института научной информации США (ISI), рефераты научных публикаций в украинских журналах). Подписчиками научно-технической информации были базовые институты Национальной академии наук, университеты Украины (в различные

периоды – более 500 организаций). За период функционирования подписчикам было передано более 50 Гбайт научнотехнической информации, поставленной по контракту ISI, более 20 Гбайт научно-технической информации ВИНТИ.

Применение нового технического обеспечения системы передачи информации по телевизионным каналам, развитие коммуникационного узла для приема и обработки одновременно сотен запросов по компьютерной сети, централизованная закупка в мировых центрах баз данных научно-технической информации позволит возобновить на новом технологическом уровне распространение научно-технической информации. Причем одним из основных режимов работы может стать передача больших объемов информации по конкретным заказам. В ИПРИ НАН Украины постоянно совершенствуется и развивается телекоммуникационный узел за счет использования нового программного обеспечения для функционирования баз данных, подключения скоростных оптоволоконных каналов передачи информации.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ФОРМИРОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

В Украине издается более трех тысяч научных журналов и периодических сборников научных трудов. К большому сожалению, только незначительная их часть отображается в мировых базах данных научнотехнических публикаций, таких как Current Contents, Cation Index и др. Для ознакомления ученых и специалистов Украины с работами коллег, распространения информации о результатах научных исследований, проводимых в Украине, ИПРИ НАН Украины с 1995 г. издает Украинский реферативный журнал (УРЖ) «Джерело» (с 1998 г. совместно с Национальной библиотекой Украины имени В. И. Вернадского). С 1999 г. УРЖ «Джерело» выходит 6 раз в год в трех сериях: серия 1 – Естественные науки и медицина; серия 2 – Техника. Промышленность. Сельское хозяйство; серия 3 – Социальные и гуманитарные науки. Искусство.

Общее количество рефератов статей, представленных в выпусках журнала за период с 1995 по 2002 гг., составляет более 60000 [6, 7, 8]. Наиболее полно представлены разделы: «Физико-математические науки» – более 16 тыс. рефератов, «Медицина» – более 15 тыс. рефератов, «Экономические науки» – более 10 тыс. рефератов.

В условиях издания научных журналов в Украине малыми тиражами издание УРЖ «Джерело» способствует ознакомлению разработчиков с результатами труда коллег, установлению научных контактов, создает условия для организации внедрения разработок. Оперативному ознакомлению с рефератами научных публикаций способствует формирование базы данных «Україніка наукова» (<http://www.nbuv.gov.ua>). Опыт издания электронной версии реферативного журнала в 1998-1999 гг. показал, что больший интерес представляло бы издание базы данных на компакт-диске с возможностями поиска информации по ключевым словам (группам слов), фамилиям авторов, тематическим рубрикам. Такой подход был реализован при издании итоговых компакт-дисков за 2001 и 2002 г. Созданная на основе рефератов, представленных в УРЖ «Джерело» база данных позволяет проводить анализ исследовательской активности по областям знаний, регионам Украины, ведомствам. Реферирование украинских научных изданий способствует и международному обмену информацией.

Для полного представления в реферативном журнале «Джерело» рефератов публикаций ученых и специалистов Украины, а также сокращения сроков обработки информации редакция журнала видит следующие пути:

– тесное сотрудничество с редакциями журналов для оперативного получения необходимой информации;

- переход на получение информации в электронном виде от редакций журналов;
- повышение заинтересованности редакций научных журналов и авторов статей в представлении информации в реферативном журнале.

Повышению интереса научной общественности к украинскому реферативному журналу способствует публикация в нем аннотаций защищенных в Украине кандидатских и докторских диссертаций, рефератов изданных монографий.

Дальнейшим развитием исследований и разработок в этом направлении является создание полнотекстовой базы периодических научных изданий Украины. Основой для выполнения этого проекта является созданная и постоянно пополняющаяся база рефератов научных периодических изданий Украины, имеющийся опыт разработки территориально-распределенных информационных систем, наличие в ИПРИ НАН Украины телекоммуникационного центра, способного одновременно обслуживать сотни запросов абонентов, установленные производственные связи с редакциями сотен журналов Украины. Работы по реализации этого проекта уже начаты и ведутся в следующих направлениях:

- модернизация и развитие телекоммуникационного узла института в направлении обеспечения скоростного доступа к информационным ресурсам по оптоволоконным каналам связи;
- анализ правовых вопросов и условий обеспечения авторских прав авторов статей и редакций научных журналов;
- разработка необходимого программного обеспечения, позволяющего осуществлять быстрый поиск необходимых статей.

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЙ ДОЛГОВРЕМЕННОГО ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ, ПРЕДСТАВЛЕННОЙ В ЦИФРОВОЙ ФОРМЕ

В мире уже накоплены и постоянно пополняются информационные ресурсы, представленные в цифровом виде. Одним из важнейших направлений в области современных информационных технологий является создание технологий, обеспечивающих сохранение раритетных изданий путем перевода их в цифровую форму и перезаписи на цифровые носители, обеспечивающие их долговременное и надежное хранение. В цифровую форму переведены десятки миллионов часов аудиозаписей, видеоматериалов, десятки тысяч книг. Таким образом, объемы информации, представленной в цифровой форме, постоянно возрастают как за счет создания новых информационных ресурсов, так и за счет перевода в цифровую форму хранения архивных материалов. Срок хранения документов в цифровой форме должен составлять как минимум 200-300 лет (время хранения документов на бумаге).

В ИПРИ НАН Украины выполняются исследования и проводятся разработки в двух взаимосвязанных направлениях: создание технологий перевода в цифровую форму информации с раритетных носителей и технологий долговременного хранения информации, записанной в цифровой форме. Сотрудниками института разработана технология цифрового интерферометрического воспроизведения звука с фонографических цилиндров Эдисона, обеспечивающая высококачественное неразрушающее считывание. Высокое качество воспроизведенных фонограмм достигается за счет использования принципиально новой технологии: предварительной записи в цифровом виде формы поверхности при замедленной скорости вращения цилиндра, обработке сигналов профиля поверхности и последующем дифференцировании сигналов для получения аудиоинформации [9, 10]. На разработанном технологическом оборудовании осуществлено считывание, перевод в цифровую форму и очистка звука более чем тысячи цилиндров Эдисона. Переписаны на компакт-диски коллекция Берегов-

ского из Национальной библиотеки Украины имени В. И. Вернадского, фонографические цилиндры из коллекций Института искусствоведения, фольклористики и этнологии им. М. Т. Рылского НАН Украины, Государственного центрального музея музыкальной культуры им. М. И. Глинки (Россия), Национальной библиотеки в Варшаве, Университетской библиотеки г. Ааргус (Дания).

Одним из возможных путей создания носителей информации для долговременного хранения является использование в оптических носителях информации подложек, выполненных из высокостабильных, коррозионноустойчивых материалов, таких как тугоплавкие металлы [11, 12].

ВЫВОДЫ

Одним из приоритетных направлений в деятельности ИПРИ НАН Украины за последние десять лет является формирование национальных информационных ресурсов, разработка, создание и использование для распространения научно-технической информации современных информационных технологий, таких как беспроводные скоростные каналы связи, издание компакт-дисков.

Важнейшими задачами на ближайший период в деятельности института по информационному обеспечению научных разработок в Украине являются: создание полнотекстовой базы периодических научных изданий Украины и организация скоростного доступа к ней с использованием возможностей телекоммуникационного узла института.

Научные исследования и технологические разработки института направлены на создание технологий перевода в цифровую форму раритетных документов, включая аудиозаписи, и долговременного хранения документов в цифровой форме.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Carl A. Snape*. Pergect Sound forever – a celebration of 20 years of CD // One to One. 2002. № 12. P. 16-22.
2. *Петров В. В., Крючин А. А., Шанойло С. М., Крючина Л. І.* Компакт-диски – компьютеры книги інформаційної епохи // Науково-технічна інформація. 2002. № 1. С. 50-53.
3. *Tim Frost*. One to One's new MMI Poll: What is the future for CD? //One to One. 2003. № 1. P. 31-33.
4. *Петров В. В., Нестеренко А. В.* Автоматизированные системы массового распространения информации. К.: Наукова думка, 1993. 132 с.
5. Патент № 4. Україна. Спосіб передачі та прийому даних по каналу телевізійного мовлення / *В. В. Петров, В. Я. Сандул, О. В. Нестеренко, О. Г. Додонов* (Україна). Опубл.1993, Бюл. № 1.
6. *Петров В. В., Онищенко О. С., Крючин А. А., Бондарева О. І., Крючина Л. І.* Український реферативний журнал «Джерело» – кроки розвитку // Науково-технічна інформація. 2001. № 1-2. С. 24-25.
7. *Сорока М. Б.* Реферативна база даних «Україніка наукова» в інформаційному забезпеченні науки та техніки // Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2000. Т. 2. № 4. С. 91-95.
8. *Крючин А. А.* Досвід видання Українського реферативного журналу «Джерело». Проблеми і перспективи // Реєстрація, зберігання і обробка даних. 1999. Т. 1. № 6. С. 125-128.
9. *V.V. Petrov, O.S. Onyshchenko, A.A. Kryuchin, S.M. Shanoylo, I.P. Ryabokon*. Optomechanical Method of Edison Cylinders Sound Reproduction // Proc. 102nd AES Convention. Munich: AES. 997. Preprint 4491 (M4).
10. *Петров В.В., Шанойло С.М., Крючин А.А., Косяк І. В.* О проблеме сохранения звукового культурного наследия // Матер. конф. «Информация для всех: культура и технология информационного общества» (EVA 2002 Москва). М., 2002. ЦентрПИК Минкульт. России. С. 671-676.
11. *Петров В. В., Крючин А. А., Шанойло С. М., Косско И. А., Кравец В. Г.* Пути решения проблемы долговременного хранения информации, записанной в цифровом виде // Збірник праць 1-ї укр. конф. «Електронні зображення та візуальні мистецтва» (EVA 2002 Київ). К.: Міжнар. наук.- навч. Центр ЮНЕСКО інформац. технологій та систем. 2002. С. 46-51.
12. *A.A. Kryuchin, V.V. Petrov, S.M. Shanoylo, I.A. Kossko*. A new technology of long-term information storage // Konferenzband «Electronic Imaging and Visual Arts» (EVA 2002 Berlin). Berlin: Gfal, 2002. P. 264-266.

Доклад, представленный на Общее собрание НАН Украины 13 мая 2010 года

В. В. Петров

Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2010. Т. 12, № 2. С. 8–11

Уважаемый Борис Евгеньевич, уважаемые участники Общего собрания!

Как видно из доклада Бориса Евгеньевича Патона и предыдущих выступлений, Национальная академия наук Украины продолжает эффективно работать в этой сложной кризисной ситуации, поэтому считаю целесообразным выразить одобрение деятельности Президиума НАН Украины.

На юбилейном собрании Академии наук СССР, посвященном 250-летию создания Российской академии наук, прозвучала фраза ставшая крылатой. «Наука достигла такого рубежа, что стала непосредственной производительной силой». Эта аксиома стала особенно очевидной сегодня, когда высокоразвитые государства вкладывают десятки и сотни миллиардов долларов в развитие высоких технологий.

Я бы хотел на примере нашего института показать, как в Украине год за годом законодательная и нормативная база шаг за шагом лишает науку производительной силы, то есть, возможности создания новых конкурентоспособных технологий.

Институт проблем регистрации информации создан в 1987 году и был нацелен на создание и внедрение новых информационных технологий в тесном сотрудничестве с промышленностью.

Сегодня мы вправе гордиться такими достижениями, как создание первых в мире накопителей информации на оптических дисках и оптических цилиндрах, создание первого отечественного компьютерного томографа всего тела.

Очень важной явилась разработка Государственной информационно-аналитической системы по вопросам чрезвычайных ситуаций совместно с МЧС Украины. Главным итогом создания системы является то, что удалось разработать порядок взаимодействия различных структур на случай возникновения чрезвычайных ситуаций, систематизировать информацию о потенциально опасных объектах природного и техногенного характера и разработать планы мероприятий по предотвращению и устранению последствий возможных чрезвычайных ситуаций.

Разработанная нами оптическая цифровая система считывания восковых валиков Эдисона, по оценке Библиотеки Конгресса США, стала лучшей в мире. С ее помощью переписаны и сохранены уникальные фонографические коллекции Украины, России, Польши и Дании. Благодаря этому фонографическая коллекция Национальной библиотеки Вернадского занесена в реестр Юнеско «Память Мира» наряду с табличками шумеров и египетскими папирусами. После Софии Киевской и архитектурного комплекса Центра Львова эта коллекция стала третьим полностью украинским объектом, получившим статус Мирового культурного наследия.

Ну и, конечно, особой нашей гордостью является создание совместно с Библиотекой Вернадского Украинского реферативного журнала «ДЖЕРЕЛО», воистину ставшего зеркалом украинской науки.

А далее я хотел бы на нескольких примерах показать, как год за годом ухудшались возможности создания и внедрения новых технологий.

В первые годы независимости Украины, институт активно разворачивает создание

электронной компьютерной газеты «ВСЕ-ВСЕМ», патент на создание которой был признан лучшим патентом Украины 1993 года. В течение пяти лет удается «под идею» привлечь около 30 миллионов долларов кредитных ресурсов, загрузить три крупнейших украинских завода производством оборудования. При активной поддержке Николая Яновича Азарова Главная налоговая администрация устанавливает 1000 рабочих мест во всех районных налоговых администрациях Украины. Система закупается и внедряется в Татарстане, Казахстане и Хабаровском крае. Один из флагманов мирового бизнеса американская фирма ДООУ-ДЖОНС КОРПОРЕЙШЕН проявляет большой интерес к разворачиванию системы в США, прилетает в Киев Вице-президент корпорации ЧАРЛЗ БРЕДИ, обсуждается контракт в США, и в это время, после 10 лет успешной работы, СИСТЕМА исключается из сетки вещания 1-го канала, и все письма и уговоры возобновить трансляцию не срабатывают.

Сегодня реализация таких крупных инновационных проектов кажется настоящей фантастикой.

В 1997 году, завоевав первое место в конкурсе инновационных проектов МИНО-СВИТЫ, мы заключили с Инновационной компанией договор на создание технологии и оборудования для производства матриц с целью организации производства компакт-дисков на украинских заводах. Контракт примерно на 1 миллион долларов под гарантию частного бизнеса – Акционерной компании РОСТОК, – это достаточно редкий случай. Институт создает оригинальную технологию и оборудование, начинает поставки матриц четырем украинским и двум российским заводам, за три года было изготовлено более 4000 матриц. Но уже с первого дня почти в течение трех лет идут непрерывные проверки КРУ и СБУ, и только лишь благодаря просьбе руководства Академии наук лично председатель СБУ останавливает этот террор.

Но самое тяжелое оказалось впереди. По инициативе из-за рубежа начинается борьба с так называемым «пиратством», а фактически попытка уничтожения украинского компьютерного книгопечатания. Несмотря на активную поддержку нескольких фракций в Верховной Раде, законодательство все более и более ужесточалось, и мы вынуждены были сдать лицензию на производство матриц. Но и это оказалось не самым тяжелым испытанием. Принятие нового бюджетного кодекса и целого ряда новых законов привело к тому, что мы не могли при наличии денег на счету возратить оставшуюся часть кредита. Мы отчетливо понимали, что если мы не рассчитаемся с остатками кредита, то могут попытаться отобрать инженерно-лабораторный корпус. Чтобы вернуть инновационный кредит нам пришлось выдержать, вдумайтесь, 96 судебных процессов, в том числе 6 процессов в Верховном Суде. Рекорды книги рекордов Гиннеса блекнут перед этой эпопеей. И только год назад благодаря решению КАБМИНА удалось возратить остатки кредита. Воистину врагу не посоветуешь такого инновационного инвестирования.

По инициативе институтов Отделения информатики принят целый ряд законов и программ информатизации Украины. Но на практике вот уже второе десятилетие закупка компьютерного оборудования и программных продуктов, осуществляемая правительством для бюджетных структур на миллиарды гривен в год, в основном «кормит» иностранных производителей, что привело к разрушению отечественной приборостроительной промышленности и технологии промышленного производства программных продуктов.

Вот потому и приходится нам искать заказы за рубежом. На сегодняшний день объем действующих контрактов составляет более 4 миллионов долларов. В эти дни на территории иностранного заказчика начались приемо-сдаточные испытания высокопроизводительной информационной системы, обеспечивающей идентификацию и

контроль перемещения многих сотен подвижных объектов на суше, на море и в воздухе с помощью различных датчиков наблюдения за пространством. Разработка такой системы становится особенно актуальной в связи с предстоящим резким увеличением количества объектов малой авиации. Сегодня мы имеем официальные обращения ряда организаций о необходимости создания похожих по назначению систем для Украины.

И вот, казалось бы, есть заказы, есть деньги на валютном счету, заказчик удовлетворен результатами работы, работайте на здоровье. Однако, вместо создания зеленой улицы для поступления валюты в страну, создана целая система рогаток и препятствий. Необходимость перевода денег после конвертации валюты на специальный бюджетный счет приводит к распространению и на эти финансы всех существующих бюджетных ограничений. Такие серьезные заказы, как правило, конфиденциальны, однако нам так и не разрешили без открытого тендера привлекать соисполнителей. И уже полным абсурдом является то, что, имея деньги на счету, казначейство вводит всякие ограничения на закупку оборудования и материалов, необходимых для выполнения работ.

Сегодня у нас на выходе ряд оригинальных работ, и даже трудно представить себе объем препятствий, который придется преодолеть для их внедрения. Более чем за тридцать лет после создания нами первых оптических накопителей, отчаянная конкуренция между магнитными и оптическими дисками привела к созданию уникальных по емкости и производительности систем регистрации информации. Но оказалось, что проблема долговременного хранения информации так до сих пор и не решена. Ведь, например, уже генетическую информацию человека, а ее объем составляет около 4 гигабайт, не запишешь на бумажный носитель. Уже поставленная сегодня задача расшифровать, записать и сохранить генетическую информацию одного миллиона биологических объектов потребует надежного хранения миллионов гигабайт информации на многие столетия. Это необходимо, чтобы в случае какой-либо глобальной генетической или экологической катастрофы сохранить информацию о разнообразии биологических видов планеты Земля.

Таких задач много, поэтому мы в тесном сотрудничестве с Институтом монокристаллов несколько лет подступались к решению этой важнейшей проблемы, и сегодня можем сказать, что уже разработаны основные технологические процессы производства сапфировых оптических дисков со сроком хранения данных несколько тысячелетий. Сапфир является химически стойким и прочным оптическим материалом и не меняет свои физические свойства до 1600 градусов. Известна легенда, что 10 заповедей царя Соломона были выгравированы на его сапфировом перстне. Создание специальной государственной программы для реализации этой, кстати говоря, патентно-чистой отечественной технологии, могло бы создать конкурентоспособное производство действительно высокотехнологической продукции.

Как оказалось, разработанные нами технологии изготовления высококачественных микропризмных структур с успехом можно использовать не только для изготовления микропризмных катофотов, которые, например, были установлены на мосту имени Е. О. Патона, но и для лечения косоглазия. Цена вопроса очень велика. По некоторым оценкам сегодня более 200 тысяч детей в Украине нуждается в лечении косоглазия. Естествоиспытатель Жорж Бюффон более 250 лет назад впервые показал, что косоглазие это болезнь, но совсем не кара божья, из-за которой многих косоглазых женщин, считая их ведьмами, сжигали на кострах. Он предложил закрывать здоровый глаз (метод окклюзии) и тренировать больной. И по сегодняшний день этот метод остается основным во всем мире.

Нами, в тесном сотрудничестве с Киевским центром микрохирургии глаза, разработан набор френелевских микропризм для ранней диагностики косоглазия и оригинальные очки для лечения косоглазия, все это защищено патентами. Диагностические наборы прошли клинические испытания, получили сертификат Минздрава на применение и уже используются в ведущих клиниках Украины, России и Турции. Нас совместно с ведущими отечественными офтальмологами Сергиенко и Рыковым пригласили сделать доклад об этих исследованиях на Всемирном офтальмологическом конгрессе в Стамбуле.

На нашем опытном производстве уже в этом году мы можем изготовить 1000 комплектов необходимого оборудования и обеспечить ими офтальмологов Украины для осуществления диагностики косоглазия детей. Общеизвестно, что если до 5 лет не вылечить косоглазие, то есть не сформировать стереоскопическое восприятие окружающего пространства у ребенка, то мозг отключает большой глаз и человек фактически становится одноглазым. Массовое применение этой технологии позволит спасти более 30 тысяч детских глаз в год, эффективность, рассчитанная по правилам страховой медицины, превышает 5 миллиардов гривен в год, то есть более 100 тысяч процентов годовых от необходимого финансирования. Но решения по финансированию этого проекта до сих пор нет.

При таком отношении к внедрению инноваций очень трудно будет в течение 10 лет войти в двадцатку высокоразвитых государств мира.

Один из мудрецов сказал, что «одна из самых тяжелых потерь – потеря времени». Видимо в нашей ситуации целесообразно честно признать себя двоечниками в законодательстве и позаимствовать, то есть списать выверенное и гармонизированное законодательство в области науки, техники и инновационной деятельности у одного из высокоразвитых государств. Ведь именно так поступили в Китае 60 лет назад, введя у себя в стране Гражданский кодекс Германии, и еще приняли закон, запрещающий его менять 40 лет. Мне бы хотелось пожелать руководству нашей страны набраться мужества и пойти этим путем, так как эволюционный путь рихтовки законодательства приведет только к потере времени.

Основные направления создания автоматизированных систем мониторинга воздушного, наземного и надводного пространства в реальном времени

В. В. Петров, В. И. Кожешкурт, А. Н. Буточнов,
Е. М. Науменко, В. Б. Осташевский

Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2010. Т. 12, № 2. С. 151–164.

ВВЕДЕНИЕ

Задача создания распределенных автоматизированных систем мониторинга воздушного, наземного и надводного пространства для формирования комплексной модели обстановки в реальном времени является актуальной для систем контроля воздушного движения, передвижения транспортных средств, речных и морских судов. Необходимость автоматизации большого числа функций сбора и обобщения информации, а также критичность времени решения задач обуславливают существенное возрастание требований к выбору рационального варианта реализации систем, базовой программно-аппаратной платформы, использованию различных программных систем (систем управления базами данных, геоинформационных систем, систем документооборота и др.).

Существующие методы разработки автоматизированных систем обработки информации не в полной мере учитывают особенности систем мониторинга. Это обстоятельство определило необходимость совершенствования методологических основ разработки систем такого класса, и в частности:

- методов структурного и функционального проектирования автоматизированной системы мониторинга множества динамических объектов (АСМДО) наблюдения в реальном времени как многоуровневой иерархической распределенной системы;
- методов проектирования архитектуры программных комплексов центров обработки информации различных уровней иерархии системы;
- методов обоснования требований к коммуникационным и вычислительным средствам и надежности функционирования системы;
- методов обработки и объединения разнородной информации о большом числе объектов наблюдения от множества различных источников информации в реальном времени;
- методов организации сетевого взаимодействия пространственно-распределенных элементов системы мониторинга;
- методов организации хранения данных обстановки (документирования) и работы с данными;
- методов оценки надежности программно-технических комплексов многофункциональных и высоконадежных систем;
- методов оценки эффективности функционирования системы мониторинга и ее отдельных элементов в реальном времени.

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА МНОЖЕСТВА ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Автоматизированная система мониторинга множества динамических объектов представляет собой распределенную систему, обеспечивающую сбор, обработку и

отображение информации о подвижных и неподвижных объектах наблюдения в реальном времени. При проектировании системы необходимо учитывать следующие основные особенности, характерные для таких систем [1]:

- сложность структуры – система включает в свой состав множество подсистем, имеющих функциональные связи друг с другом и с внешним окружением;
- гетерогенность – система включает в свой состав множество разных вычислительных, телекоммуникационных, программных и других ресурсов;
- распределенность – система состоит из территориально-распределенных подсистем, которые дислоцируются на расстоянии нескольких сотен километров одна от другой;
- динамизм (изменяемость) – система находится в стадии постоянного развития и совершенствования, подвергаясь при этом воздействиям со стороны внешних и внутренних факторов и постоянной модернизации;
- многофункциональность – система предназначена для решения большого числа задач;
- защищенность – в системе циркулирует как общедоступная информация, так и информация ограниченного доступа, что накладывает ряд дополнительных ограничений.

Наиболее важными задачами проектирования являются задачи определения структуры и функций системы, обоснования архитектуры и параметров программно-технического комплекса. Коротко рассмотрим основные положения разработанных методик проектирования. Более детально методики проектирования структуры системы мониторинга и архитектуры программного комплекса центров обработки информации изложены в [2].

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Процесс проектирования АСМДО должен быть организован таким образом [3], чтобы система:

- соответствовала заданным требованиям и ограничениям и обеспечивала заданные характеристики на всех этапах жизненного цикла;
- соответствовала назначению, целям и задачам, обеспечивала необходимую функциональную поддержку всех процессов, в том числе в условиях возможных структурных модификаций;
- обеспечивала использование комплекса ранее реализованных проектных решений;
- поддерживала на протяжении жизненного цикла необходимые процессы развития, адаптации и модернизации, обеспечивая одновременно эффективные механизмы управления процессами и информационно-вычислительными ресурсами;
- обеспечивала заданный уровень информационной безопасности.

Существующие методы формирования системотехнических решений построения систем позволяют формировать варианты построения на уровне функциональных элементов и связей между ними. При этом сравнительная оценка вариантов позволяет довольно грубо оценивать основные показатели системы. Для более достоверной оценки предложен новый подход формирования и оценки вариантов системотехнической реализации системы мониторинга.

Суть данного подхода заключается в следующем. Исходя из целевых задач системы мониторинга, выделяется множество необходимых функций. Затем, на основе требований к системе, определяются структурные элементы, обеспечивающие реализацию этих функций. И, наконец, формируется рациональный план работ по созданию

системы. Формально данная задача может быть представлена следующим образом.

Пусть $S = \{s_i | i = \overline{1, n_1}\}$ – множество задач системы мониторинга; $T = \{t_i | i = \overline{1, n_2}\}$ – множество требований к системе; $C = \{c_i | i = \overline{1, n_3}\}$ – множество средств реализации функций системы; $G = \{G_i = (g_1^i, \dots, g_{m_i}^i) | i = \overline{1, n_4}\}$ – множество компонент видов обеспечения; $P = \{p_i | i = \overline{1, n_5}\}$ – критерии качества плана. Пусть некоторые элементы этих множеств нечеткие.

Требуется построить нечеткие отображения $M = M_1 \circ M_2 \circ M_3$ типа «нечеткость \rightarrow четкость» такие, что:

$$\begin{aligned} M_1 &: S \rightarrow F, \\ M_2 &: (F \times T \times C) \rightarrow C_F, \\ M_3 &: (C_F \times T \times G) \rightarrow PL_{\text{рац}}(r_1, r_2, \dots, r_n), \end{aligned}$$

где \circ и \times – знаки композиции и декартового произведения соответственно; F – функции системы; C_F – средства реализации функций; $PL_{\text{рац}}(r_1, r_2, \dots, r_n)$ – рациональный план создания системы; r_j – j -я работа.

Рациональный план определим как

$$PL_{\text{рац}}(r_1, r_2, \dots, r_n) \underline{\Delta}_{i \in I} \text{opt } Q(PL_i),$$

где $\underline{\Delta}$ – знак «равняется по определению»; $Q(PL_i) = (q_1(PL_i(p_1)), \dots, q_{n_5}(PL_i(p_{n_5})))$ – вектор индивидуальных показателей качества плана PL_i .

Отображение M представим в виде совокупности операторов Q_1, Q_2, Q_3 , где Q_1 – оператор моделирования отображения M ; Q_2 – оператор формирования рационального варианта реализации системы; Q_3 – оператор обеспечения достоверности оценок.

Операторы $Q_1 \div Q_3$ представим следующими кортежами:

$$Q_1 = \langle \Phi, L, H \rangle,$$

где Φ – функционально-информационный процесс (ФИП) формирования варианта системы; L – языковые средства описания элементов процесса; H – формальное представление процесса;

$$Q_2 = \langle ID, SP, PL_{\text{дод}}, P(q_1, q_2, \dots, q_{n_5}) \rangle,$$

где ID – описание входных данных; SP – процедура проектирования; $PL_{\text{рац}}$ – рациональный план создания системы; $P(q_1, q_2, \dots, q_{n_5})$ – вектор показателей плана;

$$Q_3 = \langle C, M, D(M), \xi \rangle,$$

где C – информационная среда проектирования; M – механизм оценки; $D(M)$ – средства повышения достоверности оценок; ξ – оцениваемые параметры.

Процесс формирования рационального варианта реализации системы можно представить схемой (рис. 1) [3].

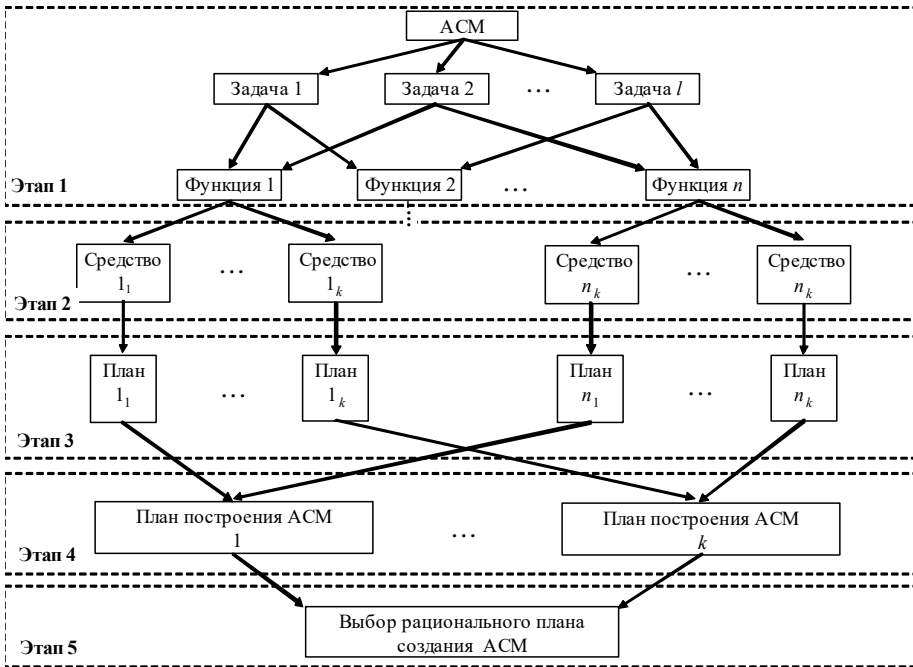


Рис. 1. Схема формирования рационального варианта реализации автоматизированной системы мониторинга (АСМ)

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА АСМДО

Процесс формирования рационального варианта можно представить следующей теоретико-множественной моделью [3]:

$$M = M_1 \circ M_2 \circ M_3 \circ M_4 \circ M_5,$$

где \circ – знак композиции; M_1 – модель определения функций АСМДО; M_2 – модель выбора средств реализации функций; M_3 – модель формирования планов реализации функций; M_4 – модель формирования частных планов построения АСМДО; M_5 – модель оценки и выбора рационального плана создания АСМДО. Каждая модель M_i отображает соответствующий этап схемы (рис. 1).

Модель определения функций. Модель определения функций АСМДО можно представить следующим коротжем:

$$M_1 = \langle S_{AC}, O, F_{AC} \rangle,$$

где S_{AC} – задачи АСМДО; O – механизм определения функций; F_{AC} – функции АСМДО.

Модель выбора средств реализации функций. Модель представляется следующим коротжем:

$$M_2 = \langle F_{AC}, T_{AC}, ZOT, P_1, C_F \rangle,$$

где T_{AC} – требования к АСМДО; ZOT – технические средства реализации функций; P_1 – экспертные оценки преимуществ различных технических средств реализации функций на множестве $\{F_{AC} \times T_{AC} \times ZOT\}$; C_F – средства реализации функций АСМДО.

Модель формирования планов реализации функций. Модель представляется следующим кортежем:

$$M_3 = \langle G(g_1, \dots, g_n), C_F, T_{AC}, P_2, PL_F \rangle,$$

где $G(g_1, \dots, g_n)$ – компоненты видов обеспечения; P_2 – экспертные оценки преимуществ выбора компонент видов обеспечения на множестве $\{C_{F_i} \times T_{AC} \times G(g_1, \dots, g_n)\}$; PL_F – планы реализации функций.

Модель формирования планов построения АСМДО. Модель представляется следующим кортежем:

$$M_4 = \langle PL_F, H, PL_{AC}^* \rangle,$$

где H – механизм формирования частных планов построения АСМДО; PL_{AC}^* – планы построения АСМДО.

Модель оценки выбора рационального плана создания АСМДО. Модель представляется следующим кортежем:

$$M_5 = M_{51} \circ M_{52} \circ M_{53},$$

где M_{51} – модель оценки стоимости; M_{52} – модель оценки эффективности; M_{53} – модель выбора рационального плана;

$$M_{51} = \langle PL_{AC}^*, L_1, C \rangle,$$

где L_1 – механизм оценки планов PL_{AC}^* по стоимости; C – оценки планов построения АСМДО по стоимости;

$$M_{52} = \langle F_{AC}, T_{AC}, PL_{AC}^*, L_2, \Psi \rangle,$$

где L_2 – механизм оценки планов PL_{AC}^* по эффективности; Ψ – сравнительная оценка планов построения АСМДО по эффективности;

$$M_{53} = \langle C, \Psi, L_3, PL_{AC} \rangle,$$

где L_3 – механизм выбора рационального плана; PL_{AC} – рациональный план создания АСМДО.

Таким образом, предложенная модель позволяет с позиций системного подхода структурировать процесс формирования рационального варианта реализации системы на основе плана ее создания, что в целом, позволяет получить более точные оценки ожидаемых основных показателей создаваемой системы.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Проектирование программно-технического комплекса (ПТК) АСМДО реального времени предполагает решение следующих задач:

- проектирование архитектуры программного комплекса АСМДО;
- выбор технических средств реализации спроектированной программной архитектуры;
- выбор системного программного обеспечения, обеспечивающего функционирование системы в целом.

В основу проектирования АСМДО положен подход, основанный на решении трех взаимосвязанных задач (рис. 2):

- функционального анализа АСМДО в реальном времени;

- проектирования архитектуры ПТК АСМДО;
- параметрического синтеза элементов программно-аппаратной платформы, реализующей предложенную архитектуру.

Функциональный анализ системы предполагает решение следующих задач:

- анализа целевого предназначения системы, основных решаемых задач и определения требований к системе и отдельных ее элементов;
- определения показателей эффективности функционирования системы;
- декомпозиции системы на функциональные подсистемы и функции, которые реализуются отдельными подсистемами.

Этапы проектирования архитектуры ПТК АСМДО

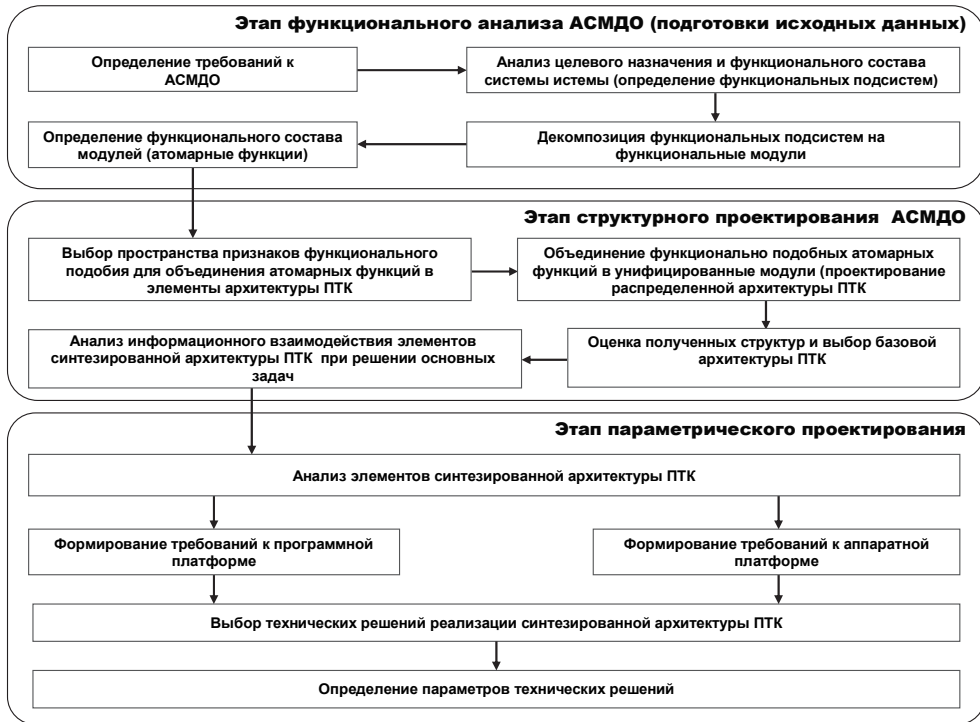


Рис. 2. Этапы проектирования архитектуры ПТК АСМДО

Структурное проектирование предполагает определение архитектуры системы для реализации заданной функциональности. В основу проектирования архитектуры системы положена процедура оценки функциональной подобности разных функций системы с целью реализации их отдельными элементами программно-технического комплекса АСМДО. Для оценки подобности разных функций системы осуществляется выбор пространства признаков подобия и проводится оценка их значений. Подобные функции с точки зрения заданной метрики объединяются в модули системы. Такой подход позволяет определить необходимый и достаточный набор модулей, реализующих заданную функциональность системы.

Таким образом, структурное проектирование включает следующие задачи [2]:

- выбор пространства признаков функционального подобия функций системы;

- объединение функционально подобных функций в программные модули;
- оценка возможных вариантов структур системы и выбор базовой архитектуры АСМДО;
- анализ процессов информационного взаимодействия элементов спроектированной архитектуры для оценки выбранного базового варианта системы.

Этап выбора параметров технических средств (параметрический синтез) системы предполагает формирование требований к программной и аппаратной платформе реализации спроектированной системы и обоснование выбора технических решений ее реализации. Кроме того, для выбранных технических средств определяются их основные технические параметры: быстродействие, размер оперативной и внешней памяти, требования к сетевым интерфейсам и др.

Проектирование архитектуры системы мониторинга динамических объектов является сложной задачей и требует разработки новых методических подходов, позволяющих определить рациональную архитектуру системы. Вопросам проектирования архитектуры системы посвящено достаточно много работ [4–8]. Однако проектирование архитектуры систем мониторинга динамических объектов в реальном времени требует совершенствования существующих положений с учетом специфических особенностей таких систем: иерархичность архитектуры, размещение компонент системы на значительной территории, значительное количество разнородных источников информации, значительный поток данных, требования ко времени обработки информации, значительное количество потребителей информации и т.д.

Постановка задачи. Задача проектирования архитектуры тесно связана с задачей оптимизации функционирования системы. Архитектура считается оптимальной, если эффективность разрабатываемой системы максимальна при заданных ограничениях.

Введем следующие обозначения: P – множество возможных вариантов $\pi \in P$ построения системы или ее элементов. Возможные варианты, как правило, заданы и выбираются при проектировании системы из множества P ; F – множество взаимосвязанных функций (задач), которые выполняются системой. Каждому варианту построения системы π соответствует некоторое множество функций $F(\pi)$, из которого при проектировании системы необходимо выбрать подмножество $f \in F(\pi)$, достаточное для реализации выбранного варианта π ; A – множество взаимосвязанных элементов системы (узлы системы, технические средства и т.п.).

Тогда, в общем случае, задача проектирования архитектуры будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} \pi &\in P, \\ f &\in F(\pi), \\ \bar{A} &\in A, \\ [f \in F(\pi)] \mathfrak{R}[\bar{A} \in A], \end{aligned}$$

где \mathfrak{R} – оптимальное отображение множества функций F на множество элементов A , которое обеспечивает экстремум некоторой целевой функции при заданных ограничениях.

Таким образом, задача проектирования архитектуры системы состоит в таком отображении определенным образом сгруппированных функциональных задач по определенным образом сгруппированным элементам системы, при котором достигается экстремум критерия качества отображения \mathfrak{R} при выполнении заданных ограничений.

Основными характеристиками качества отображения \mathfrak{R} , как правило, являются:

эффективность проектируемой системы, стоимость (разработки и эксплуатации), время (продолжительность цикла обработки), надежность, точность, достоверность, загрузка элементов. Постановка задачи, в общем случае, может учитывать различные факторы: тип решаемых задач (оперативные, плановые); статический или динамический выбор множества задач; фиксированные или динамические связи между задачами; тип связи между задачами (информационные, по управлению) и др.

Рассмотрим постановку задачи проектирования архитектуры АСМДО с учетом взаимосвязи задач и узлов в процессе функционирования. Для ее формализации введем обозначения: $i = \overline{1, I}$ – множество задач системы; n_i – вариант решения i -й задачи, $n_i \in N$, N – общая численность вариантов решения задач; $j = \overline{1, J}$ – множество узлов АСМДО; $|\alpha_{ii'}|$ – матрица связи между задачами. Задачи i и i' считаются связанными, если для решения i' -й задачи используется информация, являющаяся выходной для i -й задачи, при этом $\alpha_{ii'}$ имеет значение среднего потока информации от i -й задачи к i' ; если задачи не связаны, то $\alpha_{ii'} = 0$; $|\gamma_{jj'}|$ – матрица затрат на передачу информации от j -го узла в j' -й; для несвязанных узлов $\gamma_{jj'} = \infty$; m_l – характеристики технических средств; a_{ijn} – эффективность решения i -й задачи n -м способом в j -м узле; m_{in} – потребность i -й задачи, решаемой n -м способом, в ресурсах технических средств; C_{lj} – затраты на эксплуатацию l -го технического средства в j -м узле; K – затраты на приобретение (разработку) технических средств; k_l – затраты на приобретение (разработку) l -го технического средства; k_{in} – затраты на разработку и внедрение i -й задачи в n -м варианте.

Тогда задача проектирования архитектуры АСМДО может быть представлена следующим образом:

$$\max \left[\sum_{\substack{i,n,j \\ i',nk,j'}} b_{inj,i'nkj'} x_{inj} x_{i'nkj'} - \sum_{jl} C_{lj} x_{jl} \right],$$

$$\text{где } b_{inj,i'nkj'} = \begin{cases} a_{inj}, & \text{если } in = i'n', \\ -\alpha_{in,i'n'} \gamma_{jj'}, & \text{если } in \neq i'n'; \end{cases}$$

$$x_{inj} = \begin{cases} 1, & \text{если задача решается в } j\text{-м узле } n\text{-м способом,} \\ 0 & \text{– в противном случае;} \end{cases}$$

$$x_{jl} = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-й узел оснащен } l\text{-м техническим средством,} \\ 0 & \text{– в противном случае} \end{cases}$$

при следующих ограничениях:

$$\sum_{k,j} x_{inj} = 1, \quad i = \overline{1, I},$$

$$\sum_l x_{jl} = 1, \quad j = \overline{1, J},$$

$$\sum_{i,n} m_{in} x_{inj} \leq \sum_l m_l x_{jl}, \quad j = \overline{1, J},$$

$$\sum_{l,j} k_l x_{jl} + \sum_{i,k,j} k_{in} x_{inj} \leq K.$$

Рассмотренная задача является нелинейной задачей математического программирования, решение которой аналитическими методами затруднено. Это связано с тем, что на ранних стадиях проектирования параметры системы в ряде случаев могут быть известны лишь приблизительно, что приводит к неоднозначности определения рационального варианта ее архитектуры.

С учетом вышесказанного, для решения задачи в данной постановке целесообразно использовать агрегативно-декомпозиционный подход, который включает два взаимосвязанных этапа [9]:

- последовательную декомпозицию целей, функций и задач системы;
- агрегирование функциональных задач на соответствующих уровнях детализации архитектуры для генерирования вариантов построения системы в целом.

Таким образом, под проектированием архитектуры АСМДО будем понимать процесс последовательного решения системно связанных задач выбора ее основных элементов и подсистем:

- выбор подсистем и узлов и согласование их целей;
- распределение решаемых задач (функций) по узлам функциональных подсистем;
- выбор технических и программных средств, которые обеспечивают их своевременное выполнение.

Данные задачи решаются итерационно в силу их взаимосвязи и необходимости корректировки получаемых решений. А это, в свою очередь, предполагает первоначально построение базового (опорного) варианта архитектуры АСМДО и его дальнейшее последовательное уточнение (эволюционный подход).

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Оценка эффективности функционирования является одной из важнейших задач, на основе которой принимаются решения о правильности предложенных технических решений, а также обеспечивается выявление и устранение недостатков в процессе разработки системы и программно-технического комплекса АСМДО.

На основе анализа существующих методов предварительной оценки эффективности информационных систем предложено использовать общий подход к определению показателей эффективности системы мониторинга, планированию и проведению оценивания АСМДО с учетом особенностей начальных этапов разработки (неполноты исходных данных). Для проведения оценки эффективности АСМДО предложено использовать метод анализа иерархий [10].

На ранних стадиях проектирования, в условиях неопределенности исходных данных, наиболее приемлемым математическим аппаратом для оценки ожидаемой эффективности АСМДО являются экспертные методы (методы сравнительного анализа). Это обуславливается тем, что на этой стадии проектирования параметры и характеристики разрабатываемой системы еще недостаточно определены. Экспертам проще дать сравнительную оценку тем или иным элементам, чем приписать им меру.

Для решения данной задачи выполняется следующая последовательность шагов:

- определяется множество задач, которые решаются АСМДО;
- задачи ранжируются по важности в соответствии с их ролью и местом в системе;
- на основе анализа задач определяются функции системы (функциональная декомпозиция системы), которые тоже ранжируются;
- задаются показатели эффективности, и проводится их оценивание.

Данный процесс оценки реализуется методом анализа иерархий. Сначала строится дерево факторов и критериев. При этом в качестве факторов первого уровня высту-

пают задачи, второго – функции системы, третьего – показатели эффективности выполнения функций и последнего – альтернативы, т.е. варианты решения задач системы на основе использования АСМДО и без автоматизации [9].

Пусть $S = \{s_i \mid i = \overline{1, n}\}$ – задачи системы, $F_{ij} = (f_{i1}, f_{i2}, \dots, f_{iv_i})$ – функции i -й задачи, $K_z^{f_{ij}} = (k_1^{f_{ij}}, k_2^{f_{ij}}, \dots, k_g^{f_{ij}})$ – показатели эффективности выполнения j -й функции i -й задачи. Тогда задачу сравнительной оценки эффективности функционирования системы мониторинга с автоматизацией и без нее можно представить следующим образом (рис. 3).

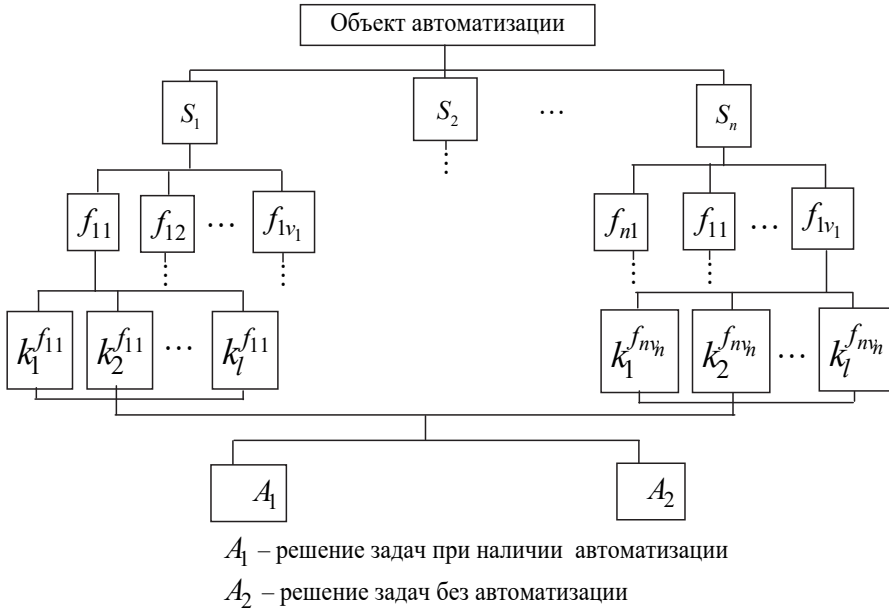


Рис. 3. Декомпозиция задачи оценки эффективности АСМДО

Далее строятся матрицы парных сравнений для каждого уровня – по одной матрице для каждого элемента более высокого уровня. Так, для факторов z_i оценки экспертов в виде отношений предпочтений можно записать как обратно симметричную матрицу доминирования:

$$M_z = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix},$$

где $a_{ii} = 1$; a_{ij} показывает относительную важность задач S_1 и S_n по отношению к «Объекту автоматизации», а $a_{ji} = 1/a_{ij}$. При парных сравнениях используется стандартная 9-бальная шкала.

Для функций f_{ij} будут получены аналогичные матрицы парных сравнений, элементы которых показывают относительную важность функций i -й задачи. Аналогично оцениваются показатели $K_i^{f_{ij}}$.

При формировании матриц парных сравнений для альтернатив A_1 и A_2 необходимо иметь в виду, что под АСМДО в данном случае рассматривается ее системотехническая сторона. При оценке альтернатив прогнозируется насколько эффективно, по сравнению с существующим положением, будет реализована та или другая функция системы. После этого, вычисляются собственные вектора каждой из матриц, и формируется набор локальных приоритетов. И, наконец, на основе принципа приоритетов вычисляются глобальные приоритеты альтернатив.

В результате получаем нормализованный вектор $W = (w_{A1}, w_{A2})$ относительных приоритетов альтернатив A_1 и A_2 . Отношение $\eta = (w_{A1}/w_{A2})$ показывает, во сколько раз будет повышена эффективность объекта автоматизации в результате внедрения АС. Более детально процесс формирования матриц парных сравнений приведен в [10].

В качестве метода практического исследования эффективности разрабатываемой АСМДО и ее подсистем, а также принятия решений, использован метод проведения эксперимента на основе имитационного моделирования внешней обстановки на входах элементов АСМДО с одновременной оценкой их выходных реакций (качества решения задач по обработке информации мониторинга).

Разработка имитационного комплекса для исследования и верификации разработанных алгоритмов обработки координатной информации предполагает создание программного инструментария количественной оценки эффективности и требует разработки методического обеспечения работ по исследованию возможностей системы в различных условиях воздействия внешней среды и режимов функционирования АСМДО. Общая структура системы моделирования представлена на рис. 4.

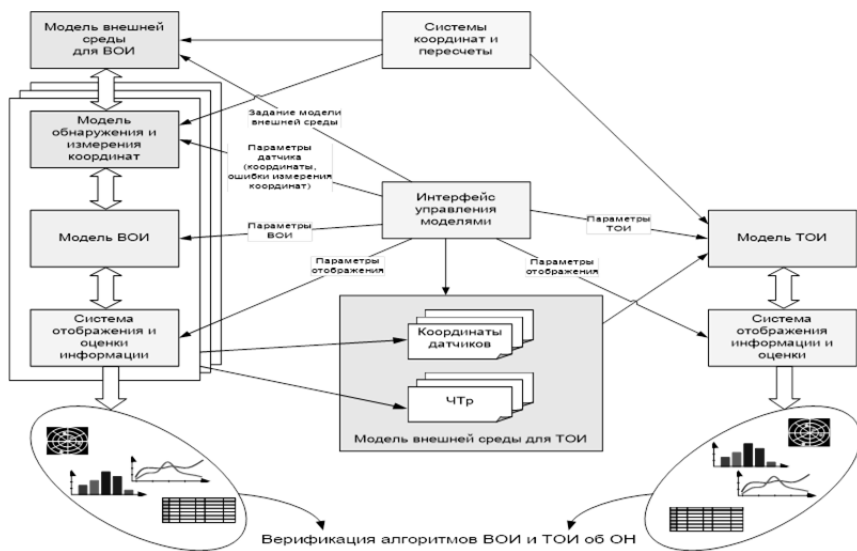


Рис. 4. Обобщенная структура имитационного комплекса для исследования алгоритмов обработки информации мониторинга

Разработанный имитационный комплекс предоставляет следующие возможности:

- высокую оперативность изменения входных данных в модели;
- высокую степень наглядности получаемых результатов с использованием различных способов представления данных (графический, цифровой, многоцветный, на экране монитора, печатающем устройстве или на графопостроителе);
- оптимальное сочетание выходных (конечных) результатов и промежуточных;
- развитые диалоговые возможности системы для получения быстрого отклика на входные воздействия (анализ чувствительности системы к любого рода изменениям);
- оперативность получения оценок рассчитываемых показателей качества обработки информации.

Разработанные методические положения использованы при решении задач проектирования АСМДО [11, 12]. Оценка эффективности разработанной системы подтвердила обоснованность предложенных технических решений [13].

ВЫВОДЫ

Предложенные в статье основные направления создания автоматизированных систем мониторинга множества динамических объектов, на основе методик структурного и функционального проектирования, позволяют разработать рациональный вариант создания системы, оценить ожидаемую эффективность от ее внедрения на предпроектных стадиях проектирования, спроектировать программно-технический комплекс системы и оценить эффективность разработанной АСМДО.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Верба В.С.* Системный анализ методов проектирования многофункциональной информационной системы / В.С. Верба, В.А. Михеев // Известия ЮФУ. Технические науки. – Таганрог, 2008. № 8. С. 109–115.
2. *Методологія побудови розподілених інформаційно-аналітичних систем реального часу* / Звіт по НДР «Теоретичні і методологічні основи створення розподілених інформаційно-аналітичних систем моніторингу множини динамічних об'єктів у реальному часі» (шифр «Контроль»). Етап 2. – К.: ІПРІ НАН України, 2008. 247 с.
3. *Науменко С.М.* Модель концептуального планування створення автоматизованих систем / С.М. Науменко: зб. наук. пр. № 1. К.: ВІПІ НТУУ «КПІ», 2002. С. 117–121.
4. *Липаев В.В.* Системное проектирование сложных программных средств для информационных систем / В.В. Липаев. – М.: СИНТЕГ, 2002. 268 с.
5. *Брауде Э.* Технология разработки программного обеспечения / Э. Брауде. – СПб: Питер, 2004. 655 с.
6. *Басс Л.* Архитектура программного обеспечения на практике / Л. Басс, П. Клементе, Р. Кацман. – [2-е изд.]. СПб: Питер, 2006. 575 с.
7. *Фаулер М.* Архитектура корпоративных программных приложений / М. Фаулер: пер с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. 544 с.
8. *Bass L.* Achieving Usability Through Software Architecture / L. Bass, B. John, J. Kates. CMU/SEI-2001-TR-005. – Software Engineering Institute. – Carnegie Mellon University, 2001.
9. *Цвиркун А.Д.* Основы синтеза структуры сложных систем / А.Д. Цвиркун. – М.: Наука, 1982. – 197 с.
10. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. 314 с.
11. *Общие проектные решения по программно-техническому комплексу ЦОИ.* – Часть 1. – Книга 6. Архитектура программно-технического комплекса ЦОИ // Отчет по второму этапу технического проекта на Систему и ЦОИ. – К.: ИПРИ НАН Украины, 2006. 116 с.
12. *Общие проектные решения по программно-техническому комплексу ЦОИ.* – Часть 2. Книга 6. Базовая программно-аппаратная платформа ЦОИ // Отчет по второму этапу технического проекта на Систему и ЦОИ. – К.: ИПРИ НАН Украины, 2006. 81 с.
13. *Технический проект Системы и ЦОИ.* Этап 5. – Книга 1. Заключительный отчет о работе. – К.: ИПРИ НАН Украины, 2009. 142 с.

Формирование баз данных реферативной информации – путь к оперативному обмену результатами научных исследований

В. В. Петров, А. А. Крючин, Л. И. Костенко,
Н. Н. Минина, Н. Я. Зайченко

Библиотеки национальных академий наук : проблемы функционирования, тенденции развития. 2010. Выпуск 10. С. 105–111.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одним из критериев эффективности выполнения научных исследований, актуальности и научной новизны полученных результатов, оценки деятельности научных журналов является индекс цитирования научных статей [1-5]. Проблема корректного использования этих данных длительное время обсуждается во всем мире [6]. Индексы цитирования, индекс Хирша представлены в реферативных базах данных Scopus и Web of Science.

Существуют серьезные технические проблемы в подсчете цитируемости, такие как ограничения баз данных. Science Citation Index (Указатель цитированной литературы, издаваемый Институтом научной информации США, охватывает 5200 журналов). В процесс индексирования попадает малая часть публикуемых журналов (в мире издается около 130 тысяч научных журналов) [6]. С 2005 года научная электронная библиотека России eLIBRARY.RU занимается разработкой Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). РИНЦ направлен на развитие мощного аналитического инструмента, позволяющего получать качественные данные о научной продуктивности отдельных ученых, организаций, регионов и проведения разнообразных библио- и наукометрических исследований [7].

Собственные системы научного цитирования создали и разрабатывают и другие страны, такие как, например, КНР, Казахстан. Редколлегии научных журналов прилагают значительные усилия для увеличения индекса цитирования научных публикаций, представляемых в издаваемых журналах. На величину индекса цитирования существенное влияние оказывают: в первую очередь, научная значимость и оригинальность полученных результатов, и кроме того, язык, на котором представлена научная статья, рейтинг научного журнала. Огромное влияние на внимание к статье имеет репутация журнала.

Существенное значение имеет также представление информации о научных публикациях в реферативных изданиях [8]. В мире издается более 1300 реферативных журналов по различной тематике, значительная часть из которых доступна в электронной форме [9]. Информационные центры России выпускают около 400 реферативных и библиографических изданий [9]. Достичь высоких значений индекса цитирования реально могут авторы статей, рефераты которых представлены в международных базах данных реферативной информации. Решению задач выхода авторов исследований на международный уровень, обеспечению широкого представления результатов научных исследований должно было способствовать издание Национальных реферативных журналов в Украине (Украинский реферативный журнал «Джерело» [10]), Казахстане [11], Грузии [12]. Эти реферативные издания существенно дополняют широко известное реферативное издание ВИНТИ Российской академии

наук [13] в части представления результатов, полученных в национальных исследовательских центрах, повышают оперативность представления информации.

Представление рефератов в одном из национальных журналов не исключает их публикацию и в других реферативных изданиях. Необходимо обеспечить взаимосвязь (систему взаимных ссылок) между сайтами этих изданий. Существенным является оперативность представления информации и доступность ее получения [14].

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ УКРАИНЫ В НАЦИОНАЛЬНЫХ БАЗАХ ДАННЫХ РЕФЕРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ

В настоящее время национальные базы данных (БД) статей, опубликованных в научных журналах, созданы в Испании, странах Латинской Америки, Японии, КНР, Австралии [4]. Проведенный анализ показывает, что быстро растет цитируемость доступных по Интернету электронных научных статей. Цитируемость печатных публикаций существенно им уступает. Издатели научных журналов предпринимают дополнительные усилия по информированию потенциальных читателей о новых публикациях [15]. Одним из основных направлений в становлении единого информационного научного пространства является создание общих баз данных различного характера, относящихся к многочисленным научным направлениям, и обеспечение представительства в этих базах данных всех ведущих научных коллективов [8, 16].

Одной из наиболее эффективных форм такого информирования является создание и организация доступа к базам данных реферативной информации. Существуют разные мнения, относительно будущего реферативных изданий. По мнению специалистов ВИНИТИ, в ближайшие 10-15 лет их не смогут заменить ни полнотекстовые базы данных, ни доступ к первоисточникам с использованием Интернет [14]. Базы данных реферативной информации являются одним из ключевых элементов единого мирового информационного научного пространства, позволяющего осуществлять обмен научной информацией практически в реальном масштабе времени [16].

Национальная база данных научной реферативной информации Украины начала формироваться с 1998 года и в настоящее время насчитывает более 300 тысяч записей. Начиная с 2000 года, организован открытый онлайн-доступ к этой базе данных, получивший название «Україніка наукова». В отличие от реферативных баз ВИНИТИ реферативная база «Україніка наукова» предоставляется бесплатно (ВИНИТИ предоставляет возможность бесплатной работы в демоверсии БД, которая полностью отражает наполнение описаний документов БД ВИНИТИ и дает возможность ознакомиться с функциями системы). Основная задача создания этой реферативной базы данных состоит в ознакомлении научной общественности как национальной, так и международной, с результатами исследований ученых и специалистов Украины. Большое число обращений к базе данных «Україніка наукова» свидетельствует о признании достаточно высокого рейтинга научных исследований в Украине. Число ежедневных обращений к реферативной базе данных составляет 250-300, в том числе расширенный поиск осуществляют 50-60 пользователей.

Мониторинг обращений к базе данных «Україніка наукова» свидетельствует о том, что значительное число обращений осуществляется из-за рубежа. С целью расширения возможностей оперативного получения необходимой научной информации, устранения существующего языкового барьера принято решение о формировании двуязычной реферативной базы данных (украинский и английский языки). Поиск в БД «Україніка наукова» можно проводить по авторам, ключевым словам, источнику, рубрикам.

В БД «Україніка наукова» используется система управления базой данных ISIS и планируется в ближайшее время переход на современный многомодульный программный комплекс хранения, управления и отображения реферативных баз данных. Этот комплекс, в свою очередь, должен состоять из современной системы управления базой данных с легко изменяемой внутренней структурой организации данных, поисковой системы с возможностью настройки, системы отображения и редактирования формул, управляемой системы отображения информации и интерфейса пользователя. Также необходимо присутствие серверной и клиентской части для организации веб-ориентированной базы данных с возможностью выгрузки базы данных в offline-версию для дальнейшей записи на портативный носитель информации.

По мнению ряда исследователей, низкая цитируемость научных статей в издаваемых в странах СНГ журналах связана и с языковым барьером [18].

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К РЕФЕРАТАМ, ПРЕДСТАВЛЯЕМЫХ В БАЗАХ ДАННЫХ

Качество подготовки авторами рефератов статей во многом определяет интерес к публикациям, желание ознакомиться со статьей детально, проанализировать и другие статьи этих авторов. В частности, наличие большого числа формул в реферате затрудняет его оперативное восприятие и увеличивает время подготовки его к публикации, что автоматически снижает оперативность представления результатов исследований. Специалистами в области информационных технологий разрабатываются комплексные критерии оценки качества рефератов. Характеристиками рефератов в данной теории являются информативность, полнота, полезность, точность, логичность, согласованность, информационная плотность и качество. Полезность, полнота, логичность, согласованность и информационная плотность были определены как основные характеристики реферата. Характеристика качества реферата по оценке пользователя служит обратной связью между этой моделью качества и пользователем [17]. В украинском научном реферативном журнале «Джерело» и соответствующей ему реферативной базе данных «Україніка наукова» в основном представлены авторские рефераты. Использование систем автоматизированного реферирования текстов, которые в настоящее время интенсивно разрабатываются [16], позволит оперативно формировать рефераты публикаций, в которых авторские рефераты по тем или иным причинам, не представлены.

ВЫВОДЫ

1. Представление рефератов научных статей в национальных и международных базах данных реферативной информации способствует увеличению индекса цитирования научных публикаций, способствует установлению творческих контактов.

2. Существенное влияние на формирование интереса к научной публикации имеет форма и полнота представления результатов исследований в реферате научной работы. Существенным также является представление результатов исследований на языках международного научного общения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маркусова В.А. Публикационная активность российских ученых по БД SCI и SCOPUS // НТИ. Сер.1. 2008. № 5. С. 21-27.
2. Березкина Н.Ю., Хренова Г.С. Базы данных «Web of Science» как один из критериев оценки ученых Беларуси // НТИ. Сер. 1. 2007. № 11. С. 11-15.
3. Березкина Н.Ю. Сикорская О.Н. Оценка исследовательской активности ученых России и Беларуси (по данным Scopus) // НТИ. Сер. 1. 2008. № 11. С. 19-21.
4. Фролова В.А., Хасенова С.К., Кубиева Т.Ш., Рог О.А. К вопросу об определении индекса цитируемости публикаций казахстанских ученых // НТИ. Сер. 1. 2008. № 4. С. 24-26.
5. Корнілова Є.О. Кількісний аналіз джерельної бази публікацій в періодичних виданнях України // Науково-технічна інформація. 2007. № 3(33). С. 41–45.
6. Свердлов Е.Д. Миражи цитируемости // Вестник РАН. 2006. т. 76. № 12. С. 1073-1085.
7. Еременко Г.О. Разработка Российского индекса научного цитирования (РИНЦ): первые результаты и перспективы развития // НТИ. 2007: 7 Международная конференция, посвященная 55-летию ВИНТИ, «Информационное общество. Интеллектуальная обработка информации. Информационные технологии». Москва 21-26 окт. 2007. Материалы конференции. М.: ВИНТИ РАН. 2007. С. 120-121.
8. Мриглод І., Мриглод О. Наука України в світовому інформаційному просторі // Вісник НАН України. 2007. № 10. С.3-18.
9. Кириллова О. Место информационных продуктов ВИНТИ в среде электронных ресурсов по науке и технике // Информ. Ресурсы России. 2008. № 2. С. 9-11.
10. Петров В.В., Крючин А.А., Мініна Н.М. Перший ювілей українського реферативного журналу «Джерело» // Тр. XII міжнародний науко-практичної конференції «Построение информационного общества: ресурсы и технологии». 6-7 июня 2007, г. Киев, с. 108-110.
11. Фролова В.А., Карабаев Ж.А. О реферировании научных документов в Казахстане // НТИ-2007: 7 Международная конференция, посвященная 55-летию ВИНТИ, «Информационное общество. Интеллектуальная обработка информации. Информационные технологии». Москва 21-26 окт. 2007. Материалы конференции. М.: ВИНТИ РАН. 2007. С. 331-332.
12. Шамберашвили О.Б. Библиометрический взгляд на реформирование науки в Грузии // НТИ-2007: 7 Международная конференция, посвященная 55-летию ВИНТИ, «Информационное общество. Интеллектуальная обработка информации. Информационные технологии». Москва 21-26 окт. 2007. Материалы конференции. М.: ВИНТИ РАН. 2007. С. 343.
13. Арский Ю.М. Использование информационных ресурсов ВИНТИ РАН для подготовки и реализации стратегических решений в сфере инновационного развития // Материалы конференции 8 Международного форума «Высокие технологии 21 века». Москва, 2007, М.: Экспоцентр. 2007, с. 242-244.
14. Полунина Т.К., Цветкова В.А. Информационные ресурсы РАН и их доступность. – Режим доступа: http://www.benran.ru/Magazin/cgi-bin/Sb_03/pr03.exe?!6!
15. Этштейн В.Л. Как увеличить индекс цитирования научной публикации // Пробл. Упр. 2006. № 6. С. 83-84, 100.
16. Гузь А.Н. О становлении информационного научного пространства // Наука України в світовому інформаційному просторі. 2008. Вип. 1. С. 23-56.
17. Pinto Maria. A grounded theory on abstracts quality: Weighting variables and attributes. // Scientometrics. 2006. 69, № 2, с. 213-226.
18. Богатов В.В. Можно ли доверять Science Citation Index? // Вестник ДВО РАН. 2006. № 6. С. 149-157.

20 років Українського реферативного журналу «Джерело»: здобутки створення національної системи реферування

В. В. Петров, О. С. Онищенко, А. А. Крючин, К. В. Лобузін,
Н. М. Мініна, Н. Я. Зайченко

Вісник НАН України. 2015. № 10. С. 71–74.

Соціально-економічний прогрес суспільства значною мірою пов'язаний з удосконаленням наукової інформаційної інфраструктури. Розвиток інформаційних технологій сприяє обміну науковою інформацією практично в масштабі реального часу. Результатом комунікаційних процесів стали масиви публікацій, що зберігаються у спеціалізованих архівах, бібліотеках електронних баз.

Незважаючи на широку доступність повнотекстових документів, реферування наукових публікацій не втратило своєї актуальності. Відомо, що більшість усієї нової інформації вчені одержують з журнальних статей. Згідно з законом Бредфорда фахові журнали містять лише третину усіх статей з профільної теми, решта – розсіяні по широкому колу суміжних видань. Реферативні видання в друкованому та електронному вигляді здійснюють відбір релевантних статей із вказаних журналів, систематизують їх за відповідними темами-рубриками. Більшість розвинених сучасних систем пошуку наукової інформації включають до свого потенціалу як необхідний елемент реферативну складову. Наявність грамотно складеного наукового реферату та ключових слів публікацій значно покращують ефективність використання інформаційного ресурсу, скорочують час пошуку релевантної та пертинентної інформації. Реферат (анотація) до наукової публікації є необхідним елементом метаданих, які постачаються до наукових електронних бібліотек та глобальних наукових інформаційних систем та сервісів, таких як Google Scholar або CrossRef. Як показує досвід експлуатації науково-інформаційних ресурсів, наявність згорнутої інформації (класифікаційних індексів, рефератів, предметних рубрик) забезпечує у десятки разів менше звернень до повного тексту публікації: необхідну інформацію користувач отримує вже на етапі ознайомлення з бібліографічним описом та анотацією.

Після розпаду СРСР в Україні постало питання створення національної системи науково-технічної інформації, адже за часів Союзу РСР Україна входила до складу єдиної державної системи НТІ. Протягом 1990-х рр. провідними інформаційними центрами було започатковано ряд науково-інформаційних, у тому числі, реферативних видань. Це, в основному, проблемно-орієнтовані реферативні журнали, які характеризувалися певними обмеженнями щодо тематичного наповнення.

Усвідомлюючи актуальність проблеми інформаційного забезпечення вітчизняної науки, Інститутом проблем реєстрації інформації НАН України (ІПРІ) 1995 року було започатковано Український реферативний журнал «Джерело» (УРЖ), орієнтований на реферування наукової періодики з усіх галузей знання, переважну більшість якої на перших порах складали журнали НАН України. Приєднання у 1998 році до проекту видання УРЖ Національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського (НБУВ) сприяло потужному поштовху в кількісному наповненні журналу. До процесу реферування було включено монографії, збірники наукових праць, матеріали конференцій, посібники для ВНЗ, періодичні та продовжувані видання галузевих академій наук та ВНЗ, автореферати дисертацій, препринти.

Ключовим моментом якісної зміни УРЖ стало створення реферативної бази даних «Україніка наукова» (РБД), у яку інтегровано реферати наукових публікацій українських вчених. Створенню РБД передувала наукова розробка концепції Національної системи реферування. З урахуванням світового досвіду було досліджено та обґрунтовано теоретичні та науково-методичні основи побудови цілісної системи реферування [2, 4]. Головний принцип побудови – централізована кумуляція масивів реферативної інформації із зовнішніх розподілених ресурсів. Запропоновано оптимальну модель розподілу робіт між суб'єктами вітчизняної системи документальних комунікацій з урахуванням єдиних методологічних підходів. В основу організації реферування покладено принцип зацікавленості індивідуальних та колективних авторів про включення результатів своїх досягнень і розробок в національний інформаційний ресурс. РБД наповнюється рефератами вітчизняних наукових публікацій із залученням до співпраці редакцій наукових часописів і продовжуваних видань, видавців періодики, провідних наукових бібліотек [1].

20-річний досвід видання УРЖ «Джерело» довів ефективність формування національних реферативних ресурсів на корпоративних засадах спільними зусиллями провідних вітчизняних інформаційних служб. На сьогодні РБД «Україніка наукова» містить близько 580 тис. записів.

Особливе значення має комплексність інформаційних послуг:

– безкоштовний онлайн-доступ до РБД «Україніка наукова» засобами глобальних комп'ютерних мереж (www.nbuv.gov.ua);

– друковане видання УРЖ «Джерело» 6 разів на рік у 4-х серіях загальним обсягом понад 900 обл.-вид. аркушів: серія 1 – «Природничі науки», серія 2 – «Техніка. Промисловість. Сільське господарство», серія 3 – «Соціальні та гуманітарні науки. Мистецтво», серія 4 – «Медицина. Медичні науки»;

– видання реферативної бази даних «Джерело» на компакт-дисках.

Розвиток реферативного журналу та РБД здійснюється у напрямках підвищення вимог до першоджерел, до якості рефератів та анотацій, вдосконалення програмного та апаратного забезпечення, збільшення обсягів сучасної реферативної інформації та поглиблення ретроспективи, розробки наукометричного апарату для дослідження тенденцій розвитку української науки.

Слід зазначити, що сучасного користувача вже не може задовольнити лише реферативна інформація з подальшою необхідністю звертатись до друкованого видання. Крім того, сучасне наукове е-середовище є надзвичайно мобільним, інформація в якому потрібна сьогодні на сьогодні. Природним наслідком таких вимог наукової користувачької аудиторії стало з одного боку органічне сполучення реферативної та повнотекстової інформації в електронних ресурсах наукової періодики, а з іншого – реферати фахових наукових видань з'являються у глобальній мережі та постачаються до агрегаторів наукової періодики разом із виходом з друку поточного випуску.

Окрім цього сучасність диктує необхідність проведення на основі реферативних та повнотекстових ресурсів ґрунтовних наукометричних досліджень, які надають змогу визначити ефективність результатів наукової діяльності в різних галузях знання, а в поєднанні – здійснити багатопараметричний аналіз і визначити внесок учених у розвиток регіональної, вітчизняної і світової науки [3, 5].

Науковці НБУВ та ІПРІ проводять дослідження з цих питань, але у повному обсязі такі розвідки мають базуватись на певній наукометричній платформі. У цьому контексті нами визначено пріоритетні напрями розвитку національних реферативних ресурсів (реферативної бази даних «Україніка наукова» та УРЖ «Джерело») на найближчу перспективу:

– інтеграція загальнонаціональних наукових інформаційних ресурсів: бази даних «Україніка наукова» та повнотекстової електронної бібліотеки «Наукова періодика України», створення на їх основі наукової електронної бібліотеки з розвиненим пошуковим інтерфейсом;

– покращання користувацького інтерфейсу електронної системи пошуку наукової інформації України за рахунок впровадження системи авторитетних файлів: назв періодичних видань, імен науковців, назв наукових установ, наукового рубрикатора, предметних рубрик тощо;

– забезпечення існуючих служб реферування розподіленою платформою реферування та систематизації наукових публікацій, створення єдиної постійно поповнюваної реферативної бази даних;

– впровадження форматів зручних для безпосереднього постачання реферативної інформації від видавництв наукових періодичних видань;

– підвищення зацікавленості вітчизняних учених, наукових інституцій та видавництв у постачанні необхідних метаданих публікацій та повних текстів до загальнонаціональних наукових інформаційних ресурсів, які надають можливість здійснення наукометричного аналізу публікаційної активності науковців, що у підсумку дозволяє визначити ефективність результатів наукової діяльності в різних галузях.

У цьому напрямі Національною бібліотекою України імені В. І. Вернадського вже здійснено певні кроки, а саме забезпечено індексування повнотекстового ресурсу «Наукова періодика України» інформаційно-пошуковою системою Google Scholar, за рахунок якісного постачання метаданих, у тому числі і наявних рефератів наукових публікацій. Аналіз протягом року індексування повних текстів та метаданих статей «Наукової періодики України» засвідчив, що показники наукометричних профілів вчених зросли у 3-4 рази (кількість цитувань та індекси цитування).

Отже, постачання до глобальних інформаційних сервісів науково опрацьованої реферативної інформації є нагальною вимогою часу для забезпечення відповідного до міжнародних вимог представлення доробку українських вчених у світових наукових комунікаціях. Вирішити цю проблему централізовано на загальнонаціональному рівні набагато легше, ніж вирішувати кожному видавництву окремо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Зайченко Н.Я.* Сучасний стан та перспективи розвитку системи кооперативного реферування в Україні / Н.Я. Зайченко // Формування єдиного галузевого інформаційного простору шляхом кооперативного аналітико-синтетичного опрацювання документів галузевої тематики: матеріали Всеукр. наук.-практ. семінару, 3 берез. 2011 р., Київ. С. 54-65.
2. Інтеграція України у світове співтовариство в контексті розвитку бібліотечних інформаційних технологій : монографія / О. С. Онищенко, Л. А. Дубровіна, В. М. Горовий, В. І. Попик, Л. Й. Костенко та ін.; НАН України, Нац. б-ка України ім. В.І. Вернадського. Київ, 2011. 222 с.
3. Наукова періодика України та бібліометричні дослідження : [монографія] / Л.Й. Костенко, О.І. Жабін, С.О. Копанева, Т.В. Симоненко ; НАН України, Нац. б-ка України ім. В.І. Вернадського. Київ, 2014. 173 с.
4. *Сорока М. Б.* Національна система реферування української наукової літератури : монографія / М. Б. Сорока; НАН України. Нац. б-ка України ім. В.І.Вернадського. Київ, 2002. 212 с.
5. Формирование баз данных реферативной информации – путь к оперативному обмену результатами научных исследований / В.В. Петров, А.А.Крючин, Л.И. Костенко, Н.Н. Минина, Н.Я. Зайченко // Библиотеки национальных академий наук: пробл. функционирования, тенденции развития. 2010. Вып. 8. С. 103-109.

Розділ 5

МЕТОДИ І ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОЦИФРУВАННЯ РАРИТЕТНИХ ВОСКОВИХ ВАЛИКІВ. КОЛЕКЦІЯ ЮНЕСКО «ПАМ'ЯТЬ СВІТУ»

Наприкінці XIX сторіччя Едісон запропонував і реалізував технологію запису аудіоінформації на воскових циліндрах. Протягом понад 50 років ця технологія використовувалась етнографами всього світу для запису та зберігання унікальних аудіоколекцій. Однак тривале зберігання фонографічних циліндрів призвело до значного погіршення якості відтворюваних з воскових циліндрів сигналів. Інституту проблем реєстрації інформації НАН України було поставлено завдання розробити систему високоякісного неруйнівного відтворення звуку з фонографічних циліндрів.

У Національній бібліотеці України імені В. І. Вернадського на воскових циліндрах Едісона зберігається всесвітньо відома колекція єврейського музичного фольклору М. Береговського. Колекція була зібрана на початку XX сторіччя видатними етнографами-дослідниками М. Береговським, Ю. Енгелем, З. Кисельгофом, С. Ан-ським та ін. у місцях компактного проживання євреїв на території України та Південної Білорусі. На понад 1200 циліндрах, що збереглися до кінця XX сторіччя, записана безцінна музична спадщина тієї частини єврейського народу, яка була майже повністю знищена під час Голокосту. Колекція мала детальний опис, проте фонограми були недоступні через відсутність в Україні апаратури для відтворення звуку з воскових циліндрів.

Зважаючи на надзвичайну цінність колекції фонограм, відомі діячі культури, зокрема всесвітньо відомий скрипаль і диригент Іегуді Менухін, звернулися до керівництва Національної академії наук України з проханням перезаписати колекцію фонографічних циліндрів М. Береговського на сучасні носії інформації. У проханні передбачалося, що перезапис буде здійснено у Віденському фонографічному архіві Австрійської академії наук.

Керівництво НАН України та НБУВ України, враховуючи те, що відтворені фонограми вже не належали би Україні, прийняли рішення не передавати колекцію зарубіжним дослідникам, а здійснити її перезапис в Україні силами українських учених.

Інституту проблем реєстрації інформації НАН України, який мав великий досвід у створенні прецизійного високотехнологічного обладнання для систем оптичного запису та відтворення інформації і висококваліфікованих науковців, було доручено здійснити перезапис колекції фонографічних циліндрів М. Береговського на сучасні носії інформації. Для вирішення цього завдання було розроблено принципово новий метод високоякісного відтворення звуку з фонографічних циліндрів Едісона та створено станцію оптико-механічного інтерферометричного відтворення звуку з фонографічних циліндрів, яка за своїми характеристиками на має аналогів у світі, застосовано принципово новий підхід в обробці інформації. На першому етапі вимірювали та записували сигнал про мікрорельєфну структуру звукової доріжки, якою кодується інформація. Вимірювання профілю звукової доріжки здійснювалося на швидкості обертання воскового циліндра в 10–12 разів нижче швидкості, на якій здійснювався запис інформації. Це дало змогу знизити динамічне навантаження звукознімача на поверхню воскового циліндра в 150–180 разів, що робило процес перезапису практично неруйнівним. Створена система дозволила відтворювати звукові коливання в широкому частотному діапазоні до 20 кГц, що значно, майже в 5 разів, перевищувало спектр частот, записаних на фонографічному циліндрі, і за своїми характеристиками не мала аналогів у світі. Було створено високоточну інтерферометричну систему вимірювання профілю мікрорельєфних структур, розроблено швидкодіючу систему стеження за інформаційними доріжками та високоточну систему стабілізації швидкості обертання носіїв, створено програмно-апаратний комплекс очищення звуку за умов наявності великої кількості потужних завод. На другому етапі здійснювали очищення сигналу від непритаманних звуковій доріжці завод, і тільки після цього отримували аудіосигнал шляхом диференціювання сигналу профілю.

Враховуючи унікальність і важливість для збереження звукової культурної спадщини методу неруйнівного інтерферометричного відтворення звуку з воскових циліндрів, постановою Президії НАН України від 20.11.1998 № 401 створення систем відтворення звуку та зображень з раритетних носіїв інформації визначено пріоритетним напрямом наукових досліджень інституту.

Створення такої станції неруйнівного відтворення звуку дозволило виконати перезапис колекцій раритетних циліндрів з музеїв і бібліотек України. Так, оцифровано 900 циліндрів з колекції єврейського фольклору М. Береговського (НБУВ), 750 циліндрів з колекції українського фольклору О. Роздольського (Бібліотека Львівської Національної музичної академії ім. М. В. Лисенка), 200 циліндрів з колекції Інституту мистецтвознавства, фольклористики та етнології ім. М. Т. Рильського НАН України, 50 циліндрів з Центрального державного кінофотофоноархіву України ім. Г. С. Пшеничного, а також з приватних

колекцій. За оцінками фахівців оцифровані колекції мають значну культурну та наукову цінність. Так, колекцію М. Береговського, саме завдяки тому, що вона була оцифрована і стала доступною світовому співтовариству, занесено до Реєстру ЮНЕСКО «Пам'ять світу». Спільно з Національною бібліотекою України ім. В. І. Вернадського (НБУВ) видано серію мультимедійних компакт-дисків, на яких до аудіозаписів додано нотні записи, щоденники експедицій, фотографії, що дозволяє отримати повну інформацію про раритетні колекції. Перший компакт-диск з обраними записами культурного надбання єврейського народу «Скарби єврейської культури в Україні», на якому існує єдина достовірна фонограма виступу Шолом-Алейхема під час огляду Єврейського історико-етнографічного музею в Санкт-Петербурзі в 1914 році. Цей диск у подальшому було даровано Президентом Л.Д. Кучмою під час його візиту до Ізраїлю в листопаді 1996 року Президенту, Прем'єр-Міністру та Голові Кнесету Ізраїлю.

Завдяки реалізованому в інституті принципово новому методу високоякісного відтворення звуку з фонографічних циліндрів Едісона було відтворено записи та видано три компакт-диски «Український фольклор першої половини ХХ сторіччя. Вибірка з фоноколекції Осипа Роздольського». На цих дисках розміщено унікальні музичні записи, зчитані з воскових фоноциліндрів, які належать до матеріалів етнографічних експедицій відомого українського музичного етнографа, фольклориста та педагога О. Роздольського, що зберігаються у Львівській національній музичній академії ім. М. В. Лисенка. Ці записи є, безперечно, унікальною пам'яткою української культури, тому що фоноархів О. Роздольського має небагато аналогів у Європі та світі як за об'ємом, так і за якістю зібраного матеріалу.

У 1997 році у Каліфорнійському університеті, Берклі було зроблено наукову доповідь про технологію відтворення звуку з фонографічних циліндрів Едісона та його обробку. Представники американського радіо після доповіді запропонували провести додаткову обробку відтворених аудіосигналів, але за місяць повідомили, що їм не вдалося покращити вже досягнутий рівень якості сигналів.

Optomechanical method of sound reproduction from Edison cylinders

V. V. Petrov, A. A. Kryuchyn, S. M. Shanoylo, O. Y. Morosovsky,
I. V. Kosyak, I. P. Ryabokon, V. A. Atayev, A. K. Voytenko,
S. A. Ketsko, V. N. Zenin

Proc. SPIE Vol. 3055 (Int. Conf. "Optical Storage and Transmission
of Information". 14-16 May 1996, Kiev, Ukraine). P. 218-224.

ABSTRACT

The description of a method for optomechanical sound reproduction from Edison cylinders the distinctive feature of which is recording the surface profile of the cylinder sound track with its subsequent conversion into sound by means of a computer is presented. With the purpose of decreasing the destructive influence of reproduction system on the cylinder surface the recording the surface profile of a sound track is carried out at rotational speed smaller by a factor of 20-30 of that one at which was executed the information recording on it. The realization of a proposed method allowed to reproduce information recorded on cylinders with minimal action and to obtain a high quality of a reproduced signal.

Key words: Edison cylinder, sound, surface, profile, interferometer, phonograph pickup, speed.

1. INTRODUCTION

The historically first method of sound recording was developed by Edison method of recording on easy deformable material made in the form of a cylinder. Beginning from 1887 by using this method were recorded thousands cylinders which are now priceless historical monuments for sound registration of the cultural heritage of the past. Information recorded on cylinders is of great scientific value.

In a number of countries are developed methods and equipment for sound reproduction from phonograph cylinders. The leading positions in this question hold the Vienna Phonograph Archive and the Library of the Congress. The scientists and specialists of these institutions made a great contribution to investigations and development of methods and equipment for cylinder reproduction, do an enormous work on rewrite and processing of information from cylinders in the interests of scientists, lovers of music both of their and many other countries. Currently the main method of sound reproduction from phonograph cylinders is a piezoelectric method^{1,2}.

When reproducing a sound from phonograph cylinder one has to face the fact that on the cylinder surface there is a great number of dust particles, scratches, pits from chips. Many cylinders are damaged by microorganisms. The presence of these distortions does not permit to reproduce a sound with high quality. Besides the pressure produced by a piezoelectric pickup causes the pressing-in dust particles into the cylinder layer what reduces the quality of sound reproduction at subsequent audition cycles. There were made attempts to develop noncontact methods of sound reproduction from phonograph cylinders including the optical ones³, but because of low reflection coefficient of the wax cylinder surface, strong contamination and nonuniformity of its surface it failed to develop till now a method of reading which is superior to the piezoelectric one as to the quality of produced signal.

In our Institute during a number of years were pursued investigations of optical methods of information recording as well as on cylindrical information carriers⁵.

Attempts made by us to develop a noncontact method of information reproduction from Edison cylinders were not also crowned with success.

A task for investigation consisted in the fact that there should be developed a method of sound reproduction from phonograph cylinder which would provide practically nondestructive reading and permit to obtain high-quality reproduction.

2. METHOD DESCRIPTION

One of the main distinctive features of a method developed and investigated by us is the fact that from the cylinder in digital form is picked up and entered into the computer a profile of the sound track which subsequently after appropriate processing converts into a sound. Such method has a number of advantages.

Firstly, the reading and recording of the sound track profile one can carry out at speeds smaller by a factor of 20-30 of those at which was carried out the sound recording. The reduction of cylinder rotating speed allows to solve a problem of considerable decreasing the dynamic load on the cylinder surface what has an enormous significance from the standpoint of its preservation. When decreasing the rotating speed of cylinder to 3-6 rotations per minute one can reduce the dynamic load of the reproduction system on the cylinder surface by a factor of 300-500 in comparison with a piezoelectric method.

Secondly, a method allows to improve significantly the quality of reproduction. A performed analysis of the sound reproduction process from Edison cylinders showed that one of the main noises is a noise arising at the contact of pickup stylus with dust particles and scratches.

The size of dust particles (3-10 μm) and the majority of scratches (5-10 μm) is much lesser of the sound wave print on the cylinder surface. At interaction between the stylus and dust particles and microcracks arises a noise interference having a wide spectral band and which is difficult to separate from a desired signal. In fig.1 is shown spectrum of phonograph signal and interference spectrum caused by dust particles and scratches of different size. For reducing a noise from dust particles, cracks and other obvious defects it is proposed the picked up profile of the sound track surface before its conversion into a sound to approximate by a smoother curve having excluded evident outliers bound up with dust, cracks etc. Schematically the principle of such approximation is shown in fig.2.

Thirdly, the computer processing and conversion of the track into a sound excludes the necessity for repeating the reproduction processes with the purpose of choosing the optimal rotating speed corresponding to that at which was performed the recording. This reduces significantly the probability of damage for cylinders at their reproduction.

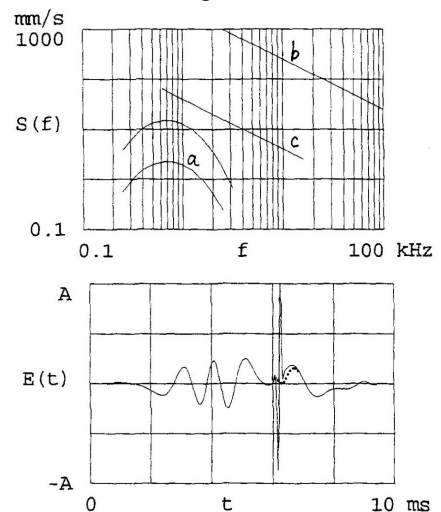


Fig. 1. The envelopes for velocities spectrum of a pickup stylus: (a) of desired sound signals at profile amplitude of 2-10 μm ; (b) of unsmoothed defects with a height from 0,1 to 25 μm ; (c) of defects with a height from 0,1 to 25 μm smoothed with a force of 0,4 n. The stylus rounding-off radius is 50

Fig. 2. A sound signal (profile derivative) disturbed by a defect- dust particle on the cylinder surface. The dotted line shows a signal cleared from noise interference.

As a system for pick up of the sound track profile was proposed, developed and investigated a combined optomechanical interferometric system constructed according to a classical scheme of Michelson interferometer. The sound track profile of the cylinder is monitored by an ellipse-shaped stylus. With the stylus is linked rigidly an optical element of the interferometer measuring arm, the movement of which corresponding to the sound track profile, is measured in steps of no more than $0,04 \mu\text{m}$ and is entered in a computer. For producing a sound there was made a computation for rate of the surface profile changing and its computer recording. By using a computer was programmed the reproduction speed corresponding to the rotating speed at recording. For the most of cylinders the precise rotating speed at which was carried the recording is unknown. The computer processing after the surface profile recording allows to choose an optimal reproduction speed with one passage of the phonograph pickup.

For providing the stability and precision of the interferometric measuring system in a developed installation for sound reproduction from Edison cylinders it was made stationary. The pick up of the sound track profile (scanning of cylinder) is carried out by means of synchronous rotation and axial movement of the cylinder relative to the stationary interferometric system.

3. DESCRIPTION OF THE SOUND REPRODUCTION INSTALLATION

In the sound reproduction installation by optomechanical method was used the following kinematic diagram: the phonograph cylinder rotates and moves in the radial direction on air bearings relative to the stationary pickup.

For reducing mechanical vibrations of the cylinder and optomechanical unit of information reproduction the reading device is located on the massive base which is moving on air supports and the frame of installation is placed on the foundation which is isolated from the building. The cylinder is fastened on the air-bearing spindle what provides minimal vibrations of the cylinder in the process of sound reproduction. The vibrations amplitude of the cylinder surface does not exceed $0,01 \mu\text{m}$ in the frequency range to 500 Hz. An air guide is also used in the system of mutual movement of the cylinder relative to the reading system.

The rotation of cylinder is carried out at constant speed about 6 rotations per minute. The longitudinal velocity of the cylinder movement is established by the control system according to criterion for the stabilization of pickup arm position relative to the mechanism of its fastening. At the interferometer output are placed three semiconductor photodetectors. The output currents of photodetectors are processed by using current-to-voltage converters. Further were used amplifiers and formers of signals, a pulse noise limiter and a band-pass filter.

An analog signal from the preamplifier at signal processing channel of the interferometric sensor is applied to the band-pass filter limiting its frequency band, thereby reducing the noise spectral density. A sound signal recorded on the cylinders is over the range of 300-500 Hz, the reading speed is smaller by a factor of 15-20 against the nominal one, starting from this the working filter band is chosen 10-330 Hz with a 12 dB/oct slope. Then a signal passes to the ADC which converts the signal amplitude with the given frequency of samples into coded numbers. They are digital sampled and quantized signals. The frequency of signal sampling is 4 KHz, the quantization is linear 16-digit. The data transferrate is $4000 \cdot 16 = 64$ Kbit/s. From the ADC a signal passes to a hard disk where it is stored in the form of a file for the further software processing. The digital signal is compressed in time by software to a level at which the reproducing signal with sampling frequency of 22050 KHz applied to the DAC and further to the amplifier loaded with acoustic systems would have the speed which is close to the initial recording speed on the cylinder. The file edited in such is stored again

for the subsequent software processing – frequency correction and preliminary clear from noises.

4. DESCRIPTION OF PROCESS FOR PROCESSING THE SURFACE PROFILE SIGNAL

The optical signals corresponding to the profile are formed in the interferometer at the expense of a mode of mixed waves, i.e. by the interference of beams reflected from a reflector, which is movable and bound up with the surface of cylinder and from a stationary reflector. The output currents of interferometer photodetectors can be described by expressions as follows:

$$I_1 = K_1 A [1 + m \sin(4\pi x / \lambda)], \quad I_2 = K_2 A [1 + m \cos(4\pi x / \lambda)], \quad I_3 = K_3 A,$$

where K_1, K_2, K_3 are gains, A – light intensity, m – reflection coefficient, $\lambda = 0,64 \mu\text{m}$ – wavelength of light. By amplification and preliminary processing are generated voltages:

$$U_1 = U \sin(4\pi x / \lambda), \quad U_2 = U \cos(4\pi x / \lambda),$$

where U is amplitude. Further is performed the calculation of $\arctg(U_1 / U_2)$ with extraction of signal proportional to movement. For 9 cylinders with high noise level it was enough to calculate on the basis of logic processing sign (U_1) and sign (U_2) at resolution of $\lambda/8 = 0.08 \mu\text{m}$. For producing a sound signal the rate of profile change is extracted. In this case is generated voltage proportional to frequency of polarity change U_1 and U_2 .

A more high quality of signals was obtained at analog calculation of $\arctg(U_1/U_2)$ ⁵ with subsequent differentiation. In this case the resolution does not exceed $0,01 \mu\text{m}$.

The suppression of pulse jammings arising at contact of stylus with a dust particle or with the edge of a newly made scratch is carried out by a method of amplitude-frequency selection⁶. The amplitude (rate) of jamming is limited at the level corresponding to the maximal rate of a desired signal for the given cylinder. In addition the jamming duration does not exceed the time of contact of such defects with a stylus. The low-frequency filtering (smoothing) after such limitation optimizes a signal-to-noise ratio at the expense of reducing the interference selection provides a relative jamming suppression:

$$D_{\text{out}} = D_{\text{in}} (U_s T_N) / (U_N T_s),$$

where D_{in} and D_{out} are signal-to-noise ratio at the input and output; T_N and T_s are jamming duration and minimal signal duration, U_N and U_s are jamming amplitude and maximal signal amplitude. The preliminary band-pass filtration of a signal is carried out in the limits of 200 Hz -5 KHz band. The frequency characteristic of filter is flat to the utmost, of the fourth order. Such filtration guarantees the absence of phase distortions and changes of signal shape.

Both higher filtration and correlation suppression of interference corresponding to features of a particular phonogram must be performed already after the apparatus pick up of signals at their secondary processing.

In the computer a sound signal passes to the analog-to-digital converter. The frequency of signal sampling is 4 KHz, the quantization is linear 16-digit. The transfer rate of such (slowed) signal is $4000 \cdot 16 = 64 \text{ Kbit/s}$. Then the coded signal passed to HD where it is stored in the form of a file for the further software processing. The digital signal is com-

pressed in time by software in so many times that the reproducing signal would have the rate close to the rate initial recording on the phonograph wax cylinder. The file edited in such way is stored again on the HD for final processing, frequency correction and clear from interference.

5. RESULTS OF EXPERIMENTS

We have created the experimental apparatus for reading of wax cylinders, in which the principles mentioned above were incorporated. We were convinced in high reliability of sound, especially from cylinders, not damaged by repeated mechanical reading. The heaviest problems concerned the struggle with external and own vibrations, selection of size of needle, as well as deduction of needle on sound track of cylinders with damaged surface.

6. CONCLUSION

An optomechanical method of sound reproduction from Edison cylinders providing:

- a) reduction of dynamic load on the phonograph track in comparison with a piezoelectric method of reproduction by a factor of 400-500;
- b) choice of optimal rate of sound reproduction at one-fold reading of a phonograph track;
- c) increase of reproduction quality at the expense of reducing the influence of contamination and scratches being on the cylinder surface is developed.

7. ACKNOWLEDGMENTS

The authors acknowledges all employees of the Institute of Information Recording Problems of NAS of Ukraine having taken part in developing and manufacturing the installation for cylinder reproduction, Director of the V.I.Vernadsky National Library, Corresponding Member of NASU A.S.Onishchenko, Deputy Director A.G.Brovkin, Deputy Director of the institute for Ethnography, Cand.Phil.Sci. Britsina A.Y. for cylinders given for investigation, Dr.D.Schuller Director of the Phonograph Archive of Austrian Academy of Science for discussion of proposed method of recording, the given materials on a method of piezoelectric reading and an opportunity of acquaintance with results obtained in his Institute.

8. REFERENCES

1. *Dietrich Schuller*, "The Ethics of Preservation, Restoration, and Re-issues of Historical Sound Recordings," *J.Audio Eng.Soc.*, vol.39, No.12, 1991, pp.1014- 1017.
2. *F. Lechleither*, "The Construction of Cylinder Replay Machines," *Archiving the Audio-Visual Heritage: A Joint Technical Symposium*, Berlin May 1987, pp.79-80.
3. *Hans Meulengracht-Madsen*, "On The Transcription of Old Phonograph Wax Records," *J.Audio Eng.Soc.*, 0 vol.24, No.1, 1976, pp.27-32.
4. *T. Asakura et al.*, "Reproduction of Sounds from Old Wax Phonographic Cylinders Using the Laser-beam Reflection Method," *Proc.of the IEEE-IECEJ-ASJ International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, April 1986, pp.493-6.
5. *V.V.Petrov, A.A.Kryuchin, A.P.Tokar*, "Optomechanical memory devices", (monograph), *Naykova dumka*, Kiev.
6. *I. P. Ryabokon*, "A device for calculation of vector argument", *Author's certificate of the USSR*, N 763917, 1980.
7. *M.V. Maksimov et al*, "Protection from ratio jammings", *Sovietskoye Radio, Moscow*, pp.382-390, 1976, (in Russian).

Optomechanical Method of Edison Cylinders Sound Reproduction

V. V. Petrov, O. S. Onishenko, A. A. Kryuchin,
S. M. Shanoylo, I. P. Riabokon

An Audio Engineering Society Preprint 4491 (M 4). Presented at 102nd Convention. 1997, March 22–25, Munich, Germany.

1. ABSTRACT

The paper describes a new method of sound reproduction from Edison cylinders using a laser interferometer. The cylinder is read by an ellipse-shape stylus rigidly linked to an optical element of the interferometer at a reduced (20-30 times) rotation speed. This way the dynamic load of the stylus and the wear of the cylinder surface are appreciably reduced. The signal from the interferometer is processed and reconverted to audio by PC sound system. The method improves sensibly the sound quality of the reproduction while preserving the cylinders. Key words: Edison cylinder, sound, surface profile, interferometer, speed.

2. INTRODUCTION

Historically developed by Edison method of recording on easy deformable material having the cylinder form was the first method of sound recording. Beginning from 1887 thousands of cylinders having brought us the sound culture worthless historical heritage had been recorded by this method. Vienna Phonogrammarchiv, the USA Library of the Congress and other research centers had worked hard to develop the methods of phonograph cylinders sound reproduction, the methodics of phonograms working out [1-4]. The scientists and specialists of these institutions made a great contribution to investigations and development of methods and equipment for cylinder reproduction, do an enormous work on rerecording and processing of information from cylinders in the interests of scientists, music fans, both domestic and in a lot of foreign countries. At present, the piezoelectric method [1,2] is the main method of phonograph cylinders sound reproduction.

In the process of phonograph cylinder sound reproduction one is to face the problem of dust particles, scratches, pits large amount on cylinder surface. A lot of cylinders are damaged by microorganisms, These distortion presence doesn't allow the high quality sound reproduction. Besides, the pressure produced by piezoelectric pick-up causes the dust particles pressing up into cylinder which reduces sound reproduction quality during further audition cycle. The efforts were made to work out the noncontact phonograph cylinders sound reproduction, optical [3] ones including, however, the reading method superior to piezoelectric one by produced signal quality wasn't developed because of wax cylinder surface low reflection coefficient, its surface strong contamination and (nonuniformity). Present work was initiated by appeal of UNESCO to NAS of Ukraine. Dr. D. Schuller, Director of Phonogrammarchiv of Austrian Academy of Sciences, helped us to start this investigation.

The investigation was aimed on the phonograph cylinder sound reproduction development providing practically non-destructive reading and allowing to obtain the high quality reproduction.

3. METHOD DESCRIPTION

One of the main characteristic features of the method developed and investigated by us is that the sound track profile is digitally picked-up from cylinder and entered into computer

and after appropriate processing it is converted into sound. Such method has a number of advantages. Firstly, sound track profile recording may be carried out at speeds 10-50 times lower than those of sound recording. The cylinder rotation speed reduction allows to solve the task of cylinder surface dynamic load considerable decrease which is very important from the point of view of its preservation. At cylinder rotation speed reduction to 3-6 revolutions per minute the reproduction system dynamic load on cylinder surface may be reduced 300- 500 times compared to piezoelectric method.

Secondly, the method allows to improve significantly the reproduction quality. Edison cylinders sound reproduction process analysis performed showed that one of the main noises is the noise arising at the pick-up stylus contact with dust particles and scratches. The size of dust particles (3-10) μ and majority of scratches (5-10) μ is much more lesser than the sound wave print on cylinder surface. At stylus interaction with dust particles and microcracks the noise interferences arises having wide spectral range and hardly isolated of desired signal. In Fig.1 is shown a spectrum of phonograph signal and interference spectrum caused by dust particles and scratches of different size. To reduce the noise produced by dust particles, cracks and other obvious defects the sound track surface picked up profile was proposed to approximate by smoother curve before its conversion into sound excluding evident blow-outs contacted with dust, cracks, etc.

Thirdly, the computer processing and track profile conversion into sound exclude the necessity to repeat the reproduction processes aimed on the optimal rotation speed selection which would correspond to that of record performance. This significantly reduces the cylinders damage probability during their reproduction. Combined optomechanical interferometric system build up according to Michelson interferometer classical scheme was proposed, developed and investigated as sound track profile pick-up system. At the development of Edison phonograph cylinders interferential sound reproduction equipment the optical storage manufacturing experience was used [5-8], of superprecise aerostatics guides, interferential sensors in particular.

The cylinder sound track is monitored by ellipse-shape stylus. The interferometer measuring arm optical element is linked rigidly with stylus and movement of the former corresponding to the sound track profile is measured with discreteness no more than 0,01 μ and is entered into computer. To produce a sound the surface profile measuring speed computation and its computer recording was carried out. The reproduction speed corresponding to recording rotation speed was programmed by computer. For majority of cylinders the precise rotation speed at which the recording was carried out is unknown. Computer processing made after surface profile recording allowed to select the optimal reproduction speed with one sound pick-up passage. To provide the interferometer measuring system stability and precision in developed equipment for Edison cylinders sound reproduction it was made stationary sound track profile pickup (cylinder scanning) is carried out by cylinder synchronous rotations and axial movement relative to stationary interferometric system.

4. DESCRIPTION OF THE SOUND REPRODUCTION EQUIPMENT

In equipment for sound reproduction by optomechanical method the following kinematics diagram was used: phonograph cylinder rotates and moves in radial direction on aerostatics bearings relative to stationary sound pick-up. To reduce mechanical vibrations of cylinder and information reproduction optomechanical unit the reading device is mounted on the massive base located on air supports and equipment frame itself is placed on foundation isolated from the building body. The cylinder is fastened on the aerostatics spindle and this provides minimal cylinder vibrations during sound reproduction. The cylinder surface vibration amplitude doesn't exceed 0,01 R in frequency range up to 1000 Hz. An aerostatics

guide is also used in the system of cylinder movement relative to reading system. Cylinder rotation has constant speed 4 or 6 rotations per minute. At equipment development in which the cylinder rotates with constant speed special attention was paid to provision of rotation speed stability. The DC motor was used with electronic system of rotation speed stabilization with accuracy no lower than 0,01%. Cylinder movement longitudinal velocity is established by control system by tonarm position stabilization criterion relative to mechanism of its fastening. The sound track profile is picked up by ellipse-shaped stylus linked with interferometer movable prism. Pressure on stylus is set no more than 0,5 g. At the development of interferometer special attention was paid to movable prism mass reduction.

Three semiconductor photodetectors are placed at the interferometer output. The photodetectors output currents are processed with current-to-voltage converters. Further, sound signal amplifiers and formers, pulse noise limiter and band-pass filter were used. An analog signal is applied from interferometer sensor signal processing channel preamplifier to the band-pass filter limiting its frequency band thus reducing the noise spectral density. Sound signal recorded on cylinders is within 300-8000 Hz range, reading speed is 20-30 times lower than nominal one, hence the filter working band was chosen to be 10-500 Hz with 12 dB/oct slope. Than signal passes to the ADC which converts the signal amplitude with given reading frequency into coded numbers. They present digital signals, discrete in time and in their value. Signal sampling frequency is 4 KHz, the quantization is 16-digit linear. Data transfer rate was 64 Kbyt/s. From ADC signal enters a hard disk where it is stored in form of a file for further software processing. The digital signal is compressed in time by software to a level at which the reproduced signal with 22050 Hz sampling frequency applied to DAC and further to amplifier loaded with acoustic systems would have speed close to the initial cylinder recording speed. The file thus edited is stored again for the subsequent software processing-frequency correction and preliminary noises clearing.

5. DESCRIPTION OF SURFACE PROFILE SIGNAL PROCESSING

The corresponding to profile optical signals are formed in interferometer at the expense of mixed waves mode, i.e. by beams interference reflected from movable connected with cylinder surface and from stationary reflectors. The interferometer photodetectors output currents can be described by the following expressions:

$$I_1 = K_1[1 + R \sin(4\pi x / \lambda)], \quad I_2 = K_2[1 + R \cos(4\pi x / \lambda)], \quad I_3 = K_3 A,$$

where K_1, K_2, K_3 are transmission coefficients, A is light intensity, R is reflection coefficient, $\lambda = 0,64 \mu$ – light wave length. Amplification and preliminary processing result in the following voltages:

$$U_1 = U \sin(4\pi x / \lambda), \quad U_2 = U \cos(4\pi x / \lambda),$$

where U is amplitude. Further the $\arctg(U_1/U_2)$ calculation is performed with extraction of signal proportional to movement. For cylinders with high noise level the calculation on the base of sign (U_1) and sign (U_2) logic processing with $\lambda/8 = 0,08\mu$ resolution. To produce a sound signal the profile change rate is extracted. To do this voltage is generated proportional to U_1 and U_2 polarity change frequency. More high signals quality was obtained at analogous $\arctg(U_1/U_2)$ calculation [9] with subsequent differentiation, In this case the resolution doesn't exceed $0,01 \mu$.

Suppression of pulse interference arising at stylus contact with dust particle or with newly made scratch edge is carried out with amplitude /frequency selection method [10]. The

interference amplitude (rate) is limited at the level corresponding to maximum rate of given cylinder desired signal. Meanwhile the interference duration doesn't exceed such defects contact time with stylus. After such limitation the lowfrequency filtering (smoothing) optimizes the signal-to-noise ratio at the expense of the interference amplitude reduction. Amplitude/frequency selection provides the relative interference suppression:

$$D_{out} = D_{in} \frac{U_s \cdot T_j}{U_j \cdot T_s}$$

where D_{in} and D_{out} are signal-to-noise ratio at the input and output, T_j and T_s are interference duration and minimal signal duration, U_j and U_s are interference amplitude and maximal signal amplitude. Preliminary signal band pass filtration is carried out within 200 Hz-15 KHz band. Filter frequency characteristics is maximally flat, of the fourth order. Such filtration guarantees the phase distortions absence and signal changes. More deep filtration in line with interference correlational suppression corresponding to the particular phonogram peculiarities are to be performed just after the apparatus signal pick-up during their secondary processing.

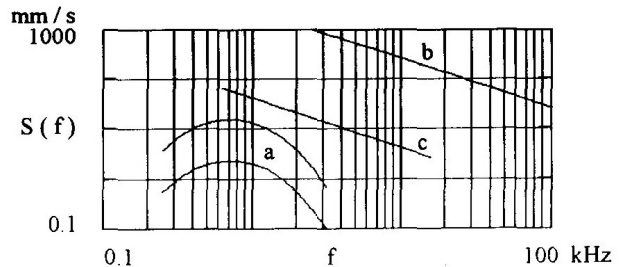
In computer the sound signal enters the analog-to-digital converter. The signal sampling frequency is 4 KHz, the quantization is linear 16-digit. The transfer rate of such (slowed) signal is 64 Kbit/s. Then the coded signal enters HD where it is stored in file form for the further software processing. Digital signal is compressed in time by software as many times as the reproduced signal having the rate close to that of the phonograph wax cylinder initial recording. Thus edited file is again stored on HD for the final processing, frequency correction and for interference clearing.

The produced and registered signal is linearly (by constant coefficient) connected with the sound track profile slope. By this such signal differs from the signal read by traditional method when in its forming the dynamic and non-linear phenomena occurring in piezoelectric sound pick-up take part. We think that such link between signal and profile provides better opportunities of audiograms processing on extradition and suppression of interferences being the results of dust particles, scratches and other defects present on cylinder surface. To confirm the discrepancy in signals read by different methods have studied instrumental audiograms of the same fragment read by piezoelectric and optomechanical methods. At quite similar subjective perception of these fragments optomechanical method has the significantly more profile working out and absence of compression characteristic for dynamic reproduction with piezo-sound pick-up.

Fig. 1. The envelopes for velocities spectrum of pickup stylus:

- a) of desired sound signals at profile amplitude of 2-10 μ ;
- b) of unsmoothed defects with a height from 0.1 to 25 μ ;
- c) of defects with a height from 0.1 to 25 μ smoothed with a force of 0.4 N.

Stylus rounding off radius is 50 μ .



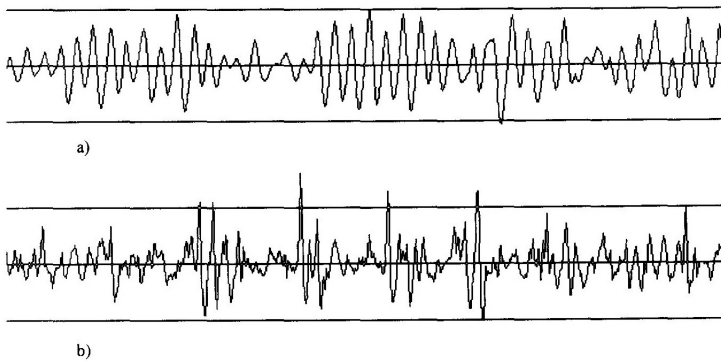


Fig. 2. Instrumental audiograms obtained by interferometrical method at various masses of movable pickup (the pressure on the surface of cylinder is constant):

- a) mass \approx 28 g;
- b) mass \approx 6 g.

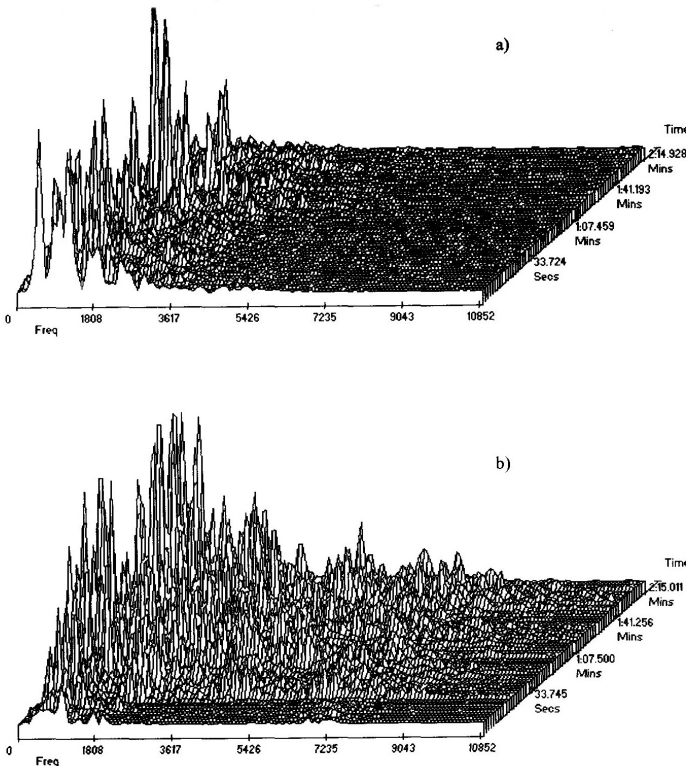


Fig. 3. Spectra of signals reproduce from various phonograph cylinders:

- a) cylinder from ethnographic expedition in Ukraine (1907 year);
- b) cylinder with the recording made at professional studio (1912 year).

6. EXPERIMENTAL RESULTS

The phonograph cylinder sound reproduction process researches were carried out with balanced movable measuring units having various mass. Meanwhile the pressure D_n cylinder was preserved unchanged and was 0,5g. Reduction of movable part mass D_n which the angular reflector connected with stylus was mounted, from 28g to 6g, allowed to wid-

en the range of reproduced frequencies approximately from (5-6) KHz to (12-16) KHz. Fig 2 shows the sound signals reproduced from one phonograph cylinder at various masses of sound pick-up movable part. At sound pick-up movable part mass 5g the further reduction of rotation speed 50-60 times comparing to speed at which the cylinder was recorded didn't result in the band expansion of frequencies reproduced from cylinder. That's why to reproduce the cylinders the speed was selected at which the reading time was 40 min. At such cylinder rotation speed and sound pick-up movable part mass the spectra of sound signals reproduced from cylinders were investigated.

Depending on sound reproduction condition and sound character the sound signals differ strongly (Figs.3a,b). Fig.3a shows signals spectra from cylinder recorded during ethno-

graphical expedition in Ukraine in 1907. Sounding quality is low, high frequencies are completely absent in sound signal spectrum. Spectrum of signals read from cylinder recorded at professional studio is shown in Fig.3b. The equipment developed allows to reproduce the vibrations within frequency range up to (15-16) KHz which significantly exceeds the spectrum of frequencies recorded on phonograph cylinder.

The additional researches on learning the disturbing factors (scratches, dust particles, etc.) influence on information reproduction process.

7. CONCLUSION

An optomechanical method of sound reproduction from Edison cylinders providing:

- a) reduction of dynamic load on phonograph track 400-500 times compared to piezoelectric reproduction method,
- b) sound reproduction optimal rate choice at one-fold phonograph track reading,
- c) reproduction quality increase at the expense of cylinder surface contamination and scratches influence reduction was developed.

8. ACKNOWLEDGMENTS

Authors acknowledge all the employees of the Institute for Information Recording of NAS of Ukraine, in particular, to V.O.Ataev for reproduction channel development, G.S.Terida, O.K.Vojtenko for tonarm development, V.N.Zenin for cylinder rotation system development, S.A.Kecko, I.O.Djachkova, D.O.Popov for interferential sensor development, V.D.Kovtun, O.A.Zelinsky for reading head radial movement drive development, O.Y.Morozovsky, S.L.Vdovichenko for monitoring system development, O.N.Fedorjak, V.N.Zabolotny for ellipse-shaped stylus manufacturing, I.V.Kosyak, M.Y. Kolesnikov for sound computer processing system development, to L.V.Muha, A.G.Brovkin, L.A.Dubrovina Vernadsky National Labrary of Ukraine employees, O.G.Kostyuk, O.Y.Britsina, AN Dovzhenok employees of Rylsky Institute of Arts, Folklorists and Ethnology of NAS of Ukraine for cylinders given for research, to Dr.D.Schuller, Director of Phonogrammarchiv of Austrian Academy of Sciences, for proposed recording method discussion, for given cylinders, materials on piezoelectric reading method and for possibility to learn the results got at his Institute.

REFERENCES

1. D.Schuller, "The Ethics of Preservation, Restoration and Re-Issues of Historical Sound Recordings", *J.Audio Eng.Soc.*, Vol.39, No.12, pp.1014-1017, 1991.
2. F.Lehleithner, "The construction of Cylinder Replay Machines", *Archiving the Audio-Visual Heritage : Joint Technical Symposium*, Berlin, pp 79-80, May 1987.
3. H.Meulengracht-Madsen, "On the Transcription of Old Phonograph Wax Records", *J.Audio Eng.Soc.*, Vo1.24, No.1, pp.27-32, 1976.
4. T.Asakura et al., "Reproduction of Sounds from Old Wax Phonographic Cylinders Using the Laser-beam Reflection Method", *Proc.of the IEEE-IECEJ-ASJ International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, pp.493-496, April 1986.
5. V.V.Petrov, A.A.Kryuchin, A.P.Tokar, S.M.Shanoilo, *Optomechanical Storage Device*, Naukova Dumka, Kiev, 1992.
6. V.V.Petrov, A.P.Tokar, "Density of Information Recording in Optical Storage Device", *Dopovidy Academy of Sciences of Ukraine, Section A*, No.9, pp.835-838, 1973.
7. V.V.Petrov, et al.: *Optical Storage Device*. Pat. USA No.4811327. Int.CL G1187/00.
8. V.V.Petrov, S.M.Shanoilo, "The Optical Immersion Recording of Computer Information", *Experimentelle Technik der Physik*, Vo1.38, No.5/6, pp.487-490, 1990.
9. I.P.Ryabokon, *Device for Determining the Vector Argument*, USSR Author's Certificate No.763917, 1980.
10. M.V.Maximov et al., *Protection from Radio Interference*, Sovetskoye Radio, Moscow, 1976.

Materials of ethnographic expeditions in Ukraine multimedia publication

V. V. Petrov, O. S. Onyschenko, S. M. Shanoylo,
A. A. Kryuchin, M. Y. Kolesnikov, L. V. Sholohova

Conference Proceedings EVA Europe '99 Berlin. Electronic Imaging & the Visual Arts. The 6th EVA Berlin is the main European event in 1999 of the worldwide EVA series.

Results of ethnographic expeditions of the first half of the 20th century are presented on the heterogeneous carriers: phonograph cylinders, music records, travel records, photos. Their investigation allows to get the vast information about the culture, traditions of the certain population groups living in the given region. For the broad circle of researches the access to these materials is connected with practical and technical difficulties: the unique equipment for sound reproduction is needed, a lot of manuscripts are made by pencil and they are easily damaged during repeated usage. Publication of heterogeneous records in multimedia way on CDs has an importance for their storage and including in the scientific turnover. Results of number of ethnographic expeditions in Ukraine materials publication in multimedia way are presented in the report.

1. BRIEF DESCRIPTION OF COLLECTION MATERIALS

At Vernadsky National Library of Ukraine is stored one of the worldwide largest collection of Jewish musical folklore. This collection has an enormous value. Its materials generalize the work of several generations of talented researchers - folklore experts on studying Jewish musical culture of Ukraine and (in a lesser degree) Belarus - regions of considerable Jewish Diaspora with traditionally powerful centres of religious and spiritual life. Presently, this collection is a unique, the only one of its kind culture monument which shows so completely in alive sounding not only various palette of Jewish secular folklore but the richest tradition of synagogal singing as well.

The collection base make folklore expeditions materials of Petersburg Jewish Historic-Ethnographic Society in 1912-1914. The idea of expeditions carrying out belonged to S. An-sky famous Jewish writer and ethnography expert and G. Gintzburg sponsor and baron financed it.

S.An-sky's colleagues in expeditions were Y. Engel music expert and composer, S. Kisselhof folklore expert, S.Yudovin artist and others.

In 1912-1913 the members of expedition visited Wolyn, Podillya and Kyiv region. They managed to record on phonograph an enormous, as to scale of that time, quantity of examples for traditional Jewish music in different genres: wordless chants (nigunim), instrumental pieces, songs, fragments of synagogal liturgies (hasanut), Jewish folklore theatrical plays (purimshpils).

After 1917 Cabinet of Musical Folklore attached to Institute of Jewish Culture in Kyiv ethnographic section continued traditions of Jewish folklore and ethnography experts whose work was interrupted by the I World War and the revolution. There was created their own independent phonograph archive attached to Cabinet and M. Beregovsky famous Jewish scientist and folklore expert stood at its source. Thanks to his efforts expeditionary works of Cabinet became planned, fixing and decoding of expeditions materials reached high scien-

tific level. Within eyeshot of M. Beregovsky and his colleagues were both large centres of Jewish culture in Ukraine (Kyiv, Odessa) and separate characteristic seats of Jewish life in Podillya and Wolyn, west regions of Ukraine (Galychina) and Jewish agriculture colonies of the south of Ukraine (Kherson region, the Crimea).

The huge value of collection consists in safety of music and textual decodings to phonograph records, scientific comments. During the ethnographic expeditions a great quantity of photos was made. Enormous intellectual value of this collection was not discovered until our days. Collection studying, including its materials in the scientific turnover is complicated by the fact that its materials are presented on heterogeneous carriers and access to them is limited.

2. DEFINITION OF THE RESEARCH PROBLEM

The only way for physical preservation of information stored on the phonograph cylinders, in paper records and on photos is its digital rerecording onto modern carriers. The defects of phonograph cylinders (namely, difficulty with replication of recorded information, low reliability of recorded information storage because of cylinders mechanical fragility and their surface deformation while readout) were obvious including their creators as well. First attempts of information rerecording from phonograph cylinders began with appearance of gramophone records simultaneously.

During the last 25 years there were developed over 20 systems (piezoelectric and magneto-electric) for qualitative sound reproduction from Edison phonograph cylinders. The database created by Christer Hamp (<http://home5.swipnet.se/~W-56154/phonol>) contains fairly detailed information on the last years projects. The problem of developers of sound reproduction systems from phonograph cylinders consists in development of nondestructive systems of high-quality sound reproduction. This problem solving is complicated by the fact that most phonograph cylinders were already repeatedly reproduced by traditional methods based on gradual deformation of recorded relief. Therefore comparison of various methods used for sound reproduction can be incorrect after a long interval of time.

Optical methods whose noncontacting insures a full preservation and inviolability of recorded information have great potential resources in regard to nondestructive sound reproduction. However, development of methods of sound reproduction from phonograph cylinders is connected with great difficulties which don't enable to obtain qualitative sound due to high noise level connected with optical irregularity of phonograph cylinders surface [1].

We consider the best results can give combination of mechanical and optical methods in which cylinder surface profile is sounded by the elliptical stylus whose shape is close to one of sound recording and size of stylus movement is determined by the optical methods.

Many records in the handwritten part of the collection are made by pencil that also doesn't ensure their long safety: the records gradually die out. The ordinary reprint doesn't enable to save all records nuances. At present, the most suitable way of records preservation is the digital text scan method.

Presentation of phonograms, music records made by the collection collectors themselves and travel records on the same carrier will allow not only to preserve the materials of ethnographic expeditions but to include them in the scientific turnover and to open them for researchers of different countries being interested in this problem as well.

3. THE OBTAINED RESULTS

On the first stage we carried out the works on sound rerecording from phonograph cylinders [2].

Process of rerecording from phonograph cylinders onto CDs includes 3 main stages:

- digital pickup and sound track profile storage;
- computer processing of the profile signal;
- creation of CD image and information recording onto CD.

Direct works with phonograph cylinders are carried out on the first stage only. By means of slow rotation and axis supply of the cylinder its unrolling is executed. Meanwhile the sound track profile is traced by stylus of special elliptical shape to which optical element of the measuring interferometer arm is stiffly connected. The oscillations of the optical element correspond with the sound track profile, they are measured with an accuracy of 0,04mm and are recorded in the computer.

For sound reproduction the derivative velocity of sound track profile measurement is calculated. This transformed interferential signal supplied at discretization frequency of 4KHz is converted into sampling frequency of 22 kHz and all further signal computer processing is carried out at this discretization frequency.

The first stage of signal processing is the choice of optimum speed for sound reproduction achieved by changing of sampling step while its constant frequency.

Next signal operating step is the removal of pulsed hindrances and broadband noise caused by the cracks, scratches and other cylinder surface damages while its storage.

The program processing is used for pulsed hindrances (crackling, snubs) removal. Its algorithm is based on nonlinear detector reacting to the speed of signal level change.

Broadband noise is being removed by the program whose operative algorithm is based on the following operations. The spectrum of signal fragment readout from the cylinder in the free of useful signal place is measured programmly on the basis of discrete Fourier transformation. The signal is passed through this filter and the noise component of the signal is weakened.

Thus three forms of reproduced phonogrammes are prepared:

- instrumental sound;
- sound with removed impulse hindrances;
- sound with depressed broadband noise.

Then the CD image is created of these sound files in the computer by the standard methods and information is rerecorded from computer onto CD on the suitable equipment.

In association with employees of Vernadsky National Library of Ukraine we had completely rerecorded the collection of Jewish music folklore. Altogether over 1000 cylinders are rerecorded. Instrumental sound was rerecorded onto CDs after the primary processing included the choice of optimum speed for sound reproduction, removal of defects related to separate sound track damages. The total length of processed material sounding forms about 50 hours.

Parallel with sound reproduction from Edison phonograph cylinders and its rerecording onto CDs we conducted the works on Beregovsky collection catalogue working out. When appeal to the interested cylinder besides its detailed description the researcher can listen to the music composition recorded on the cylinder, get acquainted with originals of the music records. The additional information is available for some cylinders: the enlarged information on performers, on the place of phonogramms recording. Besides textual files this additional information includes video information as well (the converted photos and sketches made during the ethnographic expeditions). The presentation disk contains information on 30 cylinders.

Full information on complete collection will be published in multimedia way during the upcoming year. The collection is expected to include several (10-12) genre CDs.

4. ACKNOWLEDGMENTS

The authors of the present paper acknowledges employees of the Institute for Information Recording of the National Academy of Sciences of Ukraine for help in phonograph cylinders rerecording, textual and graphic scanning of the materials as well as employees of the Vernadsky National Library of Ukraine for preparation of catalogue materials and textual information drawing up. 5

5. REFERENCES

1. *Asakura T. Et al.* Reproduction of sound from old wax phonographic cylinders using the laser-beam reflection method // Proc. Of the IEEE-IECEJ-ASJ International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. April 1986. P.493-496.
2. *Petrov V.V., Onyschenko O.S., Kryuchin A.A., Shanoylo S.M., Ryabokon I.P.* Optomechanical method of Edison cylinders sound reproduction // Proc. 102nd AES Convevtion - Munich:1997. March 22-25. An Audio Eng. Soc. Preprint4491 (M4).
3. *Petrov V.V., Kryuchin A.A., Shanoylo S.M. et al.* Optomechanical method of sound reproduction from Edison cylinders// Proc. SPIE. 1997. V. 3055. P.218-224.

Збереження та введення до наукового обігу звукової культурної спадщини

В. В. Петров, О. С. Онищенко, А. А. Крючин,
С. М. Шанойло, І. В. Косяк

Міжнародна наукова конференція «Національна архівна спадщина: проблеми збереження», 1-4 листопада 1999, Київ. Опубл. в «Студії з архівної справи та документознавства». 2000. Т. 6. С. 25-27.

Приведено описание оптико-механического цифрового неразрушающего воспроизведения звука с фонографических цилиндров Эдисона. Определены преимущества разработанной системы перед традиционными пьезоэлектрическими, магнитоэлектрическими системами, а также чисто оптическими. Приведены результаты экспериментальных исследований воспроизведения звука с фонографических цилиндров.

Інформація, записана на фонографічних циліндрах Едісона, має велику культурну та історичну цінність. Впродовж майже півстоліття фонограф Едісона залишався чи не єдиним засобом запису звуку. Порівняно невеликі габарити фонографів дозволяли проводити записи в численних етнографічних експедиціях у різних куточках світу. В Україні вчені-етнографи користувалися фонографами для запису звуку з початку ХХ ст. і до кінця 40-х рр. На фонографічних циліндрах зберігаються записи голосів діячів науки і культури, народних митців цілої епохи. В музеях світу зберігаються десятки тисяч оригінальних воскових циліндрів та їх копій. В Європі найбільші колекції фонографічних циліндрів (та їх копій) зібрані в Берлінському і Віденському фонографічних архівах. В Україні унікальні колекції зберігаються в Національній бібліотеці України ім. В. І. Вернадського, Інституті етнографії і фольклористики ім. М. Т. Рильського Національної академії наук України, в культурних установах і наукових інститутах Львова, а також в приватних колекціях.

М'яка поверхня фонографічних циліндрів, що легко деформується під дією тиску, дозволила досить якісно записати звук гострою голкою (з половою частот до 7–9 кГц), але ця властивість фонографічних циліндрів не дозволяє здійснювати багаторазове відтворення інформації без погіршення її якості. Крім того, треба враховувати, що поверхня фонографічних циліндрів вражається мікроорганізмами, які псують записану у вигляді мікрорельєфу звукову інформацію, досить крихкі циліндри легко б'ються, що призводить до повного знищення інформації.

Єдиний шлях введення до наукового обігу інформації, записаної на фонографічних циліндрах, полягає у здійсненні перезапису звуку з них на сучасні носії інформації. Такі спроби почалися водночас з появою перших платівок і робились чисто механічними засобами: деформації поверхні циліндру переносилися на поверхню платівки за допомогою досить складної механічної системи.

За останні двадцять років було розроблено понад двадцять систем (п'єзоелектричних і магнітоелектричних) для якісного відтворення звуку з фонографічних циліндрів Едісона. Досить детальна інформація про розробки останніх років наведена в базі даних, створеній Christer Hamp (<http://home.5.swipnet.se/~W-56154/phonol>). Завдання розробників сучасних систем відтворення звуку з фонографічних циліндрів полягає в розробленні неруйнівних систем високоякісного відтворення звуку. Виконання цього завдання ускладнюється тим, що більшість фонографічних циліндрів вже неодноразо-

во відтворювалася традиційними методами, в основу яких покладено поступове деформування записаного рельєфу. Тому порівняння різних методів, що застосовувались для відтворення звуку, через тривалий проміжок часу може бути некоректним.

Великі потенційні можливості щодо неруйнівного відтворення звуку з фонографічних циліндрів мають оптичні методи, безконтактність яких забезпечує повне збереження і недоторканість записаної інформації. Однак розроблення оптичних методів відтворення звуку з фонографічних циліндрів пов'язане з великими труднощами, які не дозволяють отримати якісний звук завдяки високому рівню шумів, пов'язаних з оптичною неоднорідністю поверхні фонографічних циліндрів [1].

На наш погляд, найкращі результати може дати поєднання механічних та оптичних методів, в яких профіль поверхні циліндра зондується еліптичною голкою, близькою за формою до тієї, якою здійснювався запис, а величина пересувань голки визначається оптичними методами.

ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ НЕРУЙНІВНОГО ВІДТВОРЕННЯ ЗВУКУ

Розробляючи систему відтворення звуку з фонографічних циліндрів, необхідно вирішити головне завдання: високоякісне відтворення звуку без щонайменшого пошкодження інформаційної поверхні циліндра. В запропонованій нами системі^{2,3} ця проблема вирішується двома шляхами:

- коливання голки системи відтворення звуку не використовується для безпосереднього отримання звуку, а вимірюється з високою точністю (~0,04 мкм) інтерферометричними методами, тобто вимірюється амплітуда профілю звукової доріжки. Статичне навантаження на голку при цьому зменшено в декілька разів порівняно з навантаженням, яке застосовується в системах п'єзоелектричного та електродинамічного зчитування;

- зменшення динамічного навантаження на поверхню звукової доріжки досягнуто за рахунок зниження швидкості обертання фонографічного циліндра в 25–30 разів. Це дозволяє зменшити динамічне навантаження на поверхню в 100–200 разів.

Висока якість відтворення фонограм досягнута завдяки високій точності оптичних інтерферометричних датчиків та новій технології комп'ютерного оброблення сигналів. Використання комп'ютерного оброблення сигналів виключає необхідність повторення процесів відтворення з метою вибору оптимальної швидкості обертання циліндру, що відповідала б тій, на якій було зроблено запис звуку. Це також значно зменшує імовірність пошкодження циліндрів під час їх відтворення.

Визначені принципи побудови системи відтворення звуку з фонографічних циліндрів були реалізовані в спеціально розробленому устаткуванні. Для зменшення впливу механічних вібрацій на рух голки в процесі зчитування оптико-механічний блок установки розміщений на аеростатичних амортизаторах, які, в свою чергу, розташовані на спеціальному фундаменті, відокремленому від каркаса корпусу. Обертання фонографічного циліндра здійснюється на аеростатичному шпинделі спеціальною системою з оптичним датчиком контролю швидкості, який забезпечує утримання визначеної швидкості з точністю 0,01 %. Пересування фонографічного циліндра відносно звукознімача також здійснюється на аеростатичній направляючій.

ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕЗАПИСУ ВОСКОВИХ ЦИЛІНДРІВ

Процес перезапису з фонографічних циліндрів на компакт-диск складається з трьох основних етапів:

- цифрове зняття та запам'ятовування профілю звукової доріжки;

- комп'ютерне оброблення сигналу профілю;
- створення образу компакт-диска та запис інформації на компакт-диск.

Робота безпосередньо з фонографічним циліндром здійснюється тільки на першому етапі. Шляхом повільного обертання при осьовій подачі циліндру виконується його розгортка. Профіль звукової доріжки при цьому відслідковується з допомогою голки спеціальної еліптичної форми, з якою жорстко зв'язаний оптичний елемент вимірювального плеча інтерферометра. Коливання оптичного елемента відповідає профілю звукової доріжки, вимірюється з дискретністю 0,04 мм і заноситься до комп'ютера.

Для отримання звуку виконується обчислення похідної швидкості вимірювання профілю звукової доріжки. Цей перетворений інтерференційний сигнал, що поступає з частотою дискретизації 4 кГц, конвертується до частоти вибірки 22 кГц, і все подальше комп'ютерне оброблення сигналу здійснюється саме з цією частотою дискретизації.

Першим етапом оброблення сигналу є вибір оптимальної швидкості відтворення звуку, що досягається шляхом зміни кроку вибірки за незмінної її частоти.

Наступним кроком в обробленні сигналу є усунення імпульсних завад та широкополосних шумів, які викликані тріщинами, подряпинами та іншими пошкодженнями поверхні циліндра під час його зберігання.

Для усунення імпульсних завад (щиглі, тріск тощо) використовується програмне оброблення, в основу алгоритму якого покладено нелінійний детектор, що реагує на швидкість зміни рівня сигналу. Регулюючи програмно рівень порогу детектування сигналів похідних напруг, досягаємо оптимального відновлення сигналу від імпульсної завади.

Широкополосний шум усувається програмою, алгоритм роботи якої базується на наступному. Програмно на базі дискретного перетворення Фур'є вимірюється спектр фрагмента сигналу, прочитаного з циліндра в тому місці, де немає корисного сигналу. За обвідною спектра розраховується особливий цифровий фільтр, через який пропускають сигнал і ослаблюють шумову складову сигналу.

Таким чином отримується три види відтворених фонограм:

- інструментальний звук;
- звук з усуненими імпульсними завадами;
- звук з задавленим широкополосним шумом.

Далі з цих звукових файлів за стандартними методиками в комп'ютері створюється образ компактдиска, і інформація на відповідному обладнанні з комп'ютера переписується на компакт-диск.

ПРАКТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ

На створеному обладнанні в 1996–1999 рр. виконувався перезапис колекцій фонографічних циліндрів, які зберігаються в наукових установах Києва.

Разом з працівниками Інституту мистецтвознавства, фольклористики та етнології ім. М. Т. Рильського НАН України переписана частина колекції (більш 100 циліндрів) українського фольклору, створені страхові копії на компакт-дисках.

Спільно із працівниками Національної бібліотеки України ім. В. І. Вернадського повністю переписана колекція єврейського музичного фольклору. Всього переписано понад 1000 циліндрів. Після первинного цифрового оброблення, яке включає в себе вибір оптимальної швидкості відтворення звуку, усунення дефектів, пов'язаних з пошкодженням окремих звукових доріжок, інструментальний звук був записаний на

компакт-диски. Загальна тривалість звучання обробленого матеріалу складає близько 50 годин.

ВИСНОВКИ

1. Єдиним засобом збереження інформації, яка записана на фонографічних циліндрах, та введення її до наукового обігу є перезапис її в цифровій формі на сучасні носії інформації.

2. Запропоновано і реалізовано новий неруйнівний метод, який дозволяє здійснювати перезапис інформації в цифровій формі з фонографічних циліндрів Едісона.

3. Найбільш доцільно доповнювати фонограми, відтворені з циліндрів Едісона, графічною, текстовою та відеоінформацією про авторів і виконавців записів, а також про місця, в яких ці записи зроблені.

Автори висловлюють щире подяку працівникам Інституту проблем реєстрації інформації НАН України, які брали участь в розробленні системи відтворення звуку з фонографічних циліндрів Едісона.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Asakura T. et al.* Reproduction of sounds from old wax phonographic cylinders using the laser-beam reflection method // Proc. of the IEEE-IECEJ-ASJ International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. 1986. P. 493–496.
2. *Petrov V. V., Onyshchenko O. S., Kryuchin A. A., Shanoylo S. M., Ryabokon I. P.* Optomechanical method of Edison cylinders sound reproduction // Proc 102 nd AES Convention. Munich: 1997. March 22–25. An Audio Eng. Soc. Preprint 4491 (M4).
3. *Petrov V.V., Kryuchin A.A., Shanoylo S.M. et al.* Optomechanical method of sound reproduction from Edison cylinders // Proc. SPIE. 1997. V. 3055. P. 218–224.

Reading and processing of audio information reproduced from Edison phonograph cylinders by method of laser interferometry

S. Shanoylo, I. Kosyak, V. Petrov, A. Kryuchin

Proc. SPIE Vol. 4402, Laser Techniques and Systems in Art Conservation, Renzo Salimbeni; Ed. 10/2001. P.194–201.

The types of distortions present in audio signals reproduced from Edison phonograph cylinders are considered and classified. An effective approach and algorithm for processing of obtained audio information is proposed. It is shown that the use of a sound signal with frequency range up to 20 KHz at processing has two obvious advantages. The first one allowed to retain higher harmonics of a sound signal which are not perceived directly by ear, but have a positive influence on the formation of a common sound picture. The second one - in this signal it is more convenient to remove pulse interference (clicks, crackling), since the pulse fronts are steeper and the probability of their detection is increased.

Keywords: wax cylinder, laser interferometer, phonograph.

INTRODUCTION

Audio information reproduced from Edison phonograph cylinders is characterized by a high noise level and distortions of a desired signal. The nature of these noise and distortions is bound up with processes of original information recording on wax cylinders, damage of cylinders surface during long-term storage, information reproduction on modern devices.

The most of phonograph cylinders are recorded outside the studio on portable phonographs, the driving mechanisms of which were far from perfection and that's why they had elevated irregularity of rotation speed and increased eccentricity. These deviations of a driving mechanism were transmitted directly to a cylinder and caused spurious frequency modulation of a desired signal. Such distortions of a signal are perceived by ear as sound flutter and splitting. The rotatable details of a driving mechanism caused additionally low-frequency interference which by adding together with a desired signal at moment of recording also caused signal distortion.

Besides the imperfection of the system of transformation of sound pressure into mechanical vibrations of phonograph recording stylus caused a relatively low signal-to-noise ratio. The multiple sound reproduction on phonographs, mechanical damage of surface, sticking of dust, damage of wax cylinders surface by microorganisms during long-term storage causes considerable increase of a noise level. The greatest danger for information surface of a cylinder are microorganisms and multiple reading on the phonograph at high pressure of a stylus on the cylinder surface¹.

In the process of information reproduction on the modern devices besides the above listed problems there is one more – a pickup, which is the first link in a set of devices for reproduction of sound information being stored in the form of mechanical vibrations of the cylinder groove. The pickup is an additional source of static distortions. In pickups used in modern devices for reproduction of sound information from phonograph cylinders, in the practice because of incorrect set-up of pressing force the vertical angle of reproducing stylus vibrations and the stylus movement plane do not coincide with the angle and the plane of the

recording stylus movement. Because of this error in the output signal arise even harmonics. Therefore it is an intricate problem to reproduce adequately a signal from the phonograph cylinder. Such forms of distortions as signal loss, crackling noise, speed different from the “standard” one, random noise to edit by analog methods of processing is practically impossible.

The sound distortions, which present in a signal read from the phonograph cylinder, one can divide in two groups: the local ones and the global ones. To local signal deteriorations acting short time relate different pulse interference – clicks, crackling and amplitude limitation. The global signal deteriorations change the whole sound material of the cylinder and are present continuously during reproduction. They include broad-band noise, low-frequency noise (roar), flutter and nonlinear distortions.

As a result of analyzing causes, which distort the quality of a reproduced signal, the existing equipment and principles of reproduction, at the Institute for Information Recording of the NAS of Ukraine was proposed and realized a principally new method of high-quality sound reproduction from Edison phonograph cylinders². There was proposed to use a laser interferometer system as a pickup and the sound reproduction to carry out at decreased cylinder rotation speed (0.2 rps instead of 2-4 rps). The block diagram of an interferometric device of sound reproduction from phonograph cylinders is shown in fig.1.

The information track profile coming from the processing

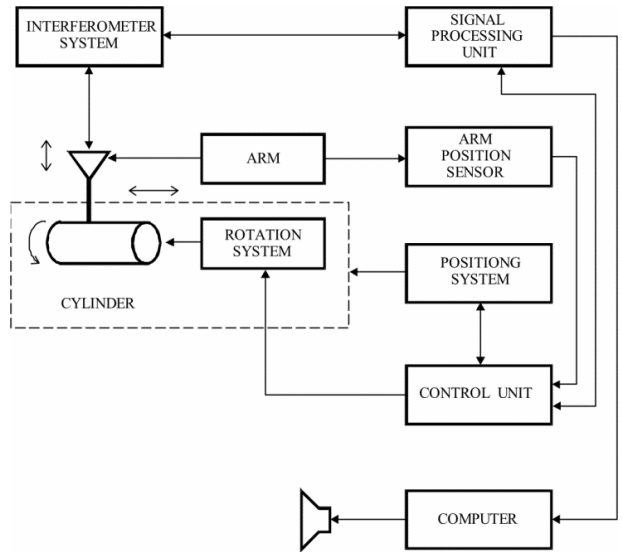


Fig. 1. The block diagram of an interferometric device of sound reproduction from phonograph cylinders

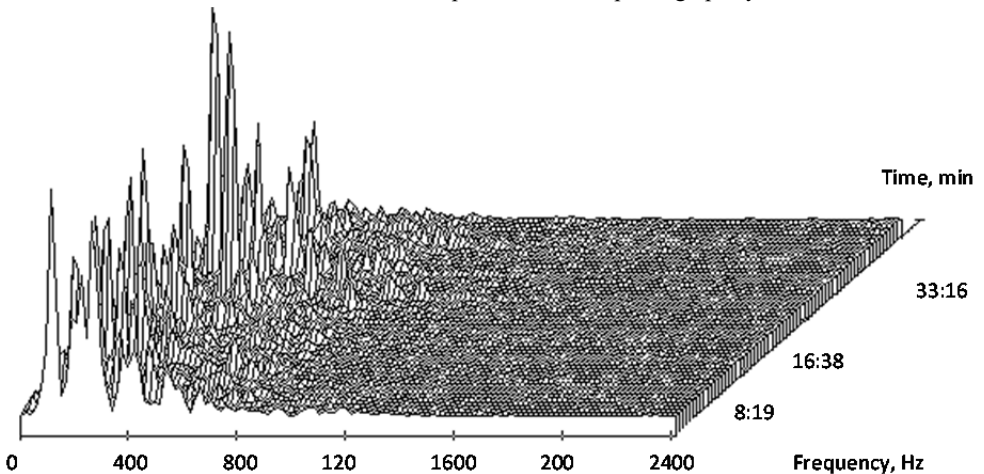


Fig. 2. The spectrum of an input signal read from phonograph cylinder (example)

channel of interferometric sensor is digitized by an analog-to-digital converter at discretization frequency of 8 KHz and quantization level of 16 bits and enters the computer for subsequent processing. In fig. 2 is shown an example of the input signal spectrum read from the cylinder. The conversions in the frequency region were performed 60 times all over the recording interval what allowed to observe a signal simultaneously in three dimensions – time, frequency and amplitude.

The further signal processing is performed in several stages. At first a signal is converted to the sampling frequency of 48 KHz and the optimal reproduction speed is selected by changing the sampling pitch at unaltered sampling frequency.

Then are carried out operations of “cementing together” a signal at the sites of breakage bound up with mechanical damages of sound tracks. The given system, in spite of the fact that the amplitude-frequency characteristic of useful sound information recorded on the phonograph cylinder is within the limits of 160 Hz - 5 KHz³, allows to reproduce signals with frequencies up to 20 KHz.

As was noted above the archival material turns out very often subject to damages of different types. The distortions caused by cylinder damages is very difficult and many of them impossible to eliminate by analog methods of signal processing. By appearing of high-capacity PCs it became possible to perform computations of complex mathematical algorithms as applied to sound processing.

THE DIGITAL PROCESSING OF PHONOGRAMS

The sound distortions present in the phonogram for achieving the best quality of clearing is necessary first of all to classify and divide as to duration and frequency. The analysis of phonograms reproduced from cylinders showed that in the overwhelming majority are present the most characteristic interference of four types:

- short pulse interference (clicks);
- low-frequency pulse interference (crackling);
- low-frequency noise (roar);
- broad-band surface noise.

Each interference type has its characteristic features and for their processing are used different algorithms. The substantial effect on the quality of phonogram clearing has the sequence, in which are suppressed different interference types. For example, when firstly is used a program for eliminating surface noise, crackling and clicks will be processed as well and as a consequence in this case can be formed side unmusical effects, can be decreased the steepness magnitude of the pulse interference in a signal what during subsequent processing will make difficult its detection. Therefore in the process of regeneration and reconstruction of a signal the digital processing of records performed on phonograph cylinders must be carried out in such sequence:

- removal of short pulse interference (clicks);
- removal of low-frequency pulse interference (crackling in a signal);
- filtration of low-frequency noise – roar;
- suppression of broad-band surface noise.

Pulses in the form of short-time clicks are eliminated by a program, in which algorithm as a basis is assumed a nonlinear filter, monitoring the speed of signal variation. The main parameter of nonlinear filter tuning, which in general has an effect on the process of signal reconstruction, is a threshold of detecting the magnitude of derivative level of an investigated signal. At sufficiently low threshold level the degree of clearing is the highest one, but in this case can arise false operations, which cause distortions of a signal on the areas with a high signal attack. On the other hand, when a relative high threshold level is set, the low by

amplitude pulses can be not detected. Experience of working with phonograms has shown that for each particular sound material of phonograph cylinders is required individual filter tuning. By method of approximations it is necessary to tune such a threshold level, at which the detected pulse interference is rubbed down and the next signal samplings are smoothed. In fig.3 are shown a signal fragment, in which is present pulse interference – clicks, they are visible in the form of vertical narrow stripes (the upper diagram and in the lower diagram is presented the same signal fragment but already with eliminated pulse distortions. In fig.4 is presented a fragment enlarged in scale of the preceding figure where is seen distinctly the effect of interpolation of adjacent areas divided by pulse interference.

The described method is effective at removing pulse interference, the duration of which does not exceed the maximal length of the interference detection region, which corresponds to the characteristic of pulse disturbances. For phonograph cylinders the size of this region of interference detection and regeneration does not exceed a hundred of digital counts (samplings) of a signal or not more than 2 milliseconds at discretization frequency of 48 KHz.

For regeneration of a signal from clicks and other pulse interference with a large low-frequency component, the duration of which can make up tens of milliseconds, is used a rather different algorithm of detection and regeneration. From all types of pulse interference the most difficult to remove is just crackling and its derivatives. Therefore at their removal are used more complex computer algorithms. Crackling from solitary clicks (short pulse interference) distinguishes that it is present in a signal with higher density and low amplitude. If pulse interference appear occasionally, they are audible as crackling. If they appear at reproduction regularly and very frequently, in a signal additionally appears low-frequency interference which is audible like buzzing. In this case they are correlated with a desired signal what causes some more additional distortions of an original signal. For detecting such interference it is necessary to use the analysis of samplings by the whole array of digital counts, so-called window. When interference is detected, a signal is regenerated within the limits of the whole window. The number of counts determining the size of window is a

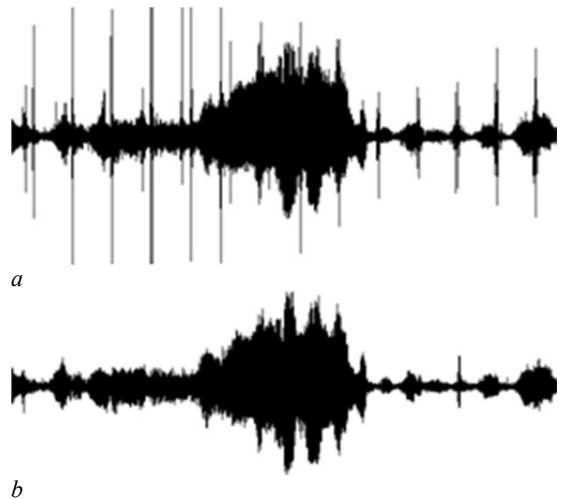


Figure 3. Signal fragments with pulse interference: a – before its elimination; b – after its elimination

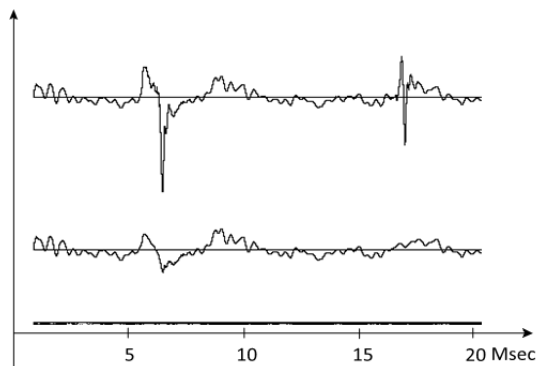


Fig. 4. Enlarged fragment of a signal with pulse interference

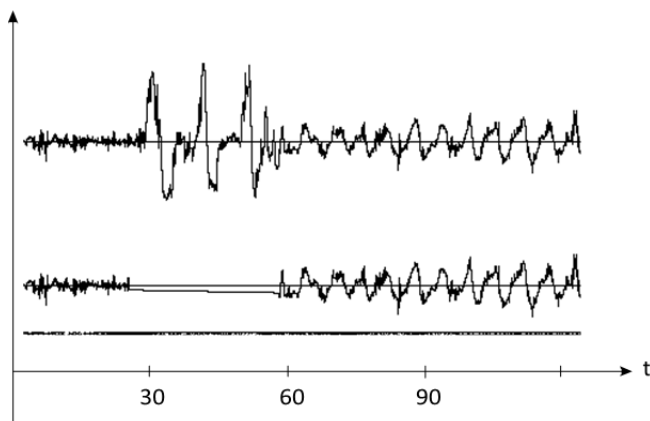


Fig. 5. The regeneration of a signal from the damaged area by the method of linear interpolation

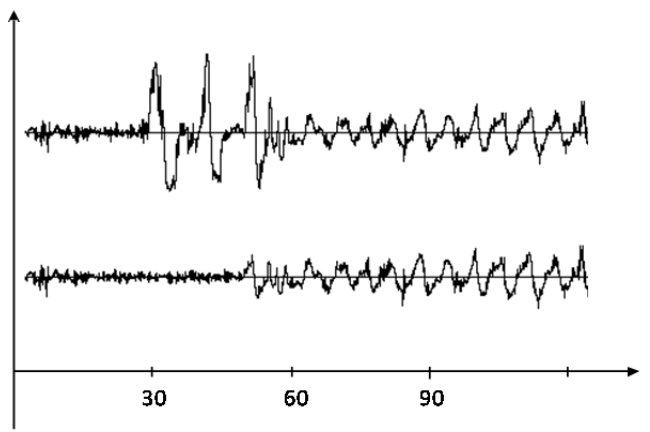


Fig. 6. The substitution of pulse interference by adjacent fragments of a sound signal

The detected pulse interference is replaced by adjacent fragments of a sound signal (fig.6).

If a great number of signal failures (e.g. cracks) is detected in succession, their substitution can cause an undesired effect – reverberation. As a rule on one phonograph cylinder there are mechanical damages in the form of scratches and cracks of different depth and duration, which distort an original signal strongly. By processing such phonograms is required additional time for analyzing and correct initial settings of parameters in the program and sometimes quite different approaches at signal regeneration.

For suppression of the low-frequency noise-roar in a signal is used the digital filtration. The satisfactory results are obtained by using a high-frequency filter of the third order and higher one with cutoff frequency of 100-200 Hz.

The final stage in processing and regeneration of a signal is the removal of broad-band surface noise. The broad-band noise is one of the most common types of sound signal distortions. Because of irregular lay-out over the cylinder surface of damages from microorganisms and dust on the same phonograph cylinder the noise can exhibit various “colouring” (different spectral characteristics). The constant noise background (hiss) present in the

control parameter and is between the limits 64 and 2048, what at discretization frequency equal to 48 KHz corresponds to the period of time from 1.3 to 42 milliseconds. With increase of window width one can obtain potentially better results. However in this case can often arise undesirable distortions at low frequencies reminding of crash. There are two modes of regeneration – linear interpolation and substitution. In fig.5 is given an example of regeneration of a damaged area by using linear interpolation.

This algorithm is to be applied when the pulse interference has a duration not more than units of milliseconds, otherwise “splitting” of a signal becomes audible. The second mode of regeneration – substitution, is based on the methods of signal simulation. By analyzing a signal in the form of digital counts array limited by the window size is constructed a model of a signal.

sound material is suppressed by program systems constructed on the principle of noise suppression, which is widely used in the analog magnetic recording equipment. Noise is removed at all frequencies below the certain set sound threshold. The efficiency of such phonograph cylinders processing will be achieved only in the case when noise characteristics of a signal would be unchanged in time. For obtaining better results it is recommended to analyze noise content and to adapt noise suppression for sound material characteristics. The applied noise suppression system operates by means of the analysis and the repeated synthesis. By performing the frequency analysis by using fast Fourier transform (FFT) is constructed a noise model, which is a spectral curve of relationship (so-called profile) extracted on the sound material area containing only noise (a desired signal is absent). The main parameter by constructing the profile is a number of samplings in the window of analysis and a number of discrete frequency bands (within the limits of 1024-16384), in which is determined individually the noise level. In fig.7 is shown the construction of spectrum of an investigated signal in the frequency range of 0-22 KHz divided into 2048 discrete bands. After performing the frequency analysis is constructed the profile envelope by 1024 points around 2048 discrete bands (fig.8).

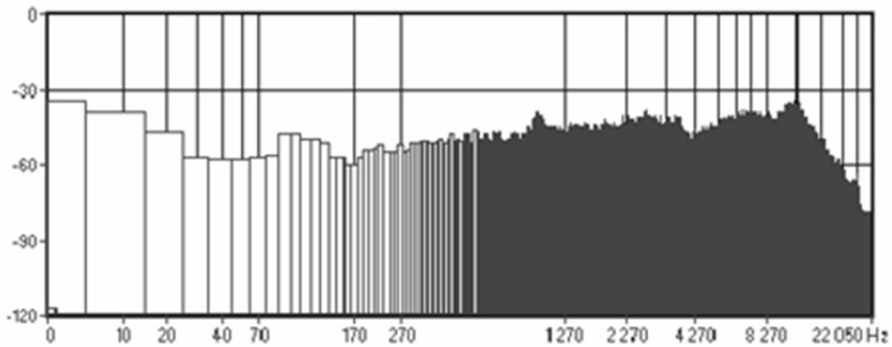


Fig. 7. The spectrum of an investigated signal in the frequency range of 0-22 KHz

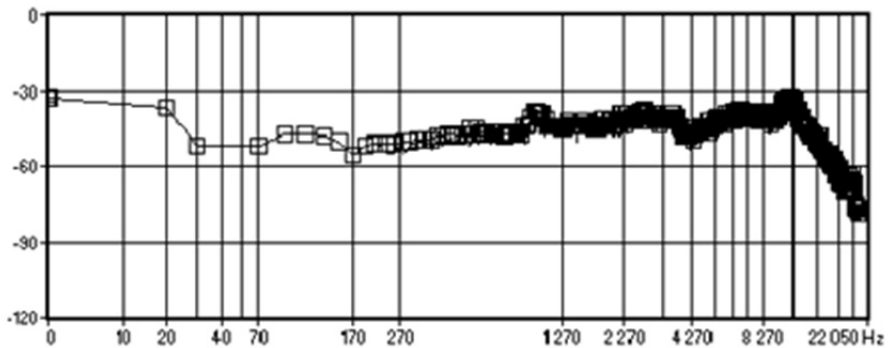


Fig. 8. The envelope of the sound signal profile

RESULTS

An effective approach and algorithm for processing of obtained audio information reproduced from Edison phonograph cylinders is proposed.

An analog signal from the processing channel of an interferometric sensor over a limiting filter entered an analog-to-digital converter which is controlled by computer and was digitized with discretization frequency of 8 KHz and quantization level of 16 bits. Initially the volume of information read from one cylinder is equal to 10-20 MB and more. The digital processing of a signal by using computer technologies allows to perform on a signal the following transformations: conversion of the original signal to the sampling frequency of 48 KHz, choice of the optimal reproduction speed (taking into account the fact that it was reduced by a factor of 5-20 during reading), suppression of broad-band noise, removal of pulse interference, editing of recording areas having losses of a signal, formation of optimal amplitude-frequency characteristic, data transformation for recording on CDs in the CD-Audio format.

Despite the fact that the amplitude-frequency characteristic of useful sound information recorded on the phonograph cylinder does not exceed 6 KHz our reading system allows to extend this range up to 20 KHz without artificial adjustment of frequencies elevation owing to the application of an interferometric sensor fixed on a soft suspension, sensitive to an absolute value of the amplitude recorded on the cylinder and having the resolution of 0.01 μm .

The performed analysis of noise suppression in sound information of more than 800 cylinders showed distinctions in processing of speech signals (vocal execution) and instrumental music. The best results in processing of speech signals are achieved at minimal number values of discrete bands of 1024-2048. By processing instrumental music the value of this parameter must be increased. An important parameter of controlling the given process is a level of noise suppression. The more is suppressed noise, the more disappears originality of the sound material, appear harmonic and phase signal distortions causing artificial sounding. Therefore choosing the suppression level is to be carried out rather carefully. In fig.9 is shown an example of noise suppression on the fragment of sound material. In the upper diagram of a figure is shown a fragment with "much noise", in the lower one – the same fragment but with noise suppression by -20 dB. Depending on original sound material and requirements to signal processing one can obtain quite different results as to a degree of regeneration.

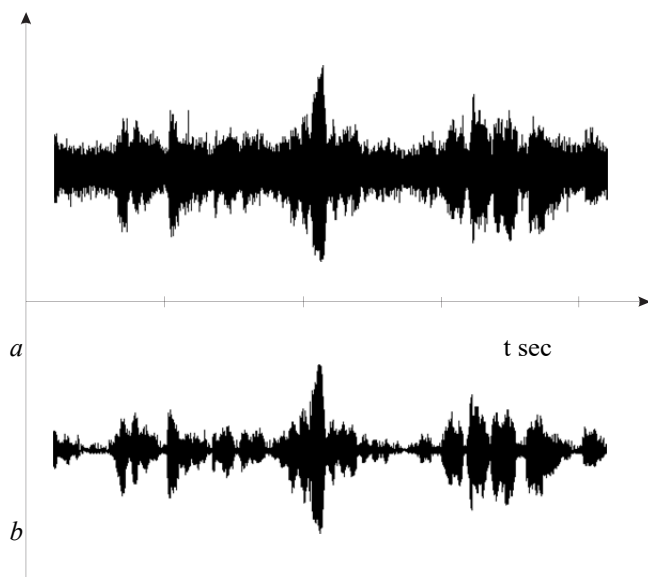


Fig. 9. The fragment of an audio signal:
a – without noise suppression;
b – with noise suppression by -20 dB

CONCLUSION

The use of a sound signal with frequency range up to 20 KHz at processing has two obvious advantages. The first one allowed to retain higher harmonics of a sound signal which are not perceived directly by ear, but have a positive influence on the formation of a common sound picture. The second one - in this signal it is more convenient to remove pulse interference (clicks, crackling), since the pulse fronts are steeper and the probability of their detection is increased. It is important to note that according to information theory the mixing of two random signals causes the loss of information and its perfect regeneration is impossible.

Sound information perceived by us depends not only on that what we hear but also on that with what we hear. In other words it is necessary to take into account properties of the ear, its extreme subjectivity. Therefore at signal processing it is necessary to watch that a level of decreasing noise and pulse interference would not affect subjectively perceivable sound quality.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to the employees of the Institute for Information Recording of the NAS of Ukraine and Vernadsky National Library of Ukraine for fruitful cooperation in development of equipment, reproduction and processing of Beregovsky collection of wax cylinders.

REFERENCES

1. *Novikova G., Skobec I.* About storaging of Edison phonograph cylinders (in Vernadsky National Library of Ukraine). *Bibliotechniy visnyk*. 1996. No. 6. P. 10-12 (in Ukrainian).
2. *Petrov V.V., Onyshchenko O.S., Kryuchin A.A. et al.* Optomechanical method of Edison cylinders sound reproduction. Proc.102 nd AES Convention. – Munich (Germany). 1997. March 22-25. – An Audio Eng. Soc. Preprint 4491 (M4).
3. *Lueder H.* Zur Statistik der Intensitatsverteilung im Spectrum naturlicher Klangbilder. *Siem.* 1930, 9; 2: 167-226.

Сохранение и введение в научный оборот раритетных музыкальных коллекций

В. В. Петров, А. А. Крючин, С. М. Шанойло,
И. В. Косяк, Л. И. Егупова

Культурное наследие для всех: новые технологии в музеях, галереях, библиотеках, архивах. Материалы конференции EVA2001: Москва: Центр ПИК Минкультуры РФ и Гос. Третьяков. галерея, 2001. С. 971–973.

Перезапись в цифровой форме на современные компьютерные носители информации аудиозаписей, хранящихся на восковых цилиндрах Эдисона, является единственным способом их сохранения и предоставления возможности их анализа и обработки. Технология перезаписи должна обеспечить как полный перенос информации, так и сохранение аудиозаписей на восковых цилиндрах. Разработанный интерферометрический оптико-механический метод обеспечивает высококачественное неразрушающее воспроизведение звука с фонографических цилиндров. Форма представления инструментального сигнала, представляющего собой запись профиля звуковой дорожки, позволяет эффективно осуществлять обработку (в первую очередь очистку от шумов) воспроизведенных сигналов. Представлены результаты воспроизведения звука с фонографических цилиндров из различных коллекций. Издание аудиозаписей, воспроизведенных с фонографических цилиндров, целесообразно осуществлять в мультимедийном представлении, давая наиболее полную информацию об исполнителях и месте проведения записей.

Ключевые слова: фонографический цилиндр Эдисона, фонограф, звуковая дорожка, фонограмма.

Записывать звуки человечество научилось сравнительно недавно. В 1857 г. англичанин Леон Скотт создал устройство «фоноавтограф», регистрирующее акустические колебания, которое позволяло записывать звук, но не воспроизводило. Сделать запись и воспроизвести звук удалось только известному американскому изобретателю Томасу Эдисону в 1877 году, благодаря изобретенному им прибору, названному фонографом. Принцип его действия был прежним. Акустические колебания оказывали давление на мембрану и связанная с ней пишущая игла выдавливала на вращающемся валике канавку переменной глубины. При проигрывании же валика воспроизводящая игла, двигаясь по записанной канавке, повторяла все колебания пишущей, заставляя вибрировать мембрану. Так получался звук.

Первый фонограф был весьма несовершенным, однако, благодаря усовершенствованиям Т. Эдисона и других известных ученых того времени, стало возможным применение фонографа в различных областях науки, искусства и в быту. Фонограф быстро распространился по всему миру и использовался для записи и воспроизведения звука приблизительно до 1930 года и наконец был вытеснен граммофоном и грампластинками.

В течение 60 лет на фоноваликах (фоноцилиндрах) были произведены многочисленные записи фольклорной музыки и песен, записаны выступления выдающихся деятелей культуры. Эти записи являются неотъемлемой частью культурного наследия многих народов мира.

Во многих библиотеках и архивах мира сохранились различные по объему коллекции фонографических валиков Эдисона, а именно: Американском Фольклорном центре Библиотеки Конгресса (одно из самых больших собраний); Берлинском Фоноархиве (Германия); Национальном звуковом архиве Британской библиотеки; Венском фонограммархиве (Австрия); Центральном государственном архиве звукозаписи; Музее музыкальной культуры им. М. Глинки, Политехническом музее, Музее Л. Н. Толстого (все г. Москва, Россия); Фоноархиве института русской литературы Российской Академии наук (Пушкинский Дом), Музее связи (оба Санкт-Петербург).

В Украине также хранятся уникальные коллекции на фонографических цилиндрах: в Национальной библиотеке Украины им. В.И.Вернадского – коллекция еврейского музыкального фольклора М.Береговского, в Институте искусствоведения, фольклористики и этнологии им. М. Рыльского – коллекция украинского фольклора первой половины XX столетия. Несколько тысяч цилиндров хранится в библиотеках, музеях и у частных коллекционеров Львова, Ужгорода, Черновцов и др. городов западного региона Украины.

Однако время не пощадило первые несовершенные носители информации. Они дошли до нас в плохом состоянии и безвозвратно теряются, так как процесс разрушения и старения, составляющий в среднем 3–5 % в год, продолжается. Характерными повреждениями фонографических валиков Эдисона являются механические, физико-химические, вызванные сложными, необратимыми процессами химического старения восковых валиков. Они обусловлены сроком хранения, композиционными и технологическими особенностями воска, а также возникают при эксплуатации, архивной работе и хранении [1]. Хотя воспроизведение звука с таких старых восковых валиков и может быть осуществлено при помощи фонографа Эдисона, однако этот способ обычно вызывает серьезные повреждения звуковых канавок на валиках, что обусловлено давлением тяжелой иглы, а полученный таким образом звук имеет низкое качество из-за шумов и искажений.

Уже несколько десятков лет информацию с фонографических валиков Эдисона пытаются перенести на современные носители информации. Учёными и специалистами многих стран, таких, как США, Австрия, Германия, Япония, Швеция и др., была проделана огромная работа по решению проблемы качественного воспроизведения звука с валиков Эдисона [2, 3].

Хорошо исследованные и развитые методы и оборудование для воспроизведения грамзаписей (электродинамический, пьезоэлектрический и т.п.) достаточно «жесткие» для такого специфического материала, как композиционный воск, из которого изготовлены фоновалики. Попытки создания системы бесконтактного оптического воспроизведения также не увенчались успехом, в основном, из-за неоднородности отражающей поверхности звуковой дорожки валика. Полученный при этом сигнал очень зашумлен помехами и добиться качественного воспроизведения звука весьма затруднительно [4].

Аудиоинформация, воспроизведенная с фонографических цилиндров Эдисона, характеризуется высоким уровнем шумов и искажениями полученного сигнала. Природа этих шумов и искажений связана с процессами первоначальной записи информации на восковые цилиндры, воспроизведения информации на современных устройствах и повреждениями поверхности цилиндров при длительном хранении.

Работы по перезаписи валиков Эдисона в Институте проблем регистрации информации НАН Украины были начаты в январе 1996 года по просьбе ЮНЕСКО и Международного музыкального совета, а также лично, лорда Егуди Минухина, известного музыканта прошлого века, с целью сохранения уникальной коллекции еврейской

музыки М.Береговского, хранящейся в Национальной библиотеке Украины им. В.И. Вернадского (г. Киев).

В результате анализа причин, искажающих качество воспроизведенных с фонографических цилиндров сигналов, существующей аппаратуры и принципов воспроизведения, в Институте проблем регистрации информации НАН Украины был предложен и реализован принципиально новый метод высококачественного воспроизведения звука с фонографических цилиндров Эдисона. Предложенный цифровой оптико-механический метод с интерферометрической схемой измерения позволяет обеспечить физическую сохранность восковых цилиндров и получить высококачественное воспроизведение звука, сведя до минимума перечисленные выше недостатки.

Одна из главных характерных особенностей разработанного и исследованного метода состоит в том, что профиль звуковой дорожки в цифровой форме снимается с цилиндра и вводится в компьютер и после соответствующей обработки преобразуется в звук. Такой метод имеет ряд преимуществ. Во-первых, регистрация профиля звуковой дорожки может быть выполнена со скоростью в 10–50 раз ниже, чем первоначальная скорость записи звука. Значительное уменьшение скорости вращения цилиндра позволяет решить задачу резкого уменьшения динамической нагрузки на поверхности цилиндра, что является очень важным с точки зрения его сохранения. При уменьшении скорости вращения цилиндра до 3–6 оборотов в минуту динамическая нагрузка на поверхность цилиндра в системе воспроизведения может быть уменьшена в 300–500 раз, по сравнению с пьезоэлектрическим методом [5].

Во-вторых, метод позволяет значительно улучшить качество воспроизведения звука. Анализ процесса воспроизведения звука с цилиндров Эдисона показал, что один из главных шумов – шум, возникающий при контакте иглы звукоснимателя с частицами пыли и царапинами. Размер пылинок (3–10) мкм и большинства царапин (5–10) мкм намного меньше длины отпечатка, соответствующего высокочастотным составляющим звукового сигнала, (действительно, при линейной скорости движения иглы по фоноцилиндру 0,5 м/с частоте 5 кГц соответствует продольное углубление длиной примерно $(80 \div 100)$ мкм). При взаимодействии иглы с пылинками и микротрещинами при традиционных методах считывания возникает импульсная шумовая помеха, имеющая широкий спектральный диапазон и трудно отделимая от полезного сигнала. Чтобы уменьшать шум, произведенный пылинками, трещинами и другими явными дефектами, предлагается профиль, снятый от поверхности звуковой дорожки, до преобразованием его в звук, аппроксимировать более гладкой кривой, исключая явные выбросы, связанные с пылью, трещинами и т.д.

В-третьих, компьютерная обработка и преобразование профиля дорожки в звук исключают необходимость повторения процессов воспроизведения с целью выбора оптимальной скорости вращения, соответствующей той, на которой была выполнена запись. Это значительно уменьшает вероятность повреждения цилиндров при воспроизведении. В качестве системы съема профиля звуковой дорожки была предложена, разработана и исследована комбинированная оптико-механическая интерферометрическая система, построенная по классической схеме интерферометра Майкельсона. При разработке установок интерференционного воспроизведения звука с фонографических цилиндров Эдисона был использован опыт по созданию оптических запоминающих устройств, в частности конструирования сверхточных аэростатических направляющих, интерференционных датчиков. Профиль звуковой дорожки цилиндра отслеживается при помощи специального зонда эллиптической формы. С зондом жестко связан оптический элемент измерительного плеча интерферометра, перемещение которого, соответствующее профилю звуковой дорожки, измеряется с дискретностью

около 0,1 мкм и заносится в ЭВМ. Точная скорость вращения, при которой производилась запись для большинства цилиндров неизвестна (0,3; 0,5 и даже 0,1 м/сек). При помощи компьютера оптимизируется скорость воспроизведения и выбирается скорость, соответствующая скорости вращения при записи. Компьютерная обработка после записи профиля поверхности позволяет выбрать оптимальную скорость воспроизведения при одном проходе звукоснимателя. С целью обеспечения стабильности и точности интерферометрической измерительной системы в разработанной установке для воспроизведения звука с цилиндров Эдисона она выполнена неподвижной. Съем профиля звуковой дорожки (сканирование цилиндра) осуществляется посредством синхронных вращений (система вращения) и осевого перемещения цилиндра относительно неподвижной интерферометрической системы (система позиционирования). Для минимизации внешних вибраций и шумов разработанная установка, имеющая массу около 3 тонн, оснащена системой пневматических и резиновых амортизаторов и смонтирована на фундаменте массой 120 тонн. Привода вращения и линейного перемещения выполнены на аэростатических опорах, что позволило избежать шума подшипников.

Как уже упоминалось ранее, звук, воспроизведенный с фонографических цилиндров Эдисона, характеризуется высоким уровнем шумов и искажениями полученного сигнала. Поэтому были разработаны методы обработки считанных фонограмм. Обработка фонограмм происходит в 2 этапа: предварительная обработка и аппроксимация аналоговыми методами и цифровая обработка путем применения сложных математических алгоритмов.

Техническая реализация предложенного метода, цифровая обработка фонограмм позволяют получить высококачественный сигнал с фонографических валиков Эдисона, не разрушая поверхности валика.

Для введения в научный оборот и обеспечения открытого доступа широкого круга исследователей, музыкантов, историков и других к раритетным музыкальным коллекциям, кроме их перезаписи необходимо также предоставить всю относящуюся к коллекциям информацию. Издание аудиозаписей, воспроизведенных с фонографических цилиндров целесообразно осуществлять в мультимедийном представлении, давая наиболее полную информацию о времени и месте записи.

Как известно, источниками этой информации служат как сами валики, так и полевые записи, переписка, опубликованные и неопубликованные рукописи и консультации с различными специалистами.

Первичным источником информации является, конечно, сам валик. На валиках могут быть вырезаны собственные имена собирателей, даты записи и другие, определяющие отметки.

Контейнер валика тоже используется при документировании коллекции. Собиратели надписывали этикетки от руки на внешней стороне коробки или делали надписи на изогнутой их поверхности, или вкладывали листочки с информацией внутрь контейнеров.

Вторичный источник информации – любой письменный материал, относящийся к коллекции (библиографии, интервью, копии переводов, текстов, фотографии тех мест, где происходили экспедиции, карты, сообщения из газет, отрывки из дневников современников). Самым ценным источником являются архивы, описывающие коллекции.

Исходя из вышеизложенного следует, что воспроизведенные аудиозаписи вызовут наибольший интерес, если будут представлены следующим образом:

- запись сигнала, воспроизведенного с фоновалика;
- запись очищенного сигнала;

– весь письменный, графический и любой другой материал, относящийся к времени записи, со списками справочных номеров, снабженных перекрестными связями.

В настоящее время, используя принципиально новый цифровой оптико-механический метод и аппаратуру неразрушающего воспроизведения звука, закончены работы по перезаписи с фонографических цилиндров Эдисона на цифровые носители «Исторической коллекции еврейской музыки М. Береговского», хранящейся в Национальной библиотеке Украины им. В. И. Вернадского.

Коллекция состоит из 1200 восковых цилиндров и содержит более 2000 фонограмм, собранных в первой половине XX ст. (1912-1947 гг.) на территории Украины и (в меньшей степени) Белоруссии. Записи производились в украинских и белорусских городках и местечках с традиционно многочисленным еврейским населением. Собрание имеет огромную историческую и культурологическую ценность и является результатом историко-этнографических экспедиций известного писателя и этнографа С.А. Ан-ского (Шломо Раппопорта), композитора и музыковеда Ю.Энгеля, известного фольклориста и учёного М.Береговского, а также других исследователей - энтузиастов. Коллекция сохраняет музыкальные традиции очень богатого периода восточно-европейской еврейской культуры и содержит традиционную еврейскую музыку разных жанров: напевы без слов, инструментальные пьесы, бытовые песни, части синагогальных литургий, еврейские театрализованные пьесы, а также выступления выдающихся еврейских деятелей культуры. Только лишь каталог фоноцилиндров коллекции М. Береговского записан в Золотую книгу ЮНЕСКО. В коллекции содержится также единственная достоверная фонограмма записи – голоса Шолом-Алейхема, на компьютерные носители переписан звуковой материал с более, чем 800 восковых цилиндров, который предполагается издать в виде звуковой антологии еврейских мелодий XX век на 50 компакт-дисках.

На сегодняшний день издано 2 компакт-диска с фонограммами коллекции: в 1997 году компакт-диск под названием «Сокровища еврейской культуры в Украине» и в 2001 году – «Материалы этнографической экспедиции Ю.Энгеля 1912 г».

Компакт-диск «Сокровища еврейской культуры в Украине» содержит запись выступления Шолом-Алейхема на открытии Еврейского историко-этнографического музея в Петербурге (1914 год), а также 40 музыкальных произведений (от 1912 до 1945 гг.). Анализ первого сигнального диска коллекции, проведенный в Музее еврейской культуры в Амстердаме в 1999 г., показал, что из 40 фонограмм только 3 имеется во всемирно известной антологии еврейской песни, изданной в Иерусалиме, Нью-Йорке и Амстердаме, что подтверждает уникальность коллекции. Прием в Лондонском университете 21 февраля 1999 г. по случаю окончания перезаписи этой коллекции был последней публичной акцией лорда Менухина накануне его смерти.

В буклете к компакт-дису рассказывается об истории этой коллекции, об учёных её создавших, прилагается перечень музыкальных произведений, записанных на диске. Буклет иллюстрирован фрагментами живописи прошлого века, фотографиями из архива коллекции, а также представлена фотография оборудования для перезаписи фоноцилиндров, разработанного Институтом проблем регистрации информации НАН Украины. Буклет выпущен на русском и английском языках.

Сокращенная версия этого диска, содержащая запись голоса Шолом-Алейхема и голосов известных деятелей еврейской музыкальной культуры начала XX века З. Кисельгофа, Ю. Энгеля и других, была подарена Президентом Украины народу Израиля на заседании Кнессета в 1996 году.

Второй компакт-диск «Материалы этнографической экспедиции Ю. Энгеля 1912», содержит наиболее ранние по времени записи с частной коллекции Ю. Энгеля, видно-

го еврейского композитора и музыковеда. Записи сделаны во время первой пробной этнографической экспедиции в 1912 г. в еврейских местечках Киевской и Волынской губернии. На компакт-диске представлено 18 фонограмм, содержащих религиозные песнопения, хасидские напевы, еврейские народные песни, а также прилагается текстовый и нотный материал, относящийся к этим фонограммам

Кроме вышеуказанного, также переписаны на цифровые носители: коллекция украинского музыкального фольклора Института искусствоведения, фольклористики и этнологии им. М.Рыльского НАН Украины, коллекция цилиндров с фонограммами выдающегося датского композитора Карла Нильсена (г. Ааргус, Дания). По оценке датских специалистов, проводивших тестирование систем перезаписи фоноваликов Эдисона разных стран, оборудование, разработанное в Институте проблем регистрации информации НАН Украины, является лучшим в мире, в связи с чем в 1999 году Институту было предоставлено право осуществить перезапись этого национального достояния.

Таким образом созданное уникальное оборудование позволяет осуществлять высококачественную перезапись аудиоинформации с фонографических цилиндров на современные цифровые носители, что дает возможность ввести в научный оборот раритетные музыкальные коллекции прошлых веков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новикова Г., Скобець І. До питання про збереження фонографічних воскових циліндрів (у НБУ ім. В.І. Вернадського) // Бібліотечний вісник. 1996. № 6. С. 10-12.
2. *Lechleitner F.* A newly constructed cylinder replay machine for z-inch diameter cylinders, *Archiving the Audio-Visual Heritage // Third Joint Technical Symposium. Ottawa. 1990, May. P. 145-148.*
3. *Frank H., Pichler H. and Schuller D.* Rosetta tone — a technical quality fingerprint for audio recordings // *An Audio Eng. Soc. Preprint (Preprint 3342), Vienna. 1992, March.*
4. *Toshiaki Iwai et al.* Reproduction of sound from old wax phonograph cylinders using the laser-beam reflection method // *Appl. Opt.* 1986. Vol. 2. № 5. P. 597-604.
5. *Petrov V.V., Shanoylo S.M. et al.* Optomechanical method of Edison cylinders sound reproduction // *An Audio Eng. Soc. Preprint (Preprint 4491), Munich. 1997, March.*

О проблеме сохранения звукового культурного наследия

В. В. Петров, А. А. Крючин, С. М. Шанойло, И. В. Косяк

Матер. конф. «Информация для всех: культура и технологии информационного общества» (EVA 2002 Москва). Москва : 2002, Центр ПИК Минкульт. России. С. 671–676.

Рассматривается проблема сохранения звукового культурного наследия и пути ее решения. Предлагаются технические методы решения двух основных аспектов проблемы:

- воспроизведения звука с раритетных носителей и перевод его в цифровую форму;
- обеспечения долговременного (более 300 лет) хранения звукового культурного наследия на металлических цифровых носителях информации.

Ключевые слова: фонографический цилиндр Эдисона, грампластинка, фонограф, звуковая дорожка, фонограмма.

ВВЕДЕНИЕ

Сохранность информации на всех этапах развития общества является наиважнейшей проблемой, при решении которой необходимо обеспечить для будущих поколений как сохранность знаний, накопленных предыдущими поколениями, так и сохранность добываемых знаний [1].

Человечество с давних времен стремилось оставить и сохранить информацию о себе. Самая первая информация (письмена) дошла до нас в виде наскальных рисунков, глиняных табличек шумеров, египетских папирусов, берестяных грамот и т. п. Носители аудио и видеоинформации появились значительно позже, спустя многие столетия.

В 1877 г. американский изобретатель Томас Эдисон изобрел фонограф, с помощью которого на восковых цилиндрах металлической иглой записывалась и воспроизводилась звуковая информация. Диапазон применения фонографа, задуманного изначально как «механический секретарь» был весьма и весьма широк. На фоноцилиндры записывались известные политические деятели, артисты, музыканты, поэты и т. д. Больше всего оценили и широко использовали фонограф этнографы и фольклористы.

Существенным недостатком фонографа было то, что каждая запись была уникальной. Чтобы получить, скажем, пять цилиндров с записью популярной песни, нужно было пять раз исполнять ее перед рупором фонографа. Со временем, правда, научились записывать несколько цилиндров одновременно, а потом и изготавливать некоторое количество копий, однако с постоянно растущим спросом требовались не единицы, не десятки и даже не сотни, а сотни тысяч экземпляров одной и той же записи.

Изобретатели настойчиво работали над усовершенствованием процесса звукозаписи и решением этой проблемы. И уже в 1888 году немецкий изобретатель Эмиль Берлинер продемонстрировал первую грампластинку, которую можно было тиражировать.

В изобретении Э. Берлинера было два ключевых момента. Во-первых, Берлинер рассчитывал на широкий рынок потребителей и мир развлечений, в то время как Эдисон видел свой фонограф как кабинетный прибор. Во-вторых, появилась возмож-

ность массового изготовления дисков с помощью одного металлического оригинала в отличие от цилиндров, которые изготавливались индивидуально.

За столетие существования систем механической записи в мире на восковых цилиндрах Эдисона и виниловых грампластинках накопилось огромное количество звуковой информации с бесценными историческими памятниками звуковой культуры. По разным оценкам еще сохранилось 800-900 тысяч цилиндров Эдисона, это приблизительно два миллиона минут звука и музыки. Количество сохранившихся грампластинок в сотни раз больше.

Раритетные носители информации, особенно восковые цилиндры Эдисона и первые шеллачные и виниловые грампластинки, на долгие годы пережили устройства воспроизведения звука с них. Из-за отсутствия воспроизводящей аппаратуры бесценное звуковое культурное наследие человечества практически недоступно исследователям, знатокам и ценителям исполнительского искусства, фольклора, народных традиций.

Кроме того и время действует неумолимо: по оценкам зарубежных экспертов из-за механических повреждений, старения материала носителей, воздействия микроорганизмов и окружающей среды в мире безвозвратно утрачивается до 5% раритетных носителей аудиоинформации.

Задача сохранения звукового культурного наследия, является задачей, решение которой не терпит отлагательств.

1. СОХРАНЕНИЕ ЗВУКОВОГО КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

В решении задачи сохранения звукового культурного наследия целесообразно выделить два основных аспекта:

- воспроизведение звука с раритетных носителей аудиоинформации неразрушающими методами, перевод фонограмм в цифровую форму и запись на современные носители, введение раритетных фонограмм в научный оборот;
- создание технологии долговременного (более 300 лет) хранения звукового культурного наследия на цифровых носителях информации.

1.1. Неразрушающий метод и оборудование воспроизведения звука с раритетных носителей аудиоинформации

В результате анализа методов механической записи звука на восковые цилиндры и грампластинки, причин, искажающих качество воспроизведенных с раритетных носителей фонограмм, существующих аппаратуры и методов воспроизведения [2, 3], в Институте проблем регистрации информации НАН Украины был предложен принципиально новый цифровой неразрушающий оптико-механический метод высококачественного воспроизведения звука с раритетных носителей аудиоинформации. Предложенный метод позволяет обеспечить физическую сохранность раритетных носителей и получить высококачественное воспроизведение звука, сведя до минимума уровень шумов и искажений, связанных с процессами первоначальной записи информации и последующих воспроизведений, вызванных повреждениями звуковых дорожек и поверхности носителей при длительном хранении.

Одна из главных характерных особенностей разработанного и исследованного метода состоит в том, что профиль звуковой дорожки в цифровой форме снимается с носителя и вводится в компьютер и после соответствующей обработки преобразуется в звук. Такой метод имеет ряд преимуществ. Во-первых, запись профиля звуковой дорожки может быть выполнена при скоростях в 10–50 раз ниже, чем скорость звуко-

вой записи. Значительное уменьшение скорости вращения носителя позволяет решить задачу резкого уменьшения динамической нагрузки на его поверхность, что является очень важным с точки зрения сохранения носителя. При уменьшении скорости вращения носителя до 3–6 оборотов в минуту динамическая нагрузка на поверхность носителя в системе воспроизведения может быть уменьшена в 300–500 раз, по сравнению с пьезоэлектрическим методом.

Во-вторых, метод позволяет значительно улучшить качество воспроизведения звука. Анализ процесса воспроизведения звука с раритетных носителей показал, что один из главных шумов – шум, возникающий при контакте иглы звукоснимателя с частицами пыли и царапинами. Размер пылинок (3-10) мкм и большинства царапин (5-10) мкм намного меньше отпечатка звуковой волны. При взаимодействии иглы с пылинками и микротрещинами при традиционных методах считывания возникает импульсная шумовая помеха, имеющая широкий спектральный диапазон и трудноотделимая от полезного сигнала. Чтобы уменьшать шум, произведенный пылинками, трещинами и другими явными дефектами, предлагается профиль, снятый от поверхности звуковой дорожки, до преобразованием его в звук, аппроксимировать более гладкой кривой, исключая явные выбросы, связанные с пылью, трещинами и т.д.

В-третьих, компьютерная обработка и преобразование профиля дорожки в звук исключают необходимость повторения процессов воспроизведения с целью выбора оптимальной скорости вращения, соответствующей той, на которой была выполнена запись. Это значительно уменьшает вероятность повреждения раритетных носителей при повторных воспроизведениях.

Для воспроизведения звука с цилиндров Эдисона технической реализацией предложенного метода является цифровая опико-механическая интерферометрическая система неразрушающего измерения профиля звуковой дорожки воскового цилиндра [2].

Измерительный узел системы представляет собой лазерный интерферометр, в основу которого взята классическая схема Майкельсона. Профиль звуковой дорожки цилиндра отслеживается при помощи зонда эллиптической формы. С зондом жестко связан оптический элемент измерительного плеча интерферометра (углового отражателя), перемещение которого, соответствующее профилю звуковой дорожки, измеряется с дискретностью не более 0,04 мкм и заносится в ЭВМ. Угловой отражатель с зондом закреплен на одном конце рычага (тонарма). Другой конец тонарма связан с датчиком положения. Для получения звука производится вычисление скорости изменения профиля поверхности и его компьютерная запись. При помощи компьютера программировалась скорость воспроизведения, соответствующая скорости вращения при записи. Для большинства цилиндров неизвестна точная скорость вращения, при которой производилась запись. Компьютерная обработка после записи профиля поверхности позволяет выбрать оптимальную скорость воспроизведения при одном проходе звукоснимателя. С целью обеспечения стабильности и точности интерферометрической измерительной системы в разработанной установке для воспроизведения звука с цилиндров Эдисона она выполнена неподвижной. Съем профиля звуковой дорожки (сканирования цилиндра) осуществляется посредством синхронных вращений (система вращения) и осевого перемещения цилиндра относительно неподвижной интерферометрической системы (система позиционирования). Привода вращения и линейного перемещения выполнены аэростатическими, что позволило избежать шумов подшипников.

Блок электроники интерферометра за один период перемещения интерференционной картины вырабатывает 8 импульсов. Следовательно, один импульс реверсивного

счетчика соответствует перемещению уголкового отражателя с иглой на величину $\lambda/16$, т.е. на 0,04 мкм для гелий-неонового лазера.

Поступающий с канала обработки интерферометрического датчика профиль оцифровывается аналого-цифровым преобразователем с частотой дискретизации 8 кГц и уровнем квантования 16 бит и заносится в компьютер для дальнейшей обработки.

Для воспроизведения звука с раритетных грампластинок технической реализацией принятого метода с учетом анализа технических характеристик и конструктивных особенностей узлов проигрывателей является цифровая фотоэлектрическая система неразрушающего измерения профиля звуковой канавки грампластины [3].

Принимая во внимание то обстоятельство, что система воспроизведения звука с грампластины разрабатывается, в первую очередь, для высококачественного считывания звуковой информации (профиля звуковой канавки) с раритетных грампластинок, которые отличаются от современных именно методами записи – монофоническая глубинная запись, стереофоническая запись с ориентацией 0/90, был разработан принципиально новый фотоэлектрический звукосниматель теневого типа с четырехплощадочным фотоприемником. Он позволяет воссоздать правильное считывание с пластинок звуковой информации, без повреждения и искажения сигнала независимо от использованных методов записи.

В положении покоя экрана, размеры которого равняются площади одной площадки, световой поток попадает на площадки в одинаковой мере (одинаковым количеством света) и исходный электрический сигнал на всех площадках одинаковый. Если игла движется по канавке пластины, ее колебание передаются иглодержателем экрану, который при этом соответственно модуляции канавки диафрагмирует в той или другой мере площадки фотоприемника. Изменяемый таким образом световой поток модулирует независимо ток каждой отдельной площадки.

Вид модулированных канавок определяется направлением колебаний реза, которые могут быть:

- комбинированными – поперечно-глубинными;
- глубинными – перпендикулярно поверхности диска;
- поперечными – вдоль радиуса диска.

Соответственно каждому виду модулированных канавок в отдельности должна была бы проектироваться головка звукоснимателя. В предложенной схеме учтены данные недостатки. Из каждой в отдельности взятой площадки фотоприемника можно снять модулированный сигнал и, комбинируя суммирование и вычитание сигналов с отдельных площадок, можно получить оптимальный исходный сигнал соответственно виду модулированных канавок.

Важным преимуществом оптической головки является также линейная амплитудно-частотная характеристика с очень широким диапазоном частот, начиная с 0 Гц и заканчивая ограничениями тракта усиления, которое выходит далеко за границы звукового частотного диапазона.

При создании системы особое внимание было уделено также разработке подсистемы перемещения звукоснимателя-тонарма.

Специально разработанный тонарм тангенциального типа достаточно полно удовлетворяет предъявляемым требованиям и имеет следующие характеристики:

- горизонтальный угол ошибки тонарма не превышает $0,1^\circ$, что более чем в 10 раз меньше, чем у современных проигрывателей высокого класса;
- эффективная длина тонарма составляет 180 мм (у современных проигрывателей 220–250 мм и более), вследствие чего инерционность тонарма невысокая, что позволяет беспрепятственно воспроизводить покоробленные пластинки;

- отсутствует эффект скатывания;
- имеется возможность регулировки прижимной силы в пределах 1–20 мН.

Привод вращения с системой управления обеспечивает проигрывание грампластинок в диапазоне частот вращения от 10 до 100 об/мин. Это дает возможность после проведения несложных и нетрудоемких регулировочно-настроечных операций осуществлять проигрывание грампластинок, в зависимости о состояния поверхности и целостности звуковых канавок пластинки, как на реальных, так и на пониженных скоростях вращения. При этом на всех скоростях обеспечивается коэффициент детонации не более 0,1 % и уровень рокота 60 дБ.

1.2. Цифровая обработка фонограмм

Искажения звука, присутствующие в воспроизведенных фонограммах, в равной степени характерны и для восковых цилиндров и для грампластинок.

Для достижения наилучшего качества очистки, искажения прежде всего необходимо классифицировать и разделить по длительности и частоте. Анализ воспроизведенных с цилиндров фонограмм показал, что в подавляющем большинстве присутствуют наиболее характерные помехи четырех типов:

- короткие импульсные помехи (щелчки);
- низкочастотные импульсные помехи (треск);
- низкочастотный шум (рокот);
- широкополосный поверхностный шум.

Каждый вид помех имеет свои характерные особенности и для их обработки используются различные алгоритмы. Существенное влияние на качество очистки фонограммы имеет последовательность, в которой подавляются различные виды помех. Например, если сначала использовать программу для удаления поверхностного шума, то треск и щелчки также будут обрабатываться, и, как следствие, в сигнале при этом могут образовываться побочные немusыкальные эффекты, может уменьшиться величина крутизны импульсной помехи в сигнале, что при дальнейшей обработке затруднит ее обнаружение. Поэтому в процессе восстановления и реконструкции сигнала цифровая обработка записей, сделанных на фонографических цилиндрах, должна проходить в такой последовательности:

- 1) удаление коротких импульсных помех (щелчков);
- 2) удаление низкочастотных импульсных помех (потрескивания в сигнале);
- 3) фильтрация низкочастотного шума–рокота;
- 4) подавление широкополосного поверхностного шума.

Импульсы в виде кратковременных щелчков устраняются программой, в основу алгоритма которой положен нелинейный фильтр, отслеживающий скорость изменения сигнала.

Опыт работы с фонограммами показал, что для каждого конкретного звукового материала фонографических цилиндров необходима индивидуальная настройка фильтра. Методом приближений необходимо настроить такой уровень порога, при котором детектируемая импульсная помеха затирается, а соседние выборки сигналов выравниваются.

1.3. Долговременное хранение звукового культурного наследия на цифровых носителях информации

Сегодня признанным методом сохранения текстовых, графических, аудио- и видеодокументов, в том числе раритетных, является перевод их в цифровую форму с

последующей периодической перезаписью. Сам процесс перезаписи информации, хранящейся в цифровой форме, не приводит к ухудшению качества сохраняемого документа. Однако при увеличении количества документов, которые сохраняются в цифровой форме, процесс периодической перезаписи довольно сложно контролировать. Реально можно говорить о необходимости каждые 10 лет перезаписывать диски с особо ценной информацией, что довольно сложно осуществить в условиях сохранения больших массивов архивных данных на большом предприятии, в библиотеке, архиве.

Установить периодичность перезаписи довольно сложно, так как прогнозируемые сроки хранения на цифровых носителях имеют очень широкий диапазон (так для компакт-дисков CD-R прогнозируемый срок хранения составляет от 2 до 50 лет). Продолжительное хранение информации в цифровом виде на CD-ROM и CD-R проблематично, так как с течением времени поликарбонат, из которого изготовлены компакт-диски, мутнеет и теряет свои оптические свойства, разрушается и слой металлизации за счет диффузных эффектов в тонкой пленке.

Как показал исторический опыт, одним из самых надежных методов представления информации является рельефный. Плотность записи с использованием этого метода постоянно повышалась (от шумерских глиняных пластинок, до фонографических цилиндров Эдисона, виниловых грампластинок и компакт-дисков) и достигла довольно высоких значений на современных DVD-носителях (0,2 Гбайт/см²).

Информация на фонографических цилиндрах Эдисона и граммофонных пластинках представлялась в аналоговом виде, а сами носители изготовлялись из легко деформируемых материалов. Эти материалы поддаются влиянию температурных полей, микроорганизмов, естественному старению и изменению механических свойств, имеют низкую исходную механическую прочность. Следствием этого являются невысокие надежность и продолжительность хранения информации на этих носителях. Кроме того, механический способ воспроизведения информации с помощью прямого контакта воспроизводящей иглы, изготовленной из твердого материала, приводит к неминуемому механическому износу поверхности звуковых дорожек и, как следствие, к искажению записанной информации, снижению ее достоверности и надежности хранения.

Тем не менее, при соблюдении надлежащих условий хранения и фонографические цилиндры и грампластинки могут храниться довольно долго, к нашим дням сохранились в прекрасном состоянии некоторые экземпляры, изготовленные 80–100 лет тому назад.

На компакт-дисках информация представлена в цифровом виде, бесконтактный оптический метод считывания позволяет выполнять практически бесконечное число циклов воспроизведения информации без ее искажения и повреждения. Однако, пластиковые компакт-диски с дополнительными тонкопленочными отражающими слоями, как уже отмечалось, не могут гарантировать долгосрочного надежного хранения информации из-за недостаточной механической и термической прочности поликарбоната, остаточных механических напряжений, естественного старения, выполнения информационной структуры из разнородных материалов с коэффициентами термического расширения, которые очень отличаются. Прогнозируемый срок хранения информации на компакт-дисках не превышает 50 лет.

Последнее время внимание исследователей начинают привлекать методы долгосрочного хранения информации на металлических носителях.

Одним из примеров могут служить изготовленные в Германии в тридцатые года прошлого века методом гальванопластики медные негативные копии восковых ци-

линдров Эдисона. Однако из-за окисления меди за время хранения таких копий достоверность сохраняемой информации не очень высокая [4].

Более привлекательным примером длительного надежного хранения информации на таких носителях являются медно-никелевые штампы, которые использовались для тиражирования грампластинок и после 30–70 лет хранения находятся в хорошем состоянии.

Возможность длительного хранения информации на медно-никелевых штампах прогнозировали разработчики технологии изготовления грампластинок [5]. Штампы для тиражирования грампластинок хранятся в архивах как носители, с которых можно было воссоздать аудиозаписи с высоким качеством и при необходимости сделать тираж пластинок. Были разработаны специальные устройства для считывания аналоговой информации с медно-никелевых штампов. Медно-никелевые штампы представляют большую ценность и как носители информации, которые имеют определенное историческое значение, и как физические объекты, которые прошли продолжительный процесс естественного старения.

Проведенные исследования показали, что после 50–70 лет хранения сохранились исходными чистота металлической поверхности штампа, его геометрические размеры, рельеф поверхности, звуковые дорожки не заполнены посторонними включениями.

Анализ состава поверхности штампа, изготовленного более 50 лет назад, и современного штампа для компакт-дисков (штамп 1 и штамп 2) показал, что сплошной оксидный слой на штампах отсутствует. Ионное травление практически не изменяло содержание кислорода по глубине, что свидетельствует, по нашему мнению, о том, что кислород находился в кристаллических решетках штампа со времени его изготовления.

Однако в штампах наблюдается резкое расхождение по количеству примесных элементов и глубин их залегания. Так, в штампе 2 стабилизация за составом примесных элементов наблюдалась на 25–30 минуте травления, что соответствует глубинам 1–1,2 мкм, а в штампе 1 стабилизация содержания магния и кремния состоялась на такой же глубине, а снижение интенсивности алюминия и кремния происходило и на глубинах свыше 2,4 мкм. При исследовании образцов в режиме характеристического излучения отмечено присутствие на поверхности штампа 1 частиц кремния, алюминия, магния, которые распределены равномерно и имеют размеры от 5 до 15 мкм. В штампе 2 также на поверхности есть аналогичные включения, однако их глубина залегания значительно меньше. Содержание кислорода в штампах 1 и 2 практически одинаково. Содержание магния в 15 раз, кремния в 10–15 раз и алюминия в 10 раз в штампе 1 больше, чем в штампе 2. Эти данные свидетельствуют о том, что современная технология гальванопластики является более “чистой” и позволяет получать никелевые носители с количеством примесей на 1–2 порядка меньше, чем в старых никелевых штампах.

Высокая химическая чистота никелевых носителей способствует повышению их коррозионной стойкости.

При решении проблемы долговременного хранения стратегически важной информации к свойствам никелевых носителей предъявляют очень жесткие требования. Среди них: высокая коррозионная стойкость, стабильные во времени отражающая способность, твердость, вязкость и износостойкость. В некоторых специальных случаях большое значение имеют электрическая проводимость и теплопроводность покрытия, внутренние напряжения и магнитные свойства.

Большинству требований к носителям для долгосрочного хранения удовлетворяют никелевые носители толщиной (0,3-1,0) мм с рельефной записью; в частности они магнитоустойчивые, физически крепкие, пожаростойкие, коррозионностойкие [6]. Для повышения коррозионной стойкости никелевых носителей информации они могут покрываться тонкими пленками благородных металлов, которые наносятся или методом вакуумного напыления, или гальваническим путем.

Записать информацию с высокой плотностью в виде рельефной микроструктуры непосредственно на металлический (массивный или тонкопленочный) носитель из-за его высоких температуропроводности и температуры плавления не представляется возможным. Для получения рельефных микроизображений на металле целесообразно использовать традиционные фотолитографические методы: изображение создается в слое высокопрозрачающего фоточувствительного материала сквозь окна, через которые осуществляется или травление металлической подложки [7], или гальваническое осаждение металла заданной толщины [8, 9].

Для представления информации на никелевых носителях могут использоваться методы, которые применяются в компакт-дисках.

Для записи информации на компакт-диски используется метод широтно-импульсной модуляции, при котором изменение длины выступов на штампе влияет на процесс воспроизведения информации. Длина выступов может изменяться за счет образования окисных слоев, загрязнения органическими веществами. Органические загрязнения из поверхности никелевых носителей могут быть удалены методами электрохимического очищения, которые широко используются в технологии производства компакт-дисков [9].

Некоторое увеличение размеров питов может происходить при окислении металла. Для никеля такое увеличение линейных размеров составляет 15 \AA при образовании окисного слоя толщиной 100 \AA . При этом изменение длительности сигнала воспроизведения (при однократной скорости воспроизведения) не будет превышать 35 нс, что составляет 4,2 % длительности кратчайшего сигнала. Изменение геометрических размеров питов больше всего влияет на сигналы воспроизведения кратчайших выступов, длина которых составляет около 1 мкм. Допустимое увеличение длины выступа может составлять 420 \AA .

Даже исходя из линейной зависимости толщины образующейся окисной пленки от времени образование окисной пленки такой толщины, которая приведет к появлению ошибок при воспроизведении информации, можно прогнозировать через 300 лет.

Таким образом можно предположить, что никелевые носители обеспечат надежное и долговременное хранение информации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен путь решения проблемы сохранения звукового культурного наследия.

Разработан метод неразрушающего цифрового оптико-механического воспроизведения звука с раритетных носителей аудиоинформации и создано прецизионное оборудование, обеспечивающее высококачественное воспроизведение фонограмм с восковых цилиндров Эдисона и грампластинок в полосах частот до 16 и 30 кГц соответственно.

Долговременное (более 300 лет) хранение звукового культурного наследия может быть обеспечено на металлических (никелевых) цифровых носителях информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бродолин Л.И., Воргачев В.Н.* Проблемы сохранности научной и технической информации // Труды Междунар. конф. «Информационное общество и информационные ресурсы и технологии телекоммуникаций», НТИ-2000. Москва, 22-24 ноября 2000 г. С. 61-62.
2. *Петров В.В., Косяк И.В., Шанойло С.М. Крючин А.А.* Технология оптико-механического цифрового воспроизведения звука с фонографических цилиндров Эдисона // Матер.1-й Всероссийской научно-практ. конф. по аудиокультурологии, аудиоархивистике и новым технологиям «Эхолот», Москва, 2001, 22-25 мая (<http://www.adit.ru>).
3. *В. В. Петров, А. А. Крючин, С. М. Шанойло, И.В. Косяк, А.К. Войтенко.* Новые технологии воспроизведения звука с раритетных носителей Матер.2-й Всероссийской научно-практ. конф. по аудиокультурологии, аудиоархивистике и новым технологиям «Эхолот», Москва, 2002, 1-4 октября (<http://www.adit.ru>).
4. *T.Kessler, G. Stanke.* Historic sound from Edison cylinders: a novel play back method //Збірник праць першої української конференції серії EVA.- EVA 2002 Київ. Міжнарод. науково-навчальний центр ЮНЕСКО інформаційних технологій та систем НАН і Міносвіти і науки України. С.87-91.
5. *Аполлонова Л. П., Шумилова Н. Д.* Механическая звукозапись. Г.-Л.: Энергия, 1964. 240 с.
6. HD-ROSETTA: Disc Testing Report from Los Alamos National Labs. <http://www.norsam.com>.
7. HD-Rosetta archival preservation services. <http://www.norsam.com>.
8. *Todorovic M., Schultz S.* Pattern media: giant step in magnetic storage // Data Storage. May 1999. P.17-20.
9. *Ken C.Pohlmann.* The Compact Discs Handbook. 2-nd Ed. 1992.

Technology for long-term storage of audio information

A. A. Kryuchyn, V. V. Petrov, S. M. Shanoylo, I. V. Kosyac

Technology for long-term storage of audio information. Konferenzband "EVA 2004 Berlin" Elektronische Bildverarbeitung & Kunst, Kultur, Historie, 10-12 November 2004, Die11 Berliner Veranstaltung der Internationalen EVA-Serie "Electronic Imaging & the Visual Arts", P. 127-129.

1. INTRODUCTION

The preservation of the cultural heritage is one of the foreground task in the modern world. The task consists not only in keeping physically manuscripts, soundtracks, videos, etc. but also to provide for to them an access of the broad circle of researchers. Now the unified general approach to the solution of this problem was formed: the digitization of rarity editions and the organization to them of the on-line access. In realization of this approach to preservation of concrete collections there are many common engineering solutions: maintenance of long-term storage of digital copies, use of standard data presentation. However, in some cases it is necessary to develop special hardware for digitizing initial materials. The process of preparation of the audio information which has been recorded on phonographic cylinders, to transferring in a digital form on carriers for long-term storage, is presented in the given communication.

2. THE TASKS OF RESEARCH

Principles of recording the earliest audio signals, realized in Edison wax cylinders, turned out to be very successful. This provided safety of audio records for the whole century. Modern systems of reading audio signals from wax cylinders can provide even a higher quality of sounding than those used at the instant of information recording on them. It naturally concerns the cylinders that were not damaged during long storage. The principal causes of damages are scratches and pits from chips on the surface, destructions produced by activity of microorganisms, contamination by dust particles. The only real way of keeping the unique audio collections stored on wax cylinders is their translation into a digital form and transfer onto other types of carriers. The translation into the digital form will allow not only to keep audio heritage for a long period, but also to make the soundtracks free of noise by using digital filtration methods and organize on-line access to these soundtracks.

The reproduction of audio information with sufficiently high quality from phonographic cylinders is possible only on the modern specially developed equipment. Attempts to carry out reproduction of a sound on original devices results in irreversible changes in structure of sound tracks. Repeated attempts of reading information by mechanical sound pickups result in significant reduction of frequency band of reproduced signals and increase of the noise level.

To make the rarity records reproduced from phonographic cylinders accessible for a wide range of researchers is possible only after careful multistage clearing the soundtracks. The experience in preparation for the edition of the soundtracks reproduced using phonographic cylinders from the M. Beregovsky collection (it is the collection of Jewish ethnic music related to the first half of the 20th century) and Osip Rozdolsky collection (i.e., the collection of Ukrainian ethnic music dated by the same period) has shown the necessity to

represent phonorecords with various levels of signal processing (the instrumental records that are of interest for a narrow circle of experts and edited to a maximal degree, with a low noise level - for those who are interested in ethnic music). The obligatory requirement is the presence of the contextual information: about performers, conditions of soundtrack recording, music notations, etc. As a consequence, the short audio records (sounding 1 to 4 minutes) with the limited frequency band (4...8 kHz) require the memory capacity of tens Mbytes. It means that recording multimedia information representing results of ethnographic expeditions requires the carriers with the capacity equal to several hundreds of Mbytes and a high speed of reproduction from them.

3. THE PROCESS OF PREPARATION OF AUDIO MATERIALS TO ISSUING

The principal distinctive feature of the developed method is that from the cylinder in a digital form the profile of a sound track is taken off and registered in a computer rather than its first derivative (speed, i.e. a sound) as it occurs in case of application of a sound pickup. Thus reproduction of a profile is carried out at the speed 20-30 time lower than that of a sound recording at the value of static loading on the stylus of 0,5-0,8 g.

The method and the equipment allow to reproduce a sound without appreciable nonlinear distortions in the frequency band from 0 up to 16 kHz to reduce substantially the noise level caused by the presence of the dust, microcracks, surface cylinder damages by microorganisms.

The technological process of soundtrack processing consists of the following operations:

- recording the data on information track profile onto Winchester, approximation (correction) of the damaged areas (as the first stage of clearing);
- differentiation of signals corresponding to the surface profile, for reception of audio signals;
- usage of a software and hardware for clearing the sound;

At this stage classification, separation by duration and frequency of distortions present in a soundtrack is made first of all. Then the regeneration and the reconstruction of a signal is carried out. During this process the digital processing of soundtracks is performed in the following sequence;

- Removal of pulse interference (clicks);
- Removal of low-frequency pulse interference (crackling in a signal);
- Filtration of low-frequency noise (rumble);
- Suppression of broadband surface noise.

The process of clearing soundtracks, depending on the physical condition of the cylinder surface, and consequently both on quantity and type of interference and distortions of a sound signal, can take from 30 minutes to 3-4 hours. Such a significant time spread is connected with that many operations on clearing and regeneration of a signal record is necessary for carrying out "manually", for each concrete sound material is necessary to arrange the nonlinear filter monitoring speed of change of a signal, to update the algorithm of detection, regeneration and correction of a signal from clicks and other pulse interference of various frequency.

- creation of the multimedia supplement by using the earlier digitized additional graphic materials;
- recording on CD-R (DVD-R) or CD-RAM (DVD-RW).

4. The organization of the recorded long-term information storage

The recorded compact disk should provide long-term storage of the multimedia information located on it. However, it is difficult to hope that it will preserve the information so

much time as the wax cylinders from which it was read out. This restriction is bound up with several reasons:

- the limited period of information storage on CD-R (CD-RW) disks;
- physical and moral aging of CD players;
- appearance of new software products.

Since the problem of the limited service life of compact disks is related to changes of polycarbonate properties and characteristics of thin-film reflecting layers with time, we offer to solve it by using glass compact disks. The relief structure created on the surface of a glass substrate precisely corresponds to representation of information in the form of pits with various lengths on a plastic substrate of a standard compact disk. The metal reflecting layer is expedient to be made from corrosion-proof materials with the high adhesion to glass (chromium, nickel, platinum, etc). Such carriers can be read out using standard CD players. The use of high-quality glass substrates with minimal optical inhomogeneities (first of all, with essentially lower birefringence) and beating will facilitate the process of information reading. Since new CD players are developed and produced in view of the requirement of backward compatibility and data recording is carried out in unified ISO 9660 format, there are all grounds to consider that high- reliability optical disks with rarity records will be more long-living than phonographic cylinders. It is also noteworthy that the chosen form of data presentation on compact disks allows to read out the information from them not only by the focused optical radiation but also by methods of scanning tunnel or electron microscopy.

Про досвід збереження звукової культурної спадщини

І. В. Косяк, А. А. Крючин, В. В. Петров, С. М. Шанойло

Матеріали 10-ї Всеукраїнської наукової конференції «Актуальні питання історії науки і техніки» (м. Київ, 6-8 жовтня 2011 р.) / Центр пам'ятокознавства НАН України і УТОПК. К., 2011. 336 с. С.49 – 52.

У 1761 р. знаменитий математик Ейлер написав про те, що одним з найбільших відкриттів було би створення машини, що могла б наслідувати всім звукам і словам із усіма їхніми відтінками і задача ця не є неможливою. [1].

Першим практично працюючим апаратом механічного запису-відтворення звуку був фонограф, винайдений Томасом Едісоном у серпні 1877 р. Завдяки його зусиллям у 1889 р. був створений досконалий фонограф і його численні модифікації. Протягом майже 60-ти років із часу винаходу, фонограф слугував для збирання фольклорної музики та пісень, запису голосів видатних діячів культури й історії. За цей час у світі накопичилася величезна кількість воскових фонографічних циліндрів, декілька сот тисяч, які в переважній більшості зберігаються в багатьох бібліотеках та архівах світу, зокрема: Інституті мистецтвознавства, фольклористики та етнології ім. М.Т. Рильського, м. Київ (300 од.зб.); Інституті рукописів Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського (НБУВ) (1024 од.зб.); архіві Проблемної науково-дослідної лабораторії музичної етнології при Вищому державному музичному інституті ім. Лисенка, м. Львів (775 од.зб.).

В Україні застосування фонографів у етнографічних експедиціях почалося в 1902-1905 роках і тривало до кінця 1940-х років. Великі унікальні колекції записів на фонографічних циліндрах зберігаються не тільки в відомих культурних закладах і музеях, а також у приватних колекціях, здебільшого в західних регіонах України.

Зібрання колекцій записів на валиках дозволили зберегти музичні й мовні традиції різних культур. Через відсутність апаратури якісного відтворення звуку ці безцінні зразки звукової культурної спадщини мало або взагалі недоступні дослідникам, аматорам і знавцям народної творчості. Учені США, Австрії, Німеччини, Швейцарії, Японії й інших розвинутих країн вже досить довго працюють над проблемою відтворення звуку з циліндрів Едісона, перезаписом його на сучасні носії інформації.

Сьогодні цей матеріал став безцінним. Але, на жаль, після багатьох прослуховувань восковий шар валиків стає все більш пошкодженим. Хімічні елементи, що входять до складу валиків, протягом часу псуються, знищуючи сам валик. Тому процес руйнації взагалі зупинити неможливо.

Нерідко організації, що займаються збереженням і реставрацією раритетних носіїв запису, що представляють художню цінність, для продовження терміну збереження фондів «консервують» копії «до кращих часів».

Останнім часом у світі зріс інтерес до колекцій валиків, що лежали забутими чи занедбанними. З цих тендітних валиків багато були втрачені через поломки, спресованість, розплавлювання воску чи інших ушкоджень. Стало очевидним, що необхідні спільні зусилля державних установ та організацій для координації робіт по збереженню валиків та їх відтворенню.

Постає велика необхідність в якісному перезаписі валиків для збереження духовної спадщини наступним поколінням.

Порівняно із сучасними носіями інформації, записи на фонографічних циліндрах характеризуються високим рівнем шумів, пов'язаним із механічним пошкодженням поверхні циліндрів, налипанням пилу, руйнуванням поверхні воскових циліндрів мікроорганізмами. Найбільшу шкоду інформаційній поверхні завдають пошкодження мікроорганізмами і багаторазові відтворення звуку методами, пов'язаними з великим тиском на поверхню циліндра [2]. Необхідно зауважити, що головним недоліком фоноциліндрів, як носіїв запису, є достатня м'якість матеріалу з якого вони виготовлені.

Таким чином, актуальною задачею, що має величезне наукове і культурне значення, є створення системи неруйнівного відтворення звукової інформації з раритетних носіїв — воскових циліндрів Едісона, і перезапис їх на сучасні носії. Вирішення цієї задачі дає можливість зберегти для нащадків музичну культурну спадщину, ввести її до наукового обігу, зробити доступною широкому колу шанувальників музичного і виконавського мистецтва.

У результаті аналізу причин, що спотворюють якість відтвореного сигналу, існуючої апаратури й принципів відтворення, в Інституті проблем реєстрації інформації НАН України був реалізований принципово новий метод високоякісного відтворення звуку з фонографічних циліндрів Едісона [3].

При цьому була створена нова технологія відтворення й обробки аудіоінформації. Процес відтворення даних запропоновано здійснювати шляхом знімання і перетворення до цифрового вигляду профілю мікрорельєфної інформаційної доріжки з використанням інтерферометричного методу, який забезпечує високу точність вимірювань. Розроблений новий оптико-механічний спосіб отримання інформаційного сигналу з фонографічних циліндрів дозволяє суттєво зменшити динамічне навантаження на поверхню носія інформації та забезпечити якісне зчитування інформаційного сигналу з фонографічних циліндрів без їх пошкодження, а також здійснювати зчитування інформаційного сигналу з частково ушкоджених фонографічних циліндрів. Висока якість відтвореного інформаційного сигналу досягнута завдяки високочутливим оптичним інтерферометричним датчикам.

Більшість записів фонограм мають низьку якість звучання через викривлені спектри первісних звуків, невелике відношення сигнал-шум, великі зміни в швидкостях запису, імпульсні перешкоди, шуми різнобічного характеру, що спричинюють погіршення сприйняття записів та обмежують їх введення до наукового обігу. В зв'язку з цим було розроблено алгоритм цифрової обробки сигналів, який дає можливість вирішити проблему очищення фонограм, враховуючи ступінь впливу окремих процедур відновлення та реконструкції сигналу [4].

З використанням створеної системи відтворено інформацію з понад 2000 циліндрів Едісона. Зокрема, відтворені й перезаписані на цифрові носії: колекція М. Береговського (колекцію занесено 27.07.2005 року до каталогу ЮНЕСКО "Memory of the World Register" (Пам'ять світу)), яка зберігається у Національній бібліотеці України ім. В.І. Вернадського; колекція О. Роздольського, яка зберігається у науково-дослідній лабораторії музичної етнології при Вищому державному музичному інституті ім. М.В. Лисенка у Львові; Національної бібліотеки у Варшаві (Польща), Державної й Університетської Бібліотеки Орхуса (Данія) та інших установ і закладів культури. Видані 5 збірок музичних фольклорних творів на компакт-дисках.

Із застосуванням розроблених в Інституті проблем реєстрації інформації НАН України технологій було створено також апаратно-програмний комплекс відтворення та відновлення (очищення) записів з магнітних стрічок різних форматів та грамофонних платівок з подальшим збереженням на цифрових носіях — компакт-дисках.

Завдяки створеному комплексу були відреставровані і переписані на компакт-

диски записи фонограм із магнітних стрічок, які належать до звукових фондів Президії НАН України та Інституту українознавства ім. І. Крип'якевича НАН України. Загалом було перезаписано 1435 магнітних стрічок. Загальний час звучання фонограм склав 3775 годин.

Створена звукова база даних наукових доповідей, озвучених на засіданнях Президії НАН України у 1970–2001 рр., вже належить до національного надбання. Видано першу частину цієї бази на компакт-диску, де міститься 410 наукових доповідей.

Було здійснено перезапис колекції записів духовних музичних творів початку століття (1905–1914 рр.) на грамофонних платівках із фондів Свято-Успенської Печерської Лаври. Під час процесу перезапису цієї колекції на сучасні носії виконано повне відновлення та реконструкцію звукового сигналу (реставрацію) фонограм. Для прикладу можна зазначити, що було повністю відновлено навіть розколоту навпіл грамплатівку.

Слід зауважити, що існуючі носії інформації (компакт-диски) забезпечують термін зберігання даних до 50 років. Таким чином, проблема довготермінового зберігання інформації в світі ще не вирішена і вона існуватиме стільки, поки не будуть створені надійні засоби збереження інформації.

Більшості вимог до носіїв для довгострокового зберігання таких як міцність, пожежостійкість, корозостійкість, магнітостабільність задовольняють нікелеві носії товщиною (0,3–1,0) мм із рельєфним записом. Для запису інформації на нікелевих носіях можуть використатися методи, які застосовуються в компакт-дисках [5].

В Інституті проблем реєстрації інформації НАН України ведуться роботи по розробці технології оптичного запису даних на поверхні високостабільних монокристалічних матеріалів таких як сапфір, що суттєво дозволить збільшити термін зберігання інформації.

ВИСНОВКИ

Збереження та відновлення звукових записів сьогодні викликають поглиблений інтерес в усьому світі. Відтворення звукових колекцій з раритетних носіїв інформації – воскових фонографічних циліндрів, грамофонних платівок, магнітних стрічок, які зберігаються в Україні та світі, перезапис їх на сучасні носії інформації сприятиме глибшому вивченню культурної спадщини народів світу.

В Інституті проблем реєстрації інформації НАН України створено систему цифрового неруйнівного відтворення інформації з раритетних носіїв за допомогою якої вже збережено декілька колекцій, що стали доступними широкому колу громадськості. Довготермінове збереження звукової культурної спадщини може бути забезпечене на металевих (нікелевих) та сапфірових дисках.

1. *Регурер Е.И.* Грамофонная пластинка. Госхимиздат, 1940. 756 с.
2. *Новикова Г., Скобець І.* До питання про збереження фонографічних воскових циліндрів (у НБУ ім. В.І. Вернадського) // *Бібліотечний вісник.* 1996. № 6. С. 10–12.
3. *Shanoylo S.M., Kosyak I.V., Petrov V.V., Kryuchin A.A.* Reading and Processing of Audio Information Reproduced from Edison Phonograph Cylinders by Method of laser Interferometry // *Proc. SPIE. Laser Techniques and Systems in Art Conservation, Renzo Salimbeni; Ed.* 2001/10. Vol. 4402. P. 194–201.
4. *Косьяк І.В.* Відновлення та реконструкція звукового сигналу в фонограмах раритетних носіїв запису // *Реєстрація, зберігання і оброб. даних.* 2005. Т. 7, № 1. С. 122–129.
5. *Петров В.В., Крючин А.А., Шанойло С.М., Косско І.О., Кравець В.Г.* Способи вирішення проблеми довгострокового зберігання інформації, записаної у цифровому вигляді // *Доповіді Національної академії наук України.* 2003. № 4. С. 52–58.

Розділ 6

МІКРОПРИЗМОВІ ОПТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ. КАТАФОТИ. ДИФУЗОРИ

Важливим напрямком практичної реалізації теоретичних досліджень і накопиченого експериментального досвіду в галузі розробки технологічних процесів і створення систем оптичної реєстрації інформації і прецизійних оптико-механічних пристроїв було створення технології і прецизійного обладнання для розробки та виготовлення мікропризмових виробів широкого призначення. Основою для цих робіт став створений комплекс спеціального обладнання та устаткування з прецизійними системами позиціонування для лазерного запису інформації на оптичні носії кільцевої форми та комплекс гальванопластики для виготовлення гальванічних копій дисків-оригіналів з метою тиражування компакт-дисків.

Першою із таких розробок стало створення мікропризмових світлоповертальних елементів – катафотів для дорожнього господарства. Роботи із зазначеного напрямку розпочалися в 2002 році за ініціативою Мінпромполітики України. Метою перших досліджень було створення прецизійного обладнання для виготовлення штампів для організації промислового виробництва світловідбивної плівки для потреб міського господарства м. Києва. Було запропоновано виготовляти оригінали мікропризмових елементів з використанням твердосплавних інденторів, робоча частина яких має форму точного твердосплавного тетраедра. Було проведено перші розрахунки геометричних параметрів одиничного кутового світлоповертального елемента, визначено технічні вимоги до індентора, розроблено технологічний маршрут виготовлення штампів, а також унікальне обладнання для виготовлення спеціального інструменту. За допомогою таких інденторів або груп (пакетів) інденторів на першому етапі на плоскій утворюючій поверхні пластини з м'якого металу (алюмінієвий сплав, мідь, бронза) шляхом послідовного нанесення пірамідальних заглиблень формуються групи кутових відбивачів і виготовляється майстер-штамп.

Однак метод твердосплавних інденторів виявився не зовсім зручним і технологічним. Для досягнення максимального коефіцієнта світлоповертання робочі поверхні кутових відбивачів і кути мікропризм необхідно формувати з високою точністю та з високою точністю розміщувати одиночні світлоповідбивачі на робочій поверхні майстер-штампу. Досить вдалою, продуктивною і технологічною виявилася розроблена технологія виготовлення майстер-штампів методом так званого «алмазного» різання, коли мікрорельєф необхідного профілю на поверхні м'якого металу з високою якістю формується шляхом стругання плоскої поверхні алмазним різцем. Після цього методами гальванопластики виготовляються робочі штампи-матриці з нікелю, за допомогою яких методами термопресування з оптичних пластмас виробляються робочі зразки світлоповертачів. На сьогодні такою технологією, крім ІПРІ НАН України, в світі володіють тільки дві компанії – «3М» (США) та «Avery Dennison Corporation» (США).

Сьогодні в інституті створено та відпрацьовано оригінальну вітчизняну технологію та унікальне спеціальне обладнання для підготовки алмазних різців із заданими кутами ріжучої грані та виготовлення методом алмазного різання матриць-оригіналів мікропризмових елементів. Зокрема, створено унікальну станцію формування мікрорельєфу з відповідними комп'ютерними системами позиціонування та керування, розроблено методи оптимізації геометричних параметрів і світлових характеристик симетричних та асиметричних світлоповертачів, створено технологію та обладнання для виготовлення робочих штампів-матриць з нікелю методами гальванопластики та створення зразків світлоповертальних елементів з оптичних пластмас методами термопресування та лиття під тиском. За своїми світлотехнічними характеристиками виготовлені за зазначеною технологією світлоповертачі відповідають кращим зарубіжним зразкам. Дослідні зразки світлоповертачів, виготовлених в ІПРІ НАН України, в грудні 2006 року було встановлено на мосту ім. Є. О. Патона та на ряді автошляхів м. Києва та інших міст.

В останні 5 років нагальним стало посилення вимог підвищення безпеки руху в темну пору доби в частині оснащення світловідбивальними елементами острівців безпеки, напрямних острівців пішохідних переходів, велосипедних переїздів, позначення правого і лівого краю проїзної частини на дорогах з розділювальною смугою чи бульваром, центрального острівця кільцевої розв'язки, правого і лівого краю закруглень дороги в місцях розвороту транспорту тощо. Світлоповертальні елементи в зазначених місцях мають бути змонтовані на одному рівні з дорогою і забезпечувати їхню видимість у широкому діапазоні кутів спостереження. В 2017 році інститутом за ініціативи КК «Київавтодор» виконано розробку таких світлоповертальних елементів, які мають форму восьмигранної зрізаної піраміди і забезпечують видимість у діапазоні кутів спостереження 360°. Було виготовлено та змонтовано на площах і автомагістралях м. Києва 500 дослідних зразків таких елементів, які під час дослідної експлуатації з осені 2017 р. підтвердили свою ефективність. Світлоповертальним елементам залежно від кольору світловідбивачів

присвоєно шифри ВРД 2а та ВРД 3а та внесено до номенклатури вставок дорожніх розмічальних у проекті ДСТУ 4036 «Безпека дорожнього руху. Вставки розмічальні дорожні. Загальні технічні умови», який буде введений у дію найближчим часом».

Розроблено принципи створення оптичних дифузорів, які використовуються з метою більш ефективного використання енергії світла від ламп накаливання, світлодіодів, напівпровідникових лазерів та інших джерел. Створено оригінальну, захищену патентами України, технологію виготовлення оптичних дифузорів із використанням конічних інденсторів для отримання заданого розподілу випромінювання. Розроблені дифузори для розсіювання світла здатні гомогенізувати структуру променя, одночасно формуючи необхідний вихідний профіль розподілу світла в просторі. Оптичні дифузори можуть також використовуватися у системах стеження за рухомими об'єктами.

Світлоповертання: проблеми та досягнення

В. В. Петров, С. М. Шанойло, Є. Є. Антонов,
О. І. Гранат, В. М. Зенін, В. Г. Кравець

Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2008. Т. 10, № 1. С. 3–15.

Проведено аналіз світлоповертальних структур, які використовуються в різних галузях народного господарства. Запропоновано методику оптимізації характеристик світлоповертальних елементів. Досліджено світлоповертальні параметри таких структур, які мають максимальне світлоповертання при заданому куті освітлення.

Ключові слова: світлоповертальний елемент, кут освітлення, коефіцієнт відбиття, ефективна поверхня.

Багаторічний досвід Інституту проблем реєстрації інформації (ІПРІ) НАН України в галузі лазерного запису інформації сприяв розвитку в останні роки нового напрямку зі створення мікропризмових технологій світлоповертання. На перший погляд, такий перехід здається досить несподіваним, але в зазначених напрямках є багато спільного. Перший та другий напрямки відносяться до галузі високих технологій, де звичайними є надвисокі вимоги до обладнання та інструменту для виготовлення та тиражування кінцевих виробів, коли лінійні та кутові розміри вимірюються долями мікрона та кутовими секундами.

ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО СВІТЛОПОВЕРТАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Світлоповертальним елементом або світлоповертачем (катафотом) будемо називати пристрій, що здатний відбивати промінь світла, який попадає на нього, у напрямку, строго зворотному напрямкові падаючого променя. Цей процес називається звертанням променя або звертанням хвильового фронту, коли три координати хвильового вектора k світлової хвилі змінюються на протилежні:

$$(k_x, k_y, k_z) \rightarrow (-k_x, -k_y, -k_z). \quad (1)$$

Найвідомішим світлоповертачем, звичайно, є дзеркало, якщо падаючий промінь спрямований строго нормально до його поверхні. Однак, саме в цьому є головний недолік дзеркала, як світлоповертача: на практиці потрібні світлоповертальні елементи, які здатні звертати падаючий промінь у широкому кутовому діапазоні освітлення робочих поверхонь.

Усі сучасні світлоповертальні елементи умовно можна розділити на дві великі групи. Першу складають елементи з використанням мікросфер (скляних кульок), які імплантуються тим або іншим способом у середовище базової матриці із прозорого у видимій області спектра матеріалу, і виконують функцію світлоповертального елемента. Другу групу складають елементи з мікрорельєфом, який сформований на утворюючій поверхні таким чином, що утворюються групи кутових відбивачів із трьох взаємно перпендикулярних граней, здатних звертати падаючий на них промінь світла.

За своїми світлотехнічними характеристиками мікропризмові світлоповертальні елементи набагато досконаліші від мікросферичних, які малоефективні на великих відстанях освітлення. Мікрорельєф на поверхні може створюватися різними способами. Найбільш технологічним є метод так званого «алмазного» різання, коли на по-

верхні матриці-оригіналу з м'якого матеріалу (алюміній, бронза, мідь і т.д.) шляхом механічного різання алмазним різцем спочатку створюється необхідний мікрорельєф. Далі методами гальваніки з матриці-оригіналу вирощується робоча матриця з досить твердого матеріалу, найчастіше, з нікелю, за допомогою якої шляхом гарячого пресування або лиття під тиском тиражуються робочі світлоповертальні елементи із прозорих пластичних матеріалів. Надалі будемо розглядати світлоповертальні елементи з мікрорельєфом, що створюється на твердих і гнучких поверхнях саме методом «алмазного» різання. Подібні елементи конструктивно можуть бути виготовлені у вигляді плоских оптичних елементів або плівки зі світлоповертальною поверхнею.

Важливою вимогою є технологічність виготовлення світлоповертальних елементів. Так, одним із цікавих напрямків є створення мікропризмових елементів, у яких тригранний мікрокуб утворюється двома серіями взаємно перпендикулярних граней, які розташовані під кутом 45° до утворюючої поверхні, і серією прямокутних канавок, розташованих перпендикулярно до двох перших поверхонь. Така конструкція досить ефективна з точки зору світлоповертання, однак зовсім не технологічна при виконанні операцій металізації поверхонь мікрокубів і відокремленні поверхні з мікрорельєфом від основи-матриці при тиражуванні світлоповертальних елементів.

Основною проблемою при виготовленні світлоповертачів є одержання елементів з високими світлоповертальними властивостями, які були б добре помітні водієві на автошляху з досить великої відстані (300–400 м). Удосконалення світлоповертальних характеристик елементів з мікрорельєфом з метою відповідності існуючим стандартам сьогодні здійснюється в двох основних напрямках. Першим з них є досягнення максимально високої оптичної якості всіх трьох взаємно перпендикулярних відбивних поверхонь мікрокубів, що насамперед залежить від якості застосовуваного алмазного інструменту. Сьогодні звичайними є такі характеристики. Первинний металевий блок для виготовлення матриці-оригіналу встановлюється в пристрої алмазного різання з точністю ± 100 нм, шорсткість алмазного різця не повинна перевищувати 3 нм при робочій зоні різця не менш 250 мікронів, температура робочої зони пристрою алмазного різання, самого різця й первинного блоку складає 20°C з точністю $\pm 0,01^\circ\text{C}$, необхідний кут заточення різця встановлюється з точністю не гірше $15''$ ($0,004^\circ$).

Іншим напрямком є поліпшення світлоповертальних властивостей елементів за рахунок удосконалення геометричних параметрів мікрокубів. Ці розробки також можна умовно розділити на два напрямки: 1) досягнення максимально можливої ефективної робочої поверхні мікропризмових елементів; 2) створення елементів з поліпшеними кутовими характеристиками в заданому діапазоні світлоповертання (0 – 60°), що необхідно для ряду практичних застосувань (дорожні знаки, світлоповертальні стрічки, маркери для автошляхів). Наприклад, великий інтерес представляє створення високоефективних дорожніх катафотів, робоча поверхня яких розташовується під кутом 30° до полотна дороги. Пріоритет тут, безумовно, належить асиметричним мікропризмовим елементам, у яких ефективна поверхня може досягати 100 %, що є теоретичною межею світлоповертання. Подібні елементи дозволяють створити катафоти вдосконаленої конструкції, які є максимально ефективними при великих кутах освітлення їхніх робочих поверхонь, і знаходять усе більше застосування для оснащення автомобільних шляхів і магістралей у зв'язку з ростом інтенсивності дорожнього руху та відповідними високими вимогами до світлових характеристик світлоповертачів.

МОДЕЛЮВАННЯ АСИМЕТРИЧНИХ СВІТЛОПОВЕРТАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Проблему оптимізації світлоповертальних елементів можна умовно розділити на дві частини: а) розробку теоретичної моделі асиметричного світлоповертального елемента, необхідну для оптимізації його геометричних параметрів; б) створення високоефективних світлоповертальних елементів із використанням розробленого технологічного оснащення на основі розрахункових характеристик елементів.

Схема типового кутового асиметричного мікропризмового відбивача [1], що має максимальне світлоповертання саме при великих кутах освітлення, наведена на рис. 1. Тригранна мікрокубична світлоповертальна структура в такому елементі створюються двома серіями взаємно перпендикулярних канавок, одна з яких має кут 90° , а інша виготовляється таким чином, що одна її стінка перпендикулярна до утворюючої поверхні, а друга стінка розташована похило й утворює гострий кут $\alpha = 20\text{--}35^\circ$ з нормаллю до поверхні. Метою оптимізації таких асиметричних світлоповертальних елементів [2] є розробка структур, які мають для заданого кута освітлення φ_0 максимально можливий коефіцієнт активної апертури або, так називану, ефективну поверхню, тобто відношення площі робочої зони S елемента до загальної площі його поверхні S_0 . На рис. 1 величини L та W – кроки серій вузьких і широких канавок, відповідно, D – глибина канавок.

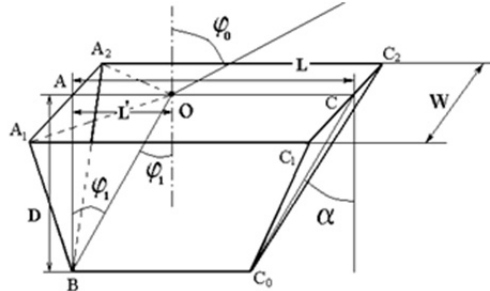


Рис. 1. Схема одиничного світлоповертального елемента асиметричного типу

Враховуючи, що для кута широкої канавки 90° крок $W = 2D$, із закону Снелліуса [3] можна визначити [2] що:

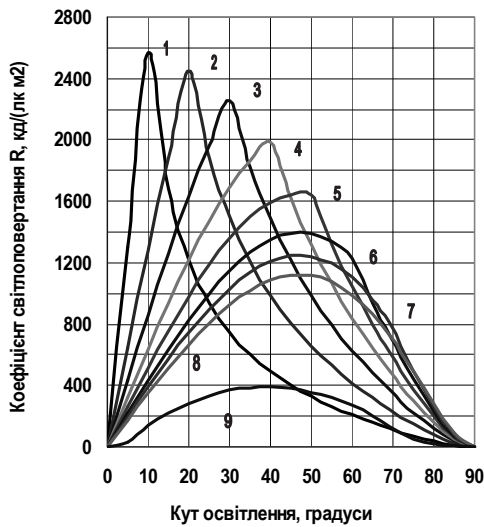
$$L/W = \operatorname{tg}(\sin^{-1}((\sin \varphi_0)/1,585)). \quad (2)$$

Співвідношення (2) відповідає випадку, коли мікропризмовий рельєф, виготовлений на поверхні пластини з полікарбонату, безпосередньо граничить з повітрям, тобто величина $n_0 = 1,0$, а значення $n_1 = 1,585$. У загальному випадку залежність коефіцієнта активної апертури (ефективної поверхні) $k_a = S/S^*$ від кута освітлення φ_0 для елемента, що оптимізований для кута освітлення φ_0^* , визначається [2] таким чином:

$$\begin{aligned} S(\varphi_0)/S^* = L/L^* &= \operatorname{tg}(\sin^{-1}((\sin \varphi_0)/1,585))/\operatorname{tg}(\sin^{-1}((\sin \varphi_0^*)/1,585)) \\ &\text{для } L^* < L; \\ S(\varphi_0)/S^* = L^*/L &= \operatorname{tg}(\sin^{-1}((\sin \varphi_0^*)/1,585))/\operatorname{tg}(\sin^{-1}((\sin \varphi_0)/1,585)) \\ &\text{для } L^* < L. \end{aligned} \quad (3)$$

З урахуванням (3) можна встановити взаємозв'язок між ефективною поверхнею й коефіцієнтом світлоповертання елемента $R(\varphi_0)$ [3]. Графіки таких залежностей [2] для різних кутів оптимізації $(\varphi_0)^*$ наведені на рис. 2.

Відомий асиметричний світлоповертальний елемент [1] має істотний недолік, який полягає в низькій технологічності при здійсненні операції металізації поверхонь мікрокубів, яка необхідна для забезпечення належного коефіцієнта відбиття, та операції відокремлення елементів із мікрорельєфом від матриці-штампа при тиражуванні світлоповертальних елементів, внаслідок того що одна з робочих граней мікрокубів



рельєфу вертикальна до утворюючої поверхні елемента. У результаті цього при відокремленні відбитку від матриці виникають значні внутрішні напруження, які сприяють деформаціям і пошкодженням робочих поверхонь, що веде до відповідного значного зменшення коефіцієнта світлоповертання $R(\varphi_0)$.

Рис. 2. Коефіцієнт світлоповертання для кутів оптимізації: $\varphi_0^* = 10^\circ$ (крива 1), 20° (2), 30° (3), 40° (4), 50° (5), 60° (6), 70° (7) і 90° (8). Крива 9 – експеримент ІПРІ для системи «полікарбонат-повітря» за умови $L/W = 0,73$

СИМЕТРИЧНІ СВІТЛОПОВЕРТАЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ

За коефіцієнтом активної апертури асиметричні катафоти [1] мають істотну перевагу перед так званими прямими (симетричними) [4], мікрорельєф яких симетричний відносно нормалі до утворюючої поверхні. У традиційному варіанті, мікрокубична симетрична світлоповертальна поверхня з груп кутових відбивачів, утворюється трьома серіями заглиблень мікрорельєфу. Зазначені серії заглиблень, як правило, розміщуються під кутом 60° відносно одна одної, створюючи симетричні усічені мікротетраедри, при цьому кут між гранями $\zeta = 70^\circ 32'$. Пучок світла падає на робочі грані мікрокубів під оптимальним кутом $35^\circ 16'$, який вимірюється між кожною з граней та нормаллю до утворюючої пластини, яка називається віссю світлоповертального елемента. Максимальний коефіцієнт активної апертури k_a для таких симетричних світлоповертачів становить близько 0,67. Симетричний світлоповертальний елемент досить технологічний з точки зору здійснення процесу металізації та тиражування відбитків методом гарячого пресування або лиття під тиском, тому за коефіцієнтом світлоповертання симетричні та асиметричні елементи практично аналогічні.

Типова залежність коефіцієнта світлоповертання $R(\varphi_0)$ від кута освітлення φ_0 для деяких типів світлоповертачів наведена на рис. 3. Симетричні світлоповертачі незамінні у випадках освітлення утворюючої поверхні світлоповертача нормально до утворюючої поверхні ($\varphi_0 = 0^\circ$), або при малих кутах освітлення (аксесуари одягу пішоходів, контурне маркування автомобілів, застережні знаки тощо), коли ефективність їхнього світлоповертання максимальна.

Зі збільшенням кута освітлення φ_0 відбувається зниження коефіцієнта світлоповертання $R(\varphi_0)$, яке досить значне при великих кутах освітлення. Це пов'язано з відповідним зменшенням коефіцієнта активної апертури k_a . На рис. 3 (крива 2) наведений графік ефективної поверхні k_a симетричного елемента в залежності від кута освітлення φ_0 з роботи [5], який нормований на відповідний коефіцієнт світлоповертання. Існує відповідна кореляція цих двох залежностей (криві 1 та 2), і зменшення світлоповертання з ростом кута освітлення φ_0 пов'язано з не оптимальними умовами освітлення груп кутових відбивачів при великих значеннях кута φ_0 . Різниця кривих 1

та 2 (рис. 3) пояснюється тим, що крива 2 фактично представляє собою теоретичну залежність ефективної поверхні $k_a = f(\varphi_0)$ від кута φ_0 , яка розрахована для одиничного симетричного усіченого тетраедра для випадку, коли кут освітлення φ_0 відносно осі елемента змінюється в площині, що перпендикулярна одному з ребер тетраедра. Крива 1 відноситься до експериментально отриманого коефіцієнта світлоповертання $R(\varphi_0)$, який обумовлений відбиттям світла від декількох тисяч мікротетраедрів рельєфу з одиниці поверхні світлоповертального елемента, і на який також впливають процеси інтерференції світла на мікрорельєфі та розсіювання світла на дефектах поверхні. Тому функція $R(\varphi_0) = f(\varphi_0)$ (рис. 3, крива 1) у позитивній та негативній областях зміни кута освітлення φ_0 виявляється симетричною відносно кута φ_0 , а теоретична функція (рис. 3, крива 2) істотно несиметрична.

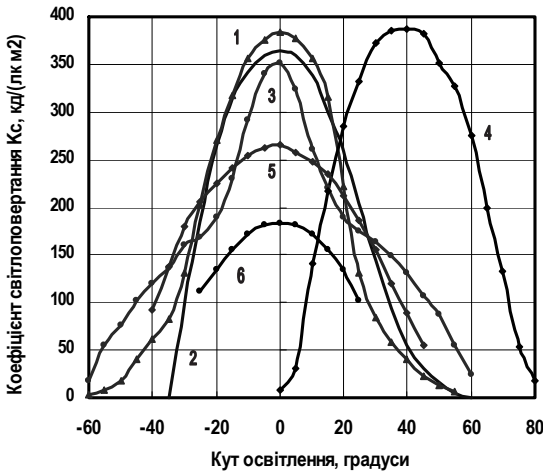


Рис. 3. Коефіцієнт світлоповертання $R(\varphi_0)$ в залежності від кута освітлення φ_0 для деяких типів світлоповертачів:

- 1 – симетричний мікропризмний елемент ІПРІ;
- 2 – розрахункова величина світлоповертання для симетричного елемента;
- 3 – симетричний елемент виробництва компанії «SHI-BO» (Китай);
- 4 – асиметричний мікропризмний елемент ІПРІ;
- 5 – плівка з мікрокульками компанії «ЗМ» (США);
- 6 – катафот зі скляними сферами компанії «Swareflex» (Австрія)

Істотним недоліком симетричного елемента [4] є помітне зниження коефіцієнта активної апертури k_a при відхиленні напрямку освітлення від осі елемента. Наприклад, при освітленні світлоповертальної поверхні під кутом $\varphi_0 = 30^\circ$, коефіцієнт активної апертури k_a становить лише 0,25 [6], внаслідок чого помітно знижується коефіцієнт світлоповертання $R(\varphi_0)$. Для кута $\varphi_0 = 60^\circ$, який реалізується для дорожніх катафотів, симетричний елемент [4] взагалі не може використовуватися, тому що для цього випадку $R(\varphi_0) = 0$.

Зазначений недолік можна усунути таким чином, що необхідні для світлоповертання групи кутових відбивачів із трьох взаємно перпендикулярних граней утворюються на внутрішній поверхні пластини із прозорого для світла матеріалу, яка зроблена у вигляді клину. У цьому випадку буде відновлено оптимальні умови освітлення, й промінь після заломлення в матеріалі пластини буде попадати на мікрорельєф строго вздовж осі світлоповертального елемента.

Враховуючи, що зменшення світлоповертання внаслідок зниження коефіцієнта активної апертури k_a не істотне для кутів освітлення $\varphi_0 < 10^\circ$ (рис. 3, крива 1), яким відповідають кути заломлення $\varphi_1 < 6^\circ$, кут клиноподібної пластини θ можна визначити як $\theta = \sin^{-1}(\sin \varphi_0/n_1) - \varepsilon$, де значення ε дорівнює $\sim 6^\circ$. Тоді, наприклад, для кутів освітлення $\varphi_0 = 60^\circ, 45^\circ$ і 29° , що важливі з ряду практичних міркувань, оптимальні значення кута клину θ становлять, відповідно, близько $27^\circ, 20^\circ$ і 11° . Такі значення

величини клину дозволяють забезпечити практично оптимальне освітлення граней мікрорельєфу симетричних світлоповертальних елементів і досягти максимального світлоповертання. Остаточне значення кута клину θ визначається в залежності від умов експлуатації дорожніх катафотів і матеріалу світлоповертального елемента. Як правило, оптимальна величина клину θ становить $(5-30)^\circ$.

Клиноподібну форму пластини, на якій формується мікрорельєф, можна також утворювати шляхом надання ступінчатої форми плоскогранній пластині за рахунок формування серій індивідуальних заглиблень трикутного профілю, при цьому кожне із трикутних заглиблень має один і той же кут клина θ .

Відзначимо, що всі світлоповертальні елементи незалежно від їхньої конструкції мають принциповий недолік, який полягає в тому, що при кутах освітлення φ_0 , що перевищують $50-60$ градусів, при незмінному потоці Φ_0 різко збільшуються втрати світлоповертання за рахунок зменшення освітленості однієї поверхні катафоту $\Phi(\varphi_0) = \Phi_0 \cos(\varphi_0)$, а також через зростання втрат на відбиття світлового потоку від утворюючої поверхні, оскільки лише частина потоку $\Phi_0 \cos \varphi_0 k_{trans}$ пройде всередину катафоту. Так, при куті освітлення $\varphi_0 = 40^\circ$ ці втрати становлять 28% , а для $\varphi_0 = 60^\circ$ втрати світлоповертання зростають до 55% , тобто майже у два рази.

Компенсувати це принципове обмеження при проектуванні катафотів будь-яких типів можливо шляхом надання утворюючій пластині, на якій формується мікрорельєф, спеціального рифлення на її зовнішній поверхні.

Використання на зовнішній поверхні світлоповертального елемента спеціального рифлення зменшує необхідним чином кут освітлення поверхні елемента φ_0 і, відповідно, підвищує освітленість його поверхні при незмінному потоці Φ_0 , збільшуючи ефективність світлоповертання. Рифлення створюється у вигляді асиметричних заглиблень трикутного профілю, при цьому одна із граней розміщується паралельно напрямку освітлення поверхні світлоповертального елемента, щоб уникнути екранування світлового потоку.

Кут канавок рифлення ζ залежить від робочого кута освітлення світлоповертального елемента. В оптимальному варіанті конструкції елемента кут рифлення ζ становить $110-130^\circ$ залежно від кута освітлення φ_0 , що достатнім чином зменшує витрати світлового потоку при відбитті потоку від утворюючої поверхні елемента і підвищує ефективність світлоповертання. Наприклад, у разі виготовлення елемента з полікарбонату для випадку освітлення поверхні під кутом $\varphi_0 = 60^\circ$ та кута рифлення $\zeta = 130^\circ$, освітлення поверхні збільшується в $1,96$ рази, при цьому для значення поправки $\varepsilon = 10^\circ$, максимальне світлоповертання відповідає куту клина $\theta = 33^\circ 56'$.

Шаг серії асиметричних канавок V визначається таким чином, щоб, виходячи з режиму експлуатації зовнішніх поверхонь дорожніх світлоповертачів в умовах атмосферних забруднень, глибина канавок рифлення H не перевищувала $3-5$ мм, тому величина V залежно від кута ζ становить $9-15$ мм.

Зазначений симетричний світлоповертальний елемент дозволяє, зокрема, використовувати для масового виробництва дорожніх катафотів сучасні машини інжекційного лиття, поєднуючи високу технологічність із досконаліми світлоповертальними властивостями при великих кутах освітлення робочих поверхонь.

ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ МІКРОРЕЛЬЄФНІ СТРУКТУРИ

Іншим напрямком поліпшення світлоповертальних властивостей елементів є використання спеціальних люмінесцентних світлогенеруючих шарів на поверхні світлоповертача. У люмінесцентних світлоповертальних елементах відбувається об'єднання призм і люмінофорів. Головною особливістю люмінесцентних світлоповертальних

структур порівняно із традиційними призмовими світлоповертачами є те, що крім суто світлоповертального ефекту такі структури за рахунок збудженої фотолюмінесценції в півці здатні додатково випромінювати світло в синій, жовтій, оранжевій або червоній областях спектра. Перевага подібних призмових структур виявляється особливо в темну пору доби та в умовах погіршеної видимості. При створенні люмінесцентних світлоповертальних елементів використовуються різні методи, такі як внесення люмінесцентної суміші в матеріали, з яких виготовляються призмові структури (полікарбонат, полівінілхлорид, поліметилметакрилат тощо), об'ємне фарбування матеріалів, нанесення люмінесцентної плівки на окрему підкладку з наступним механічним з'єднанням цих двох структур. Для досягнення максимальної ефективності люмінесцентних світлоповертальних структур використовують також комбінації різних технологічних рішень.

Поширений спосіб виготовлення люмінесцентних світлоповертальних структур [7] полягає в нанесенні на підкладку послідовності призмових світлоповертальних елементів пірамідальним твердотільним інструментом і виготовлення копій на полімерних матеріалах, які є основою для люмінесцентних світлоповертальних елементів. Далі на поверхню наносяться люмінесцентні плівки значно меншої товщини в порівнянні з товщиною основи. Для створення люмінесцентних структур зі світінням у визначеній спектральній області потрібно підбирати тип відповідних барвників.

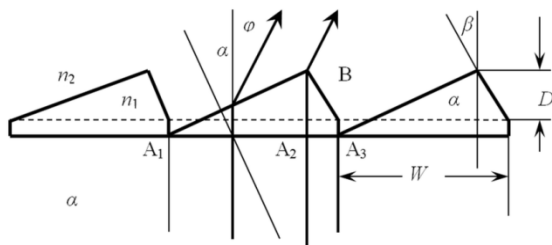
Спосіб, що запропонований в ІПРІ НАН України [8], базується на нанесенні на поверхню світлоповертача спеціальних полімерних плівок із мікропризмовою структурою, при цьому в якості люмінесцентних плівок використовуються світлогенеруючі неорганічні матеріали, які розчинені в органічних лаках. Зазначені плівки під дією зовнішніх світлових джерел не тільки випромінюють світло в синій, зеленій та червоній областях спектра в залежності від типу добавки, а також накопичують світлову енергію, яку потім випромінюють на протязі 1–3 годин після закінчення дії зовнішнього світла. Подібні люмінесцентні структури мають адгезійну стійкість до полімерних підкладок за рахунок кремній-органічних зв'язуючих розчинників. Кінцевим етапом є технологічний процес з'єднання мікропризмових світлоповертальних елементів із люмінесцентними плівками, що базується на технології низькотемпературного зварювання тонких плівок люмінесцентних матеріалів із підкладкою, на якій сформована мікропризмозна структура. Висока ефективність світіння в подібних структурах забезпечується як повним відбиттям світла на гранях мікропризмових елементів, так і ефективним накачуванням світлогенеруючих елементів світлом широкого діапазону від ультрафіолетового до середнього інфрачервоного спектра. Такі світлоповертальні структури знайдуть широке використання для оснащення автошляхів і автомагістралей, трас кабельних мереж, місць проведення аварійних і небезпечних робіт, а також для контурного маркування великовантажних автомобілів, оснащення спецодягу дорожніх робочих, працівників міліції та аварійно-рятувальних служб.

МІКРОРЕЛЬЄФНІ СТРУКТУРИ В ОФТАЛЬМОЛОГІЇ

Ще одним напрямком застосування мікропризмових технологій, що розроблені в ІПРІ НАН України, є створення елементів із мікрорельєфом для використання в офтальмології для діагностики та лікування косоокості зору.

Мікропризмовим елементом Френеля, або просто мікропризмою, будемо називати тонку пластинку із гнучкого або твердого прозорого матеріалу, одна сторона якої має гладку поверхню, а на іншу нанесений мікрорельєф, який відхиляє промінь на кут φ . Форма такого мікропризмового рельєфу схематично показана на рис. 4.

Рис. 4. Схема мікропризмового елемента Френеля. Крок рельєфу $W = 0,1-2,0$ мм, глибина рельєфу D становить $n_2 = 10-300$ мкм залежно від кроку W та оптичної сили мікропризми Δ



Промінь світла проходить нормально до основи мікропризми з коефіцієнтом заломлення n_1 . Після заломлення на границі розділу середовищ світловий потік, що пройшов через мікропризмний елемент, відхиляється на кут φ відносно первинного напрямку й попадає в середовище з коефіцієнтом заломлення n_2 . На рис. 4 показаний хід променів через мікропризму для випадку $n_1 > n_2$, що в офтальмологічній практиці реалізується найчастіше.

Оптична сила мікропризмового елемента Δ за аналогією зі звичайними скляними призмами вимірюється в призмових діоптріях (PD). Мікропризма з оптичною силою $\Delta = 1$ PD відхиляє промінь світла на величину 1 см на відстані 1 м, тобто незалежно від матеріалу призми, величина оптичної сили мікропризми Δ однозначно пов'язана з кутом відхилення призми φ , а саме: $\text{tg}\varphi = \Delta(\text{см})/100$ [9]. Співвідношення між кутом відхилення φ променя мікропризмним елементом і кутом заломлення мікропризми α можна знову визначити із закону Снелліуса [3], який для цього випадку зручно записати у вигляді: $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin(\alpha + \varphi)$. Для випадку знаходження мікропризми в повітрі $n_2 = 1,0$, або $\text{tg}\alpha = \sin\varphi/(n_1 - \cos\varphi)$.

Відзначимо, що для цього випадку в разі виготовлення мікропризми з полікарбонату ($n_1 = 1,585$) при падінні променів світла нормально до утворюючої поверхні мікропризмного елемента, значення $\Delta = 1-50$ PD, важливі для офтальмологів, відповідають кутам заломлення $\alpha < 32^\circ 55' 37''$. Для оптичного скла ($n_1 = 1,52$) зазначений діапазон значень оптичної сили Δ відповідає кутам заломлення призми $\alpha < 35^\circ 33' 38''$.

Світловий потік проходить через мікропризмний елемент лише при кутах заломлення, що менші за граничний кут $\alpha_{\text{пред}}$, при якому промінь світла повністю відбивається гранню призми за рахунок внутрішнього відбиття. Граничний кут заломлення $\alpha_{\text{пред}}$ визначається із закону Снелліуса (2) за умови $(\alpha + \varphi) = 90^\circ$ та для $n_2 = 1,0$, який, наприклад, для оптичного скла складе $41^\circ 8' 22''$, а для полікарбонату кут $\alpha_{\text{пред}} = 39^\circ 07' 04''$. Технічно можливо виготовити мікропризмні структури з будь-яким кутом заломлення α . Однак, для створення практичних пристроїв, що зміщують зображення, фізичний зміст мають лише кути, які менші граничного. Тому надалі в розрахунках обмежимося кутами $\alpha < 40^\circ$.

Теоретичні засади та методи виготовлення мікропризмних світлоповертачів та мікропризмних структур Френеля практично однакові. Різниця полягає лише в тому, що в першому випадку головною метою є досягнення максимального коефіцієнта світлоповертання $R(\varphi_0)$, а в другому необхідно забезпечити зміщення променя світла на строго визначений кут з максимально якісним зображенням при мінімальних витратах світлового потоку.

У разі формування мікрорельєфу методом алмазного різання [5], розрахунки витрат світлового потоку при проходженні променя через мікропризмні структури

необхідні, перш за все, для вибору оптимальних кутів заточення алмазного ріжучого інструменту. Кут заточення різця γ задається величиною кута заломлення мікропризми α та другого кута β , що визначає кут скосу призми (рис. 4). Кут β зручно відраховувати від нормалі до утворюючої поверхні мікропризми, оптимальне значення кута β не перевищує $10\text{--}12^\circ$, що залежить від кроку нарізки W та глибини мікрорельєфу D .

Потік світла, що пройшов через зону мікропризми A_2A_3 , за умови $\beta < 10\text{--}12^\circ$, знає повне внутрішнє відбиття від бокової грані мікропризми й тому розсіюється всередині призми. Відповідний коефіцієнт k_1 витрат випромінювання за рахунок скранування частини світлового потоку боковою гранню мікропризми, можна визначити як відношення потоку A_2A_3 до всього падаючого на мікропризму потоку A_1A_3 .

Легко визначити, що:

$$\begin{aligned} W &= A_1A_3 = A_1A_2 + A_2A_3, \\ D &= A_1A_2 \operatorname{tg} \alpha, \\ A_2A_3 &= D \operatorname{tg} \beta = A_1A_2 \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta, \end{aligned}$$

звідки:

$$\begin{aligned} k_1 &= A_2A_3 / A_1A_3 = (\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta) / (1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta), & (4) \\ D &= W \operatorname{tg} \alpha / (1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta). & (5) \end{aligned}$$

З використанням (4), (5) для кожного значення кута заломлення мікропризми α легко отримати співвідношення між кроком нарізки W , кутом скосу призми β та глибиною рельєфу D . Остаточні значення зазначених параметрів визначаються з умов оптимальності процесу пресування або лиття під тиском при тиражуванні кінцевих виробів.

Коефіцієнт витрат випромінювання k_2 , пов'язаний із внутрішнім відбиттям світлового потоку A_1A_2 від заломлюючої грані мікропризми, для різних кутів α визначався знову з використанням формул Френеля [3], які з урахуванням (4), (5) можна записати наступним чином:

$$k_2 = 0,5 \{ \operatorname{tg}^2(\varphi) / \operatorname{tg}^2(2\alpha + \varphi) + \sin^2(\varphi) / \sin^2(2\alpha + \varphi) \}. \quad (6)$$

Для розрахунку додаткових витрат випромінювання, пов'язаних із прямим відбиттям світлового потоку від грані A_1A_3 мікропризми, застосуємо наближені формули Френеля [3] для нормального падіння променів:

$$k_3 = \{ (n_1 - n_2) / (n_1 + n_2) \}^2. \quad (7)$$

Наприклад, для полікарбонату ($n_1 = 1,585$) у повітрі ($n_2 = 1,0$) коефіцієнт відбиття k_3 для однієї заломлюючої грані дорівнює $5,12\%$. Для поліуретану ($n_1 = 1,50$) коефіцієнт $k_3 = 4,00\%$.

При розрахунках сумарних витрат випромінювання в мікропризмах усі три коефіцієнти k_1 , k_2 та k_3 помножуються. Ці значення сумарних витрат випромінювання необхідно враховувати при проектуванні практичних мікропризмових пристроїв зсуву зображень.

Зменшення витрат світлового потоку шляхом геометричної оптимізації рельєфу є одним із напрямків підвищення якості мікропризмових елементів. При створенні світлоповертальних пристроїв для офтальмології виключно важливим є досягнення максимальної якості оптичних поверхонь [7]. Це можна здійснити лише за рахунок надвисокої точності відтворення кутових і лінійних розмірів під час виготовлення та тиражування мікропризмових елементів. Виготовлення мікропризмових світлоповер-

тальних пристроїв методом алмазного різання [5] складається з декількох етапів:

- виготовлення спеціального ріжучого інструменту;
- виготовлення майстер-штампа (оригіналу);
- виготовлення методом гальванопластики робочої нікелевої матриці;
- виготовлення мікропризмових копій на полімерних матеріалах (полікарбонат, поліметилметакрилат тощо).

Якість оптичних поверхонь, у першу чергу, забезпечується високими властивостями ріжучого інструменту, за допомогою якого виготовляється майстер-штамп. Заточка необхідного кута різання спеціального ріжучого інструменту здійснюється на модернізованому станку тонкого алмазного точіння з лазерною системою виставлення різця та поворотною головкою з високоточними лімбами. Грані виготовленого різця відповідають 14-му класу чистоти, максимальне відхилення кутових розмірів не перевищує 10 кутових секунд.

Виготовлення оригіналу здійснюється на модернізованому станку тонкого алмазного точіння. Необхідні кути нахилу ріжучих граней та кут канавки трикутного профілю контролюються за допомогою лазерних систем, які забезпечують виготовлення мікропризмових елементів, максимальне відхилення кутових розмірів котрих не перевищує 10 кутових секунд. Нарізка здійснюється шляхом послідовного заглиблення різця [10] до досягнення необхідної глибини рельєфу. Додержання необхідних параметрів процесу різання, зокрема, строгого додержання заданого кроку розташування трикутних канавок, забезпечується шляхом комп'ютерного регулювання процесу різання за спеціальною програмою.

Значне погіршення якості поверхні нарізаних мікроструктур спричинюють вібрації ріжучого інструменту під час процесу різання. Для мінімізації впливу вібрацій використовуються віброізоляційні опори. Шпиндель заточного станка, стіл поперечного переміщення, поворотний стіл і каретка станка для виготовлення майстер-штампів розміщуються на спеціальних аеростатичних підшипниках, осьове й радіальне биття яких не перевищують 0,1 мкм, радіальна й осьова жорсткість опор становить 6–8 кг/мкм.

Велике значення для отримання високоякісної оптичної поверхні має вибір матеріалу заготовки. Заготовка повинна мати певну твердість і в той же час бути достатньо пластичною, щоб при різанні не створювалися дефекти поверхні типу виривів, вм'ятин, задрів тощо, тому найчастіше використовуються сплави алюмінію типу В95 та бронзи типу БрКМЦ. Змазуючо-охолоджувальні рідини повинні мати високу текучість, що наближується до текучості керосину.

Виготовлення копій відбувається методом гарячого пресування та литтям під тиском, при цьому мікрорельєф оригіналу повністю відтворюється на полімерних копіях. На всіх етапах процесу здійснюється жорсткий контроль параметрів. Якість готових виробів контролюється візуально за допомогою мікроскопів, автоколімаційними методами та лазерами.

ВИСНОВКИ

Проведено аналіз світлоповертальних структур різних типів. Запропоновано методику оптимізації характеристик асиметричних світлоповертальних елементів при зміні кута освітлення його поверхні. Досліджено взаємозв'язок між геометричними та світлотехнічними характеристиками таких елементів, що є основою проектування світлоповертальних елементів різного призначення.

Запропоновано шляхи компенсування зниження ефективності світлоповертання існуючих світлоповертальних елементів внаслідок відбиття частини потоку світла від

поверхні елемента та зменшення освітлення одиничної площини поверхні при незмінному потоці Φ_0 при розташуванні робочої поверхні елемента під кутом φ_0 до напрямку освітлення її потоком Φ_0 .

Розраховано витрати інтенсивності світлового потоку при проходженні променя через мікропризмові структури Френеля з оптичною силою $\Delta = 1-50$ PD, що відповідає мікрорельєфу з кутами мікропризм $\alpha = 1-35^\circ$. Для виготовлення мікропризмових матриць-оригіналів із такими кутами заломлення мікропризм досить трьох типів алмазних різців із кутами різання 60° , 70° та 90° . При цьому світлові витрати при проходженні світлового пучка через мікропризмовий рельєф у зазначеному діапазоні зміни оптичної сили мікропризм становить до 10 % внаслідок процесу екранування потоку та додатково до 10 % внаслідок відбиття променів від граней мікропризм.

Звичайно, неможливо детально проаналізувати всі існуючі в інституті напрямки досліджень у галузі створення сучасних мікропризмових світлоповертальних структур. Сьогодні досягнень менше ніж існує проблем, але Інститут проблем реєстрації інформації НАН України в цьому напрямку знаходиться практично на початку шляху, нові досягнення ще попереду.

1. US Patent 4,895,428. Int.Cl.G02B5/124. High Efficiency Retroreflective Material/J.C.Nelson, S.Cobb; 1990, Jan. 23.
2. Петров В.В., Шанойло С.М., Крючин А.А., Антонов Е.Е., Кравец В.Г. Моделирование свойств асимметричных световозвращающих элементов // Реєстрація, збер. і оброб. даних. 2007. Т. 9, № 2. С. 17–25.
3. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. – М.: Наука, 1973. 720 с.
4. US Patent 5,831,767, G02B 5/122; G02B 5/124, Int. Cl. Asymmetric Cube Corner Article / Benson G.M., Smith K.I. (USA); «3M» Company. – St. Paul, Minn. (USA); 1998, Nov. 3.
5. Пат. 71672 України, МКИ 7 G02B5/12. Спосіб виготовлення світлоповертальних елементів / В. В. Петров, С. М. Шанойло, Л. В. Бутенко, А. А. Крючин, В. М. Зенін, В. Д. Ковтун, О. К. Войтенко (Україна); ІПРІ НАН України. – № 2002108488; Заявл. 25.10.2002; Опубл. 15.12.2004. – С. 2.
6. Eckhardt H.D. Simple Model of Corner Reflector Phenomena // Applied Optics. 1971, July. Vol. 10, N 7.
7. US patent 6,531,205. Int. Cl. Fluorescent Yellow Retroreflective Sheeting / Buoni et al. («Avery Dennison Corporation», CA, USA). – March 11. – 2003.
8. Кравец В.Г., Петров В.В., Шанойло С. М., Крючин А. А., Зенін В. М., Гранат О. І., Числов Д. С. Спосіб виготовлення призмових світлоповертальних елементів з використанням люмінесцентних світлогенеруючих шарів. Заявка на винахід. 2006.
9. Урмахер Л.С., Айзенштат Л.И. Оптические средства коррекции зрения. – М.: Медицина, 1990. 256 с.
10. Пат. 74034 України, G02B5/124, B32B3/00. Спосіб виготовлення призмоподібних світлоповертальних елементів / В. В. Петров, С. М. Шанойло, О. І. Гранат, Л. В. Бутенко, А. А. Крючин, В. М. Зенін, В. Д. Ковтун, О. К. Войтенко, В. О. Заболотний, П. В. Майстренко, А. В. Ковальчук (Україна); ІПРІ НАН України. – № 2003076449; Заявл. 10.07.2003; Опубл. 17.10.2005. – 2 с.

Світлоповертальний елемент для дорожніх катафотів

В. В. Петров, Є. Є. Антонов, А. А. Крючин, С. М. Шанойло

Патент України на винахід № 86995, МПК G02B 5/12.
Бюлетень № 11 від 10.06.2009.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Світлоповертальний елемент для дорожніх катафотів, який складається з утворюючої пластини з прозорого для світла матеріалу, на внутрішній поверхні якої сформовано рельєф в вигляді груп кутових відбивачів із трьох взаємно перпендикулярних граней, який відрізняється тим, що утворююча пластина, на якій сформовано групи кутових відбивачів, має клиноподібну форму з кутом $5-30^\circ$.

2. Світлоповертальний елемент за п.1, який відрізняється тим, що кут клина утворюючої пластини клиноподібної форми дорівнює куту заломлення променя світла в матеріалі пластини.

3. Світлоповертальний елемент за п.1, який відрізняється тим, що клиноподібна форма утворюючої пластини утворено серією заглиблень трикутного профілю на плоскогранній пластині з прозорого для світла матеріалу, при цьому кожне з заглиблень має один і той же кут клину.

4. Світлоповертальний елемент за п.1, який відрізняється тим, що рельєф в вигляді груп кутових відбивачів із трьох взаємно перпендикулярних граней сформовано на внутрішній поверхні утворюючої пластини, яка має рифлення на своїй зовнішній поверхні, що зменшує кут освітлення цієї зовнішньої поверхні.

5. Світлоповертальний елемент за п.4, який відрізняється тим, що рифлення на зовнішній поверхні утворюючої пластини створено в вигляді асиметричних канавок трикутного профілю, при цьому менша грань канавок паралельна напрямку освітлення цієї утворюючої поверхні, а кут рифлення становить $110-130^\circ$.

6. Світлоповертальний елемент за п.1, який відрізняється тим, що групи кутових відбивачів створено шляхом формування на утворюючій пластині мікропризмового рельєфу з трьох серій канавок, при цьому зазначені серії канавок розміщено симетрично відносно друг друга під кутом 60° .

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

Винахід належить до прикладної оптики, зокрема, до світлоповертальних пристроїв, які широко використовуються в шляховому господарстві для оснащення автошляхів.

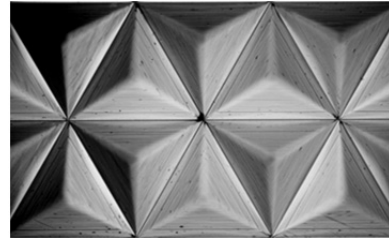
Існує багато типів світлоповертальних елементів або світлоповертачів, що повертають промінь світла у напрямку, строго зворотньому напрямку падаючого променя за рахунок відбиття променя від трьох взаємно перпендикулярних граней груп кутових відбивачів, створених на утворюючій поверхні. В сучасних світлоповертальних елементах групи кутових відбивачів формуються шляхом нанесення спеціального мікрорельєфу. Тиражування світлоповертальних елементів найчастіше здійснюється методами гарячого пресування або лиття під тиском на твердих та гнучких прозорих пластичних матеріалах, конструктивно вони можуть бути виготовлені у вигляді плоских оптичних елементів або плівки зі світлоповертальною поверхнею.

Важливою вимогою до світлоповертальних елементів є висока ефективність їх функціонування при великих кутах освітлення φ_0 робочих поверхонь, а також технологічність виготовлення.

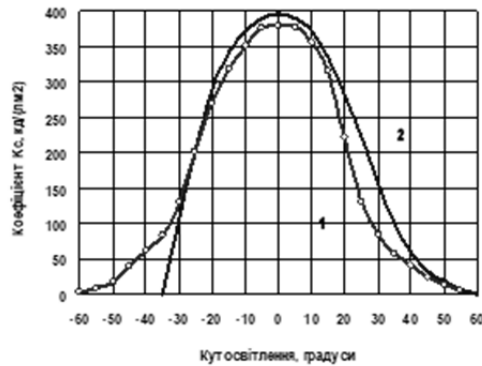
Відомий світлоповертальний елемент [1], обраний як аналог, призначений саме для роботи при великих ($\varphi_0=30-60^\circ$) кутах освітлення. Тригранний мікрокуб в цьому елементі утворюється двома серіями взаємно перпендикулярних заглиблень різного профілю. Одне з заглиблень має прямокутний профіль (кут між стінками заглиблення становить 90°), а друге виготовляється таким чином, що одна його стінка вертикальна до утворюючої поверхні, а інша розміщується під гострим кутом α до неї ($\alpha=10-30^\circ$). Для таких асиметричних елементів коефіцієнт активної апертури (ефективна поверхня) k_a , що визначається відношенням робочої зони світлоповертального елемента до загальної площі його поверхні, може досягати 100 %. Подібні елементи дозволяють створити дорожні катафоти, які є максимально ефективними при великих кутах освітлення φ_0 .

Недоліком аналогу [1] є низька технологічність при здійсненні операції металізації поверхонь мікрокубів, яка необхідна для забезпечення належного коефіцієнту відбиття, та операції відокремлення від матриці-штампу елементів з мікрорельєфом при виготовленні світлоповертальних елементів, внаслідок того, що одна з робочих граней мікрокубів рельєфу вертикальна до утворюючої поверхні елемента. В результаті цього при відокремленні відбитку від матриці виникають значні внутрішні напруження, які сприяють деформаціям та пошкодженням робочих поверхонь, що веде до відповідного значного зменшення коефіцієнту світлоповертання k_c .

Інша конструкція дорожніх катафотів базується на використанні мікрокубічної симетричної структури [2], обрана як прототип, в якій світлоповертальна поверхня з груп куткових відбивачів, утворюється трьома серіями заглиблень мікрорельєфу. В традиційному варіанті зазначені серії заглиблень розміщуються під кутом 60° відносно одна одної, створюючи симетричні усічені мікротетраедри, при цьому кут між гранями $\alpha = 70^\circ 32'$ (фіг.1.1). Максимальний коефіцієнт активної апертури k_a для них становить близько 0,67 при освітленні такого елемента нормально до утворюючої пластини ($\varphi_0 = 0^\circ$). При цьому пучок світла падає на робочі грані мікрокубів під оптимальним кутом $35^\circ 16'$, який вимірюється між кожною із граней та нормаллю до утворюючої пластини. Будемо називати цей напрямком вісю світлоповертального елемента. Подібний, так званий симетричний світлоповертальний елемент досить технологічний з точки зору здійснення процесу металізації та тиражування відбитків методом гарячого пресування або лиття під тиском.



Фіг. 1.1



Фіг. 2.1

Істотним недоліком прототипу [2] є помітне зниження коефіцієнту активної апертури k_a світлоповертального елемента при відхиленні напрямку освітлення від осі елемента. Наприклад, при освітленні світлоповертальної поверхні під кутом $\varphi_0=30^\circ$, коефіцієнт активної апертури k_a становить лише 0,25 [3], внаслідок чого помітно знижується коефіцієнт світлоповертання k_c . Для кута $\varphi_0 = 60^\circ$, який реалізується для дорожніх катафотів, елемент [2], взагалі не може використовуватися, тому що для цього випадку коефіцієнт $k_c = 0$.

Ще одним загальним недоліком будь-якого існуючого світлоповертального елемента, поверхня якого встановлюється під кутом φ_0 до напрямку освітлення потоком Φ_0 , є падіння ефективності світлоповертання внаслідок відбиття частини потоку світла від цієї поверхні та зменшення освітлення одиничної площини поверхні при незмінному потоці Φ_0 .

Задачею винаходу є підвищення ефективності світлоповертання та досягнення максимального коефіцієнту активної апертури k_a світлоповертального елемента при великих кутах освітлення.

Зазначена задача вирішується таким чином, що необхідні для світлоповертання групи кутових відбивачів із трьох взаємно перпендикулярних граней створюються на внутрішній поверхні пластини з прозорого для світла матеріалу, яка зроблена в вигляді клину та має спеціальне рифлення на зовнішній поверхні.

Світлоповертальний елемент, згідно з цим винаходом, розроблено на основі результатів досліджень процесу світлоповертання. Для симетричного світлоповертального елемента (фіг. 1.1), у якому групи кутових відбивачів створюються шляхом нанесення мікропризмового рельєфу на внутрішню поверхню утворюючої пластини, типова залежність коефіцієнту світлоповертання k_c від кута освітлення φ_0 наведена на фіг. 1.2 (крива 1). Оптимальними є умови освітлення, коли промінь світла падає на утворюючу поверхню під кутом $\varphi_0 = 0^\circ$. В цьому випадку ефективність світлоповертання є максимальною. Зі збільшенням кута освітлення φ_0 відбувається зниження коефіцієнту світлоповертання k_c , яке досить значне при великих кутах освітлення. Це пов'язано з відповідним зменшенням коефіцієнту активної апертури k_a . На фіг. 1.2 (крива 2) наведено графік ефективної поверхні k_a симетричного елемента [3], нормований на відповідний коефіцієнт світлоповертання в залежності від кута освітлення φ_0 . Існує відповідна кореляція цих двох функцій і зменшення світлоповертання з ростом кута освітлення φ_0 пов'язано з не оптимальними умовами освітлення груп кутових відбивачів при великих значеннях кута φ_0 . Різниця кривих 1 та 2 (фіг. 1.1) пояснюється тим, що крива 2 фактично представляє собою теоретичну залежність ефективної поверхні $k_a = f(\varphi_0)$, розраховану для одиничного симетричного усіченого тетраедра у випадку, коли кут освітлення φ_0 відносно осі елемента змінюється в площині, перпендикулярній одному з ребер тетраедра. Крива 1 відноситься до експериментально отриманого коефіцієнту світлоповертання k_c , який обумовлений відбиттям світла від декількох тисяч мікротетраєдрів рельєфу з одиниці поверхні світлоповертального елемента і на який також впливають процеси інтерференції світла на мікрорельєфі та розсіювання світла на дефектах поверхні. Тому функція $k_c = f(\varphi_0)$ (фіг. 1.2, крива 1) в позитивній та негативній областях зміни кута освітлення φ_0 виявляється симетричною відносно кута φ_0 , а теоретична функція (фіг. 1.2, крива 2) істотно несиметрична.

Для розрахунків кута φ_1 , під яким промінь світла падає на поверхню мікрорельєфу всередині світлоповертального елемента, якщо його зовнішня поверхня освітлюється під кутом $\varphi_0 > 0^\circ$, можна використати відомий закон заломлення світла Снелліуса [4]:

$$n_0 \sin \varphi_0 = n_1 \sin$$

де n_0 та n_1 – показники заломлення світла зовні та всередині елемента. Для випадку, коли мікрорельєф контактує безпосередньо з повітрям, для якого $n_0=1,0$, з закону заломлення світла можна отримати, що $\varphi_1=\sin^{-1}(\sin\varphi_0/n_1)$. Саме це співвідношення визначає кутову величину відхилення променя світла від оптимального напрямку $\varphi_0=0^\circ$.

В одному з варіантів світлоповертального елемента, згідно з цим виноходом, для створення оптимальних умов освітлення елемента, мікрорельєф створюється на пластині клиноподібної форми, при цьому напрямок клину відповідним образом орієнтований відносно напрямку заглиблень мікрорельєфу. На фіг.2.1 схематично зображено світлоповертальний елемент симетричного типу з мікропризмовим рельєфом 22, який сформований на пластині 21 клиновидної форми. Кут клину θ розраховується таким чином, щоб його величина дорівнювала куту заломлення променя світла φ_1 в матеріалі пластини при освітленні її зовнішньої поверхні 23 під кутом φ_0 . В цьому випадку буде відновлено оптимальні умови освітлення і промінь після заломлення в матеріалі пластини 21 буде попадати на мікрорельєф 22 строго вздовж осі світлоповертального елемента.

Будемо розглядати випадок, коли кут освітлення поверхні 23 змінюється в площині, що співпадає з напрямком осі світлоповертального елемента, перпендикулярно до однієї з трьох серій заглиблень мікрорельєфу. Цей випадок практично реалізується, коли дорожній катафот розміщується на полотні автошляху, наприклад, горизонтально відносно до полотна автошляху, а одне з заглиблень орієнтоване перпендикулярно напрямку руху транспорту. В цьому випадку для компенсації відхилення кута освітлення відносно осі світлоповертального елемента в вертикальному напрямку, клиноподібний елемент з мікрорельєфом розміщується таким чином, що клин встановлюється основою вниз.

Найчастіше, мікропризмовий рельєф утворюється на пластині, виготовленій з полікарбонату, для яких величина $n_1=1,585$. В цьому разі кут клина $\theta=\varphi_1=\sin^{-1}(\sin\varphi_0/1,585)$ і для розглянутого вище випадку $\varphi_0=60^\circ$ кут $\theta=33,120$ градуса. Кут $\varphi_0=45^\circ$ відповідає куту заломлення $\varphi_1=26,495$ градуса, а кут освітлення $\varphi_0=29^\circ$ буде оптимальним для максимального світлоповертання при $\theta=\varphi_1=17,811$ градуса.

Враховуючи, що зменшення світлоповертання внаслідок зниження коефіцієнту активної апертури k_a не істотне для кутів освітлення $\varphi_0<10^\circ$, (фіг.1.2, крива 2), яким відповідають кути заломлення $\varphi_1<6^\circ$, кут клиноподібної пластини 21 можна визначити, як $\theta=\sin^{-1}(\sin\varphi_0/n_1)-\varepsilon$, де значення ε дорівнює $\sim 6^\circ$. Тоді для $\varphi_0=60^\circ, 45^\circ$ та 29° оптимальні значення кута клину θ становлять, відповідно, близько 27, 20 та 11 градусів. Такі значення величини клину дозволяють забезпечити практично оптимальне освітлення граней мікрорельєфу 22 симетричних світлоповертальних елементів і досягти максимального світлоповертання. Остаточне значення кута клину θ визначається в залежності від умов експлуатації дорожніх катафотів та матеріалу світлоповертального елемента. Як правило, оптимальна величина клину θ , згідно з цим виноходом, становить (5-30)°.

В іншому варіанті конструкції світлоповертального елемента, згідно з цим виноходом, клиноподібна форма пластини 21, на якій формується мікрорельєф 22, утворюється шляхом надання ступінчатої форми плосогранній пластині 21 за рахунок формування серій індивідуальних заглиблень 24 трикутного профілю (фіг.2.2), при цьому кожне з трикутних заглиблень має один і той же кут клина θ . Мікрорельєф формується на першій грані заглиблень, а друга грань розміщується перпендикулярно до першої, щоб уникнути екранування освітлення мікрорельєфу. Цей варіант конструкції дозволяє зменшити витрати матеріалу на виготовлення запропонованого

світлоповертального елемента та підвищити технологічність процесу виготовлення, наприклад, методом лиття під тиском або високотемпературним пресуванням. Кут θ серії трикутних заглиблень 24 визначається аналогічно куту суцільної клиноподібної утворюючої пластини 21. Оптимальний шаг серії зазначених заглиблень W визначається індивідуально і залежно від товщини утворюючої пластини становить 5-20 мм в одному з варіантів пристрою, згідно з цим винаходом.

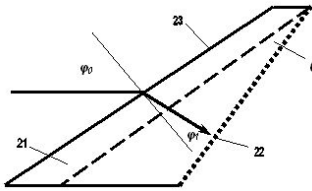


Fig. 2.1

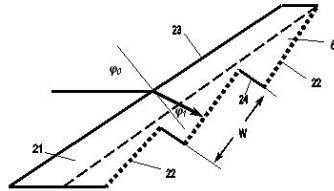


Fig. 2.2

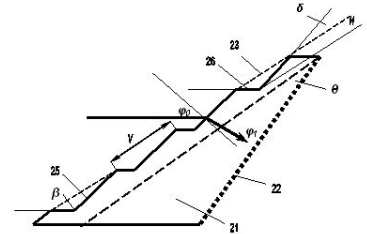


Fig. 3

В іншому варіанті світлоповертального елемента, згідно з цим винаходом, утворююча пластина 21, на якій формується мікрорельєф 22, має спеціальне рифлення 25 на своїй зовнішній поверхні 23 (фіг. 3) з метою підвищення ефективності світлоповертання. При освітленні поверхні з прозорого матеріалу з показником заломлення n_1 потоком Φ_0 під кутом φ_0 до нормалі до поверхні, усередину пластини пройде лише частина потоку $\Phi(\varphi_0) = \Phi_0[1 - k_r(\varphi_0)]$. Це обумовлено відбиттям частини потоку світла від зовнішньої поверхні з коефіцієнтом відбиття $k_r(\varphi_0)$, який розраховується за формулами Френеля [4]. Крім того, з ростом кута освітлення φ_0 при незмінному потоці Φ_0 знижується ефективність світлоповертання в напрямку джерела світла внаслідок того, що зменшується освітленість одиничної площини S_0 поверхні, яка змінюється за законом $S(\varphi_0) = S_0 \cos \varphi_0$. Тому коефіцієнт світлоповертання k_c буде визначатися лише частиною потоку $\Phi_0(\varphi_0) = \Phi_0 \cos \varphi_0 [1 - k_r(\varphi_0)]$ від загального потоку Φ_0 . Графік потоку $\Phi_0(\varphi_0)$ залежно від кута освітлення φ_0 наведений на фіг.4. Для кута $\varphi_0 = 30^\circ$ доля потоку $\Phi_0(\varphi_0)/\Phi_0 = 0,82$, тобто витрати становлять 18%. Але при кутах освітлення φ_0 , більших $55-60^\circ$, зменшення світлового потоку $\Phi_0(\varphi_0)/\Phi_0$ перевищує 50-55 %, тобто витрати збільшуються майже в 3 рази. Відповідним чином зменшується і коефіцієнт світлоповертання k_c .

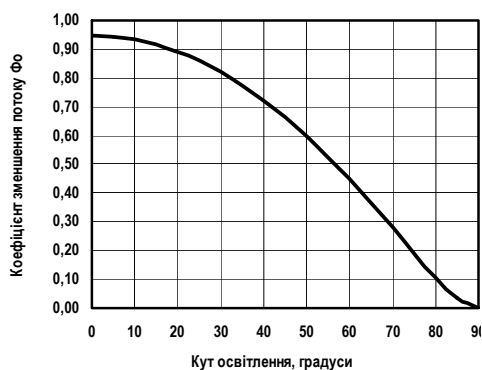
Використання на зовнішній поверхні 23 світлоповертального елемента спеціального рифлення 25 (фіг.3), відповідно до цього винаходу, зменшує необхідним чином кут освітлення поверхні елемента φ_0 і, відповідно, підвищує освітленість його поверхні при незмінному потоці Φ_0 , збільшуючи ефективність світлоповертання. Рифлення 25 створюється в вигляді асиметричних заглиблень трикутного профілю, при цьому менша грань канавок рифлення 26 паралельна напрямку освітлення поверхні світлоповертального елемента, щоб уникнути екранування світлового потоку ребром грані 26.

Кут канавок рифлення β залежить від робочого кута освітлення світлоповертального елемента. Для досягнення максимального освітлення поверхні 23 грань 25 рифлення необхідно розташовувати перпендикулярно напрямку освітлення. Однак, для максимального світлоповертання необхідно також, щоб промінь світла падав на мікрорельєф 22 вздовж осі світлоповертального елемента, тому необхідно відповідним образом збільшувати кут клина θ на величину кута заглиблення δ (фіг.3). В оптимальному варіанті конструкції світлоповертального елемента, згідно з цим винаходом, кут рифлення β становить $110-130^\circ$ залежно від кута освітлення φ_0 (фіг. 3), що достатнім

чином зменшує витрати світлового потоку при відбитті потоку від поверхні 23 і підвищує ефективність світлоповертання. Наприклад, в разі виготовлення елемента з полікарбонату для випадку освітлення поверхні 23 під кутом $\varphi_0 = 60^\circ$ та кута рифлення $\beta = 130^\circ$, освітлення поверхні 23 збільшується в 1,96 рази, при цьому враховуючи значення поправки $\varepsilon = 10^\circ$, максимальне світлоповертання відповідає куту клина $\theta = 33^\circ 56'$.

Крок серії асиметричних канавок V визначається таким чином, щоб, виходячи з режиму експлуатації зовнішніх поверхонь дорожніх світлоповертачів в умовах атмосферних забруднень, глибина канавок рифлення N не перевищувала 3-5 мм, тому величина V залежно від кута β становить 9-15 мм.

Запропонований світлоповертальний елемент дозволяє, зокрема, використовувати для масового виробництва дорожніх катафотів сучасні машини інжекційного лиття, поєднуючи високу технологічність з досконалими світлоповертальними властивостями при великих кутах освітлення робочих поверхонь.



Фиг. 4.

ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. J. C. Nelson, S. Cobb, Jr. High Efficiency Retroreflective Material. US Patent 4,895,428, January 23, 1990 ("3M" Company, St. Paul, Minn., USA), Int. Cl. G02B 5/124.
2. G. M. Benson, K. I. Smith. Asymmetric Cube Corner Article. US Patent 5,831,767, November 3, 1998 ("3M" Company, St. Paul, Minn., USA), Int. Cl. G02B 5/122; G02B 5/124.
3. H. D. Eckhardt. Simple Model of Corner Reflector Phenomena. Applied Optics, July 1971, v.10, No.7.
4. Г. Ландсберг. Оптика. М.: Наука, 1976, 928 с.

Хроматизм світла, дифракція та гострота зору в мікропризмових лінзах Френеля

В. В. Петров, Є. Є. Антонов, С. М. Шанойло

Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2010. Т. 12, № 1. С. 49-54.

Для мікропризмових елементів Френеля розроблено методи кількісної оцінки впливу хроматизму світла та дифракції на гостроту зображення, яке спостерігає пацієнт через мікропризму. Визначено внесок зазначених ефектів для мікропризмових лінз різної призматичної дії та розраховано відповідні залежності для білого світла. Запропоновано метод відтворення гостроти зору пацієнта шляхом використання кольорових світлофільтрів.

Ключові слова: мікропризмовий елемент Френеля, спектральна чутливість, дифракційні явища, гострота зору.

Одним з неприємних ефектів при застосуванні мікропризмових елементів корекції зору в офтальмології є зниження гостроти зору, яке відчуває пацієнт при діагностиці. Перш за все це пов'язано з відбиттям променя світла від поверхонь елементів та оптичними дефектами в матеріалі мікропризм. Однак існують й інші об'єктивні причини, пов'язані з фундаментальними фізичними властивостями світла, які вносять значно суттєвіший вплив до зазначеного ефекту.

Відомо, що проходження білого світла через призмкові структури супроводжується дисперсією внаслідок хроматизму світла. Фізичним поясненням цього ефекту є залежність коефіцієнта заломлення світла n в заломлюючому середовищі від довжини хвилі λ . Найвні експериментальні дані свідчать, що використання заломлюючих призмових елементів Френеля в офтальмології призводить до зниження гостроти зору, яке спостерігається при дослідженні пацієнта. Для ілюстрації на рис. 1 наведено зображення нитки розжарювання лампи безпосередньо в фокусі лінзи (рис. 1,а) та при використанні мікропризмового компенсатора косоокості призмвою дією 10 PD (рис. 1,б).

Легко помітити, що одночасно зі зміщенням зображення призмою має місце його розмиття та появлення райдужного забарвлення зображення нитки лампи. Саме хроматизм безпосередньо пов'язаний з гостротою і контрастністю образу, що спостерігає пацієнт через мікропризму.



а) б)
Рис. 1. Зображення об'єкта через мікропризмову структуру

Іншою причиною, яка додатково призводить до зниження гостроти зору є те, що елементом корекції зору є не заломлююча призма великих розмірів з обов'язково присутнім явищем хроматизму, а мікропризмва структура Френеля, в якій присутня

крім хроматизму і дифракція білого світла на регулярному мікрорельєфі. Внаслідок цього зображення ще більш розмивається в напрямку, перпендикулярному штрихам ґратки.

Математично явище хроматизму для мікропризми можна врахувати за допомогою звичайного закону Снелліуса з урахуванням залежності коефіцієнта заломлення n від довжини хвилі світла λ :

$$n_1(\lambda) \sin\varphi_1 = n_2(\lambda) \sin\varphi_2, \quad (1)$$

де φ_1 та φ_2 – кути розповсюдження світла в першому та другому середовищах.

Раніше [1] нами було детально досліджено інтерференційні явища для монохроматичного когерентного світла з довжиною хвилі $\lambda = 6328 \text{ \AA}$. Врахування дифракційних явищ для білого світла виявляється більш складним. Фактично мікропризма Френеля являє собою дифракційну ґратку, ефективний крок якої при постійному кроці рельєфу зменшується зі зростанням призматичної сили елемента, а кут відхилення $\varphi = 0$ залежить від довжини хвилі λ . Для розрахунків було використано відомі формули для дифракційної складової структури променя світла для плоскої дифракційної ґратки [1]:

$$I(\lambda, \varphi) = I_0 (\sin(\pi S / \lambda) \sin \varphi / (\pi S / \lambda)), \quad (2)$$

де I_0 – амплітуда потоку в напрямку кута $\varphi = 0$; λ – довжина хвилі; S – ширина щілини. При цьому було враховано залежність показника заломлення світла n від довжини хвилі λ [2].

Деякі результати розрахунків згідно (1), (2) для мікропризми, виготовленої з поліметилметакрилату ($n_e = 1,492$), призматичною дією $PD = 1,0$ та $PD = 30$ для довжин хвиль 4044 \AA , 5461 \AA , 6328 \AA і 7664 \AA світлового діапазону наведено на рис. 2.

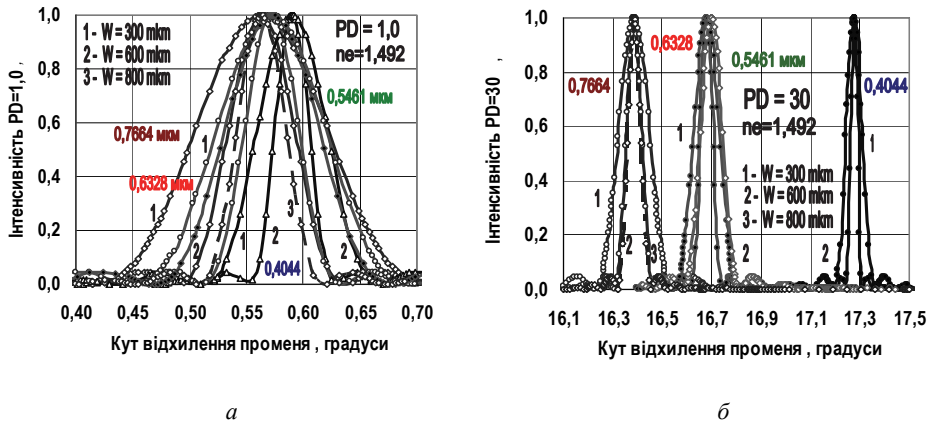


Рис. 2. Хроматичні ефекти для різних мікропризм:
1 – крок рельєфу $W = 300 \text{ мкм}$; 2 – 600 мкм ; 3 – 800 мкм

Результати розрахунків свідчать, що при малих кроках рельєфу $W = 100\text{--}200 \text{ мкм}$ і при малих кутах мікропризм, що відповідають $PD < 5\text{--}6$, розмиття зображення здебільш пов'язано з дифракцією світла на штрихах ґратки, і гострота зору зменшується внаслідок цього (рис. 2,а). Усунути цей небажаний ефект можливо шляхом збільшення кроку до $W = 800\text{--}1000 \text{ мкм}$. У той же час, розрахунки для великих кутів мікропризм ($PD > 20\text{--}22$) свідчать, що розмиття картини в цьому випадку пов'язано

саме з дисперсією світла, а внесок дифракції малий. Тому зменшення кроку мікрорельєфу до $W = 600$ мкм порівняно з кроком $W = 800$ мкм істотно не змінює ширину зони розмиття зображення (рис. 2,б), але зі зменшенням кроку мікрорельєфу відповідно зменшується дискретність образу, що реєструє людське око, і тому підвищується гострота зору. Таким чином, оптимальним можна вважати виготовлення мікрорельєфу оптичних компенсаторів косоюкості саме з кроком $W = 500\text{--}600$ мкм.

При спостереженні кольорових об'єктів людське око не однаково сприймає різні зони спектра світлового діапазону [3]. Так, якщо прийняти чутливість людського ока $K(\lambda)$ для довжини хвилі $\lambda = 5550 \text{ \AA}$ за одиницю, то наприклад, чутливість ока для $\lambda = 4600 \text{ \AA}$ та $\lambda = 6500 \text{ \AA}$ становить 0,06 та 0,10 відповідно. Тому при моделюванні дисперсійних явищ для мікропризмових елементів у офтальмології необхідно враховувати спектральну чутливість людського ока, або так звану відносну спектральну світлову ефективність $K(\lambda)$, графік якої наведено на рис. 3.

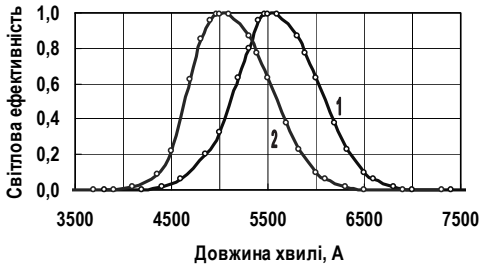


Рис. 3. Усереднена спектральна світлова ефективність: 1 – денне світло; 2 – сутінки

Якщо скорегувати проведені розрахунки дисперсійних явищ для мікропризмових елементів на усереднену криву чутливості зору $K(\lambda)$, то, наприклад, для мікропризми $PD = 30$ для декількох довжин хвиль у діапазоні $k_\lambda = (4600\text{--}6500) \text{ \AA}$, результати свідчать (рис. 4), що усереднене людське око практично не бачить світло з довжинами хвиль, коротшими за $\lambda < 4000 \text{ \AA}$ та довгими за $\lambda > 7000 \text{ \AA}$. Тому реально зона хроматизму для мікропризми $PD = 30$ становить $0,4^\circ$ або близько $0,7 PD$, при тому, що кут $\varphi = 0$ для цієї призми становить $16,7^\circ$. Таким чином, зона розмиття зображення становить близько 2,3 %, що значно перевищує встановлені допуски на номінали мікропризмових елементів.

Якщо скорегувати проведені розрахунки дисперсійних явищ для мікропризмових елементів на усереднену криву чутливості зору $K(\lambda)$, то, наприклад, для мікропризми $PD = 30$ для декількох довжин хвиль у діапазоні $k_\lambda = (4600\text{--}6500) \text{ \AA}$, результати свідчать (рис. 4), що усереднене людське око практично не бачить світло з довжинами хвиль, коротшими за $\lambda < 4000 \text{ \AA}$ та довгими за $\lambda > 7000 \text{ \AA}$. Тому реально зона хроматизму для мікропризми $PD = 30$ становить $0,4^\circ$ або близько $0,7 PD$, при тому, що кут $\varphi = 0$ для цієї призми становить $16,7^\circ$. Таким чином, зона розмиття зображення становить близько 2,3 %, що значно перевищує встановлені допуски на номінали мікропризмових елементів.

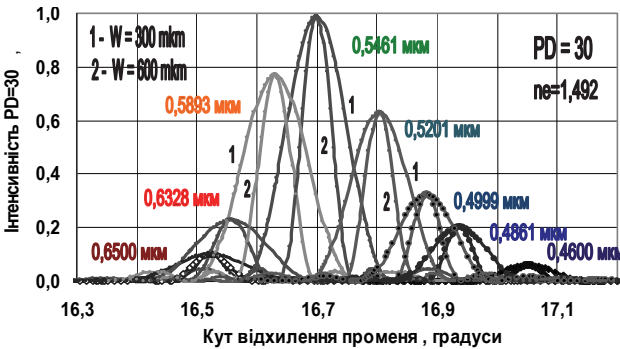


Рис. 4. Хроматичні ефекти для мікропризми $PD = 30$ з урахуванням коефіцієнта чутливості людського ока: 1 – крок рельєфу $W = 300$ мкм; 2 – $W = 600$ мкм

Самим простим засобом корекції хроматизму є використання відповідних світлофільтрів, які відсікають периферійні зони спектра. Підбір світлофільтрів необхідно здійснювати таким чином, щоб відрізалася саме червона та фіолетова зони, тому що всі стандартні дані щодо коефіцієнта заломлення n_e частіше за все наводяться саме для зелено-жовтої зони з довжиною хвилі $\lambda = 5461 \text{ \AA}$ [3]) (довжина хвилі «e»), і розрахунки величини призматичної дії елементів Френеля здійснювались раніше [1] саме для цієї області спектра.

Для розрахунків впливу світлофільтрів можна використати відомі формули для коефіцієнта пропускання світла τ' з урахуванням відбиття світла на двох поверхнях фільтра:

$$\tau'_\lambda = (1 - k_a)^2 \tau_\lambda = (1 - k_a)^2 (10 - k_\lambda h), \quad (3)$$



де k_a — коефіцієнт відбиття світла від границі розподілу; k_a — коефіцієнт поглинання світла з довжиною хвилі λ в матеріалі фільтра; h — товщина фільтра. Значення τ_λ та k_λ наведено, наприклад, у каталозі кольорового скла [4]. Графік залежності (3) для оптимальних у нашому випадку синє-зелених СЗС22 і СЗС23 в комбінації з жовтими ЖС17 та ЖС18 світлофільтрами наведено на рис. 5.

Результати розрахунків згідно (1), (2) з урахуванням (3) і світлової ефективності $K(\lambda)$ для комбінації світлофільтрів ЖС17+СЗС23 та ЖС18+СЗС22 наведено на рис. 6.

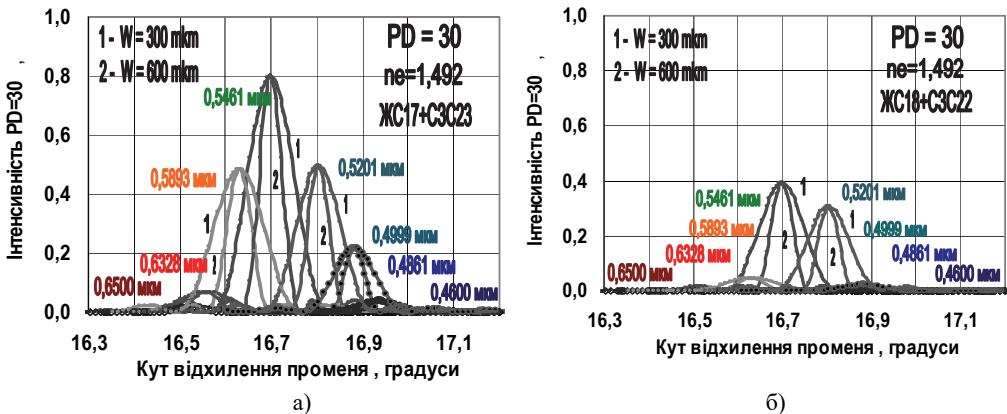


Рис. 6. Хроматичні ефекти для мікропризми $PD = 30$ при застосуванні різних комбінацій світлофільтрів: 1 — крок рельєфу $W = 300$ мкм; 2 — 600 мкм

Використання відповідних світлофільтрів дозволяє відрізати фіолетову та червону складові хроматизму, тим самим зменшити вплив дисперсії світла і відповідно підвищити гостроту зору. Однак, при цьому помітно зменшується освітленість об'єкта внаслідок поглинання світла в матеріалі фільтрів. Враховуючи, що діагностика дефектів зору лікарями-офтальмологами повинна здійснюватися в стандартних умовах при фіксованій освітленості пробної таблиці $E = 700$ лк, тому при застосуванні кольорових мікропризмових елементів необхідно відповідним чином збільшувати освітленість таблиці. Можна рекомендувати при діагностиці зору використовувати комбінацію світлофільтрів ЖС18+СЗС22. Однак більш зручним, безумовно, було б використання кольорових оптичних компенсаторів косоюкості, які виготовляються безпосе-

редньо з кольорових оптичних пластмас необхідної марки або з білого поліметилметакрилату з додаванням відповідних барвників з метою оптимізації оптичних властивостей мікропризмових структур.

У той же час відзначимо, що зазначене зниження гостроти зору безпосередньо не пов'язано з точністю вимірювань кута косоокості за допомогою мікропризмових лінз Френеля. Розрахунки свідчать, що крива хроматизму залежно від довжини хвилі з урахуванням спектральної ефективності людського ока практично симетрична відносно довжини хвилі $\lambda = 5461 \text{ \AA}$ (рис. 4). Оскільки всі розрахунки кутів заломлення мікропризм і величин призматичної дії елементів Френеля здійснюються саме для цієї зелено-жовтої зони спектра, зміщення зображення образу, який спостерігає пацієнт при діагностиці, також симетрично відносно розрахункового кута відхилення зображення $\varphi = 0$. Тому явище хроматизму в будь-яких мікропризмових структурах безумовно існує і може знижувати гостроту зору, але цей ефект суттєво не впливає на достовірність вимірювання кута косоокості.

Таким чином, досліджено вплив хроматизму на оптичні характеристики мікропризмових елементів корекції зору, отримано кількісні характеристики розширення зображення внаслідок дифракції білого світла на мікропризмах Френеля, запропоновано методи практичного розрахунку зазначених явищ та їхньої корекції.

1. *Технология изготовления и методика применения в офтальмологии микропризмных элементов Френеля* / В.В. Петров, Н.М. Сергиенко, С.А. Рыков [и др.] // Реестрация, зберігання і оброб. даних. 2008. Т. 10, № 3. С. 5–17.
2. *Palik E.D. Handbook of Optical Constants of Solids* [Електронний ресурс] / E.D. Palik. – Academic Press. Inc., 1998. – Режим доступу: <http://knovel.com/web/portal/browse/display>
3. *Анализ информации отраженного от ретрозеркал света* / В.В. Петров, В.Г. Кравец, А.А. Крючин [и др.] // Реестрация, зберігання і обробка даних. 2005. Т. 7, № 3. С. 17–24.
4. *Вейнберг И. Каталог цветного стекла* [Электронный ресурс] / И. Вейнберг. – Режим доступа: <http://nehudlit.ru/books/detail8974.html>

Шляхи поліпшення оптичних характеристик мікропризмових структур

В. В. Петров, С. М. Шанойло, Є. Є. Антонов, А. С. Лапчук

Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2010. Т. 12, № 2. С. 25-33.

Проведено аналіз шляхів поліпшення оптичних характеристик мікропризмових структур, які використовуються в офтальмології та дорожньому господарстві. Розглянуто технології формування мікропризмового рельєфу на прозорих оптичних матеріалах. Досліджено методи оптимізації спектральних характеристик і компенсації хроматичних явищ для мікропризмових структур корекції зору.

Ключові слова: світлоповертальний елемент, кут освітлення, коефіцієнт відбиття, дифракція білого світла, хроматизм.

Результатом впровадження наукових напрацювань, що отримані при виконанні комплексу фундаментальних і прикладних досліджень Інституту проблем реєстрації інформації (ІПРІ) НАН України в галузі створення систем оптичного запису інформації, є розробка технологій та прецизійного обладнання для виробництва мікропризмових структур. Зокрема, в останні роки розроблено процеси алмазного різання мікро-рельєфу на металевих дисках-оригіналах, впроваджено методи гальванічного вирощування відповідних робочих матриць з нікелю та виготовлення кінцевих виробів методами термопресування та лиття під тиском, запропоновано методики оптимізації параметрів мікропризмових елементів і контролю їхніх параметрів [1].

Подальшим напрямком досліджень є підвищення якості та істотного поліпшення робочих характеристик мікропризмових виробів, які за функціональними ознаками та їхнім призначенням можна розподілити на дві великі групи: 1) світлоповертальні елементи для дорожньо-транспортного господарства; 2) мікропризмові структури Френеля для офтальмології. Для першої групи виробів основною задачею подальших досліджень є підвищення ефективності світлоповертання. Сьогодні звичайними на ринку мікропризмових катафотів є елементи з коефіцієнтом світлоповертання $R(\varphi_0) = 800\text{--}900$ кд/(лк·м²), тому також звичайними є надвисокі вимоги до обладнання та інструменту для виготовлення оригіналів таких пристроїв. Допуски на кутові геометричні розміри мікропризм вимірюються кутовими секундами, а шорсткість світловідбиваючих граней не повинна бути гіршою за 0,05 мкм. Зазначені параметри, перш за все, забезпечуються якістю ріжучого інструменту, за допомогою якого виготовляються диски-оригінали мікропризмових структур.

Для забезпечення такого високого рівня продукції, останнім часом в ІПРІ НАН України було радикально переобладнано станцію виготовлення спеціального алмазного ріжучого інструменту. Сьогодні станцію оснащено високоточними оптичними контрольно-вимірювальними системами. Відпрацьовано технологію заточування граней різця та розроблено методику, яка дозволяє здійснювати попередній та кінцевий контроль величини корекції кута заточування. Система забезпечує виготовлення різців з кутами заточування в межах від 30° до 90° з максимальним відхиленням кута від заданого не більше 10 кутових секунд. Для будь-яких світлоповертальних елементів вирішення проблеми поліпшення робочих характеристик пов'язано також із підвищенням якості оптичних поверхонь мікрокубічної структури. Тому в останній

час було також радикально перероблено станцію виготовлення дисків-оригіналів і технологію гальванічного вирощування відповідних робочих матриць з нікелю.

Для групи мікропризмових виробів в офтальмології основним є усунення причин, які погіршують гостроту зору, що спостерігається у пацієнта або хворого при застосуванні таких виробів для діагностики та корекції зору. До таких причин можна віднести шорсткість заломлюючих поверхонь мікропризм, дисперсію та дифракцію світла на мікропризмових структурах.

Разом з тим, проблема якості мікропризмових приладів, окрім вирішення питань створення вдосконаленого інструменту та технологічного обладнання, безпосередньо пов'язана з розробкою нових технологій проектування, теоретичною проробкою нових конструкцій та оптимізації параметрів виробів з мікропризмовим рельєфом. Розглянемо більш детально роботи ІПРІ НАН України з напрямку фізичного моделювання сучасних високоефективних мікропризмових пристроїв.

АСИМЕТРИЧНІ СВІТЛОПОВЕРТАЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ

Відомо, що асиметричні світлоповертальні елементи створюються шляхом формування на твірній плоскій поверхні двох груп канавок трикутного профілю – широкої з кроком W та кутом $\beta = 90^\circ$ і вузької з кроком L та кутом $\alpha = 25\text{--}35^\circ$. Величина цього кута залежить від робочого кута освітлення φ_0 світлоповертача. Головною перевагою таких елементів є те, що їхню робочу поверхню $S(\varphi_0)^*$ шляхом підбору співвідношення (W/L) для певного кута освітлення φ_0^* можна створити максимальною, тобто вся твірна поверхня світлоповертача є робочою. Звичайно, що при зміні кута освітлення φ_0 величина ефективної поверхні $S(\varphi_0)/S(\varphi_0)^*$ зменшується, і для її оптимізації необхідно знову відповідним чином скорегувати співвідношення кроків широкої та вузької канавок (W/L) .

Одним із дуже важливих параметрів дисків-оригіналів саме асиметричних світлоповертачів є величина відповідного кута вузької канавки рельєфу [1], який забезпечується кутом ріжучої грані алмазного різця. Значення цього кута має бути таким, щоб світлоповертальна поверхня катафота була максимальною. Зокрема, кут ріжучої грані різця α , якому відповідає кут вузької канавки рельєфу, не повинен перевищувати кут φ_1 , під яким потік світла розповсюджується в матеріалі катафота. У випадку, коли $\alpha > \varphi_1$ частина бокових поверхонь $S^*(\varphi_1)^*$ катафота, оптимізованого для певного кута освітлення φ_0^* , взагалі не може бути сформована таким різцем. Величину додаткового зменшення S_1 ефективної поверхні такого світлоповертача можна визначити, як $(W)^2(\text{tg}\alpha - \text{tg}\varphi_1)/2$, де W – крок широкої канавки рельєфу [1]. Відповідний коефіцієнт k_1 зменшення ефективної поверхні катафота S^* , оптимізованого для кута освітлення φ_0^* можна визначити як

$$k_1 = (S^* - S_1)/S^* = (3\text{tg}\varphi_1^* - \text{tg}\alpha)/2\text{tg}\varphi_1^*, \quad (1)$$

де $\varphi_1^* = \sin^{-1}((\sin\varphi_0^*)/n_1)$, а n_1 – коефіцієнт заломлення матеріалу світлоповертача.

Ефективна поверхня $S(\varphi_0)/S^*$ асиметричного світлоповертального елемента в цьому випадку дорівнює:

$$S(\varphi_0)/S^* = (S(\varphi_0)/S^*)_0 [1,0 - (1 - k_1) (\varphi_1/\varphi_1^*)],$$

де для $L^* < L$: $(S(\varphi_0)/S^*)_0 = \text{tg} \{ \sin^{-1}[(\sin \varphi_0) / n_1] \} / \text{tg} \{ \sin^{-1}[(\sin \varphi_0^*) / n_1] \}$; (2)

для $L^* > L$: $(S(\varphi_0)/S^*)_0 = \text{tg} \{ \sin^{-1}[(\sin \varphi_0^*) / n_1] \} / \text{tg} \{ \sin^{-1}[(\sin \varphi) / n_1] \}$.

Графік залежності ефективної поверхні (2) для двох кутів різця α проілюстровано на рис. 1. Суцільні лінії на графіках відповідають куту різця, що співпадає з кутом

освітлення мікрорельєфу φ_1 для кожного з кутів оптимізації φ_0^* , пунктирні криві розраховані для незмінного кута різця, при цьому на рис. 1,а кут α дорівнює 30° , на рис. 1,б кут α дорівнює 40° . Розрахунки, які наведено на рис. 1, зроблено для коефіцієнта $n_1 = 1,585$, оскільки світлоповерхачі для дорожніх катафотів найчастіше за все виробляються з полікарбонату.

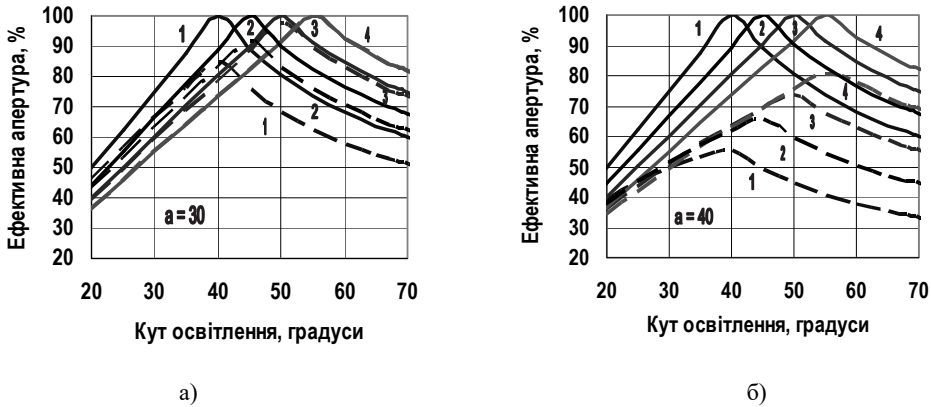


Рис. 1. Ефективна поверхня світлоповерхтального елемента для кутів оптимізації $\varphi_0^* = 40^\circ$ (крива 1), 45° (2), 50° (3) та 55° (4): а) кут заточування різця $\alpha = 30^\circ$; б) кут $\alpha = 40^\circ$

Можна побачити, що ефективна поверхня катафота істотно залежить від вибору кута ріжучої грані різця: при малих кутах оптимізації катафотів (φ_0^*) зменшення ефективної поверхні $S(\varphi_0)/S^*$ може становити десятки відсотків. Таким чином, світлоповерхтальні характеристики та ефективну поверхню асиметричних катафотів можна значно підвищити лише за рахунок оптимального вибору кута вузької канавки мікрорельєфу, яка повністю визначається кутом ріжучої грані різця.

Відзначимо, що асиметричний світлоповерхтальний елемент має істотний недолік, який полягає в низькій ефективності світлоповертання при малих кутах освітлення твірної поверхні мікрокубів. Для усунення цього недоліку застосовують комбінацію асиметричних катафотів, так званий «повний куб», в якій твірні поверхні двох серій катафотів нахилені назустріч одна до одної під кутом $30\text{--}40^\circ$ відносно нормалі до твірної поверхні елемента. Для виготовлення асиметричного світлоповерхтального елемента для далекої відстані (800–1000 м) крок нарізки широкої канавки з кутом 90° повинен становити приблизно $W = 2000$ мкм. Враховуючи, що для кожного кута освітлення φ_0 існує оптимальне співвідношення [1] між кроками серій широких і вузьких канавок асиметричного катафота (W/L) (рис. 2), при якому величина його ефективної поверхні $S(\varphi_0)/S^*$ максимальна, то для кроку широкої канавки $W = 2000$ мкм при куті освітлення $\varphi_0 = 35^\circ$ крок вузької канавки L повинен становити близько 776 мкм.



Рис. 2. Співвідношення між кроками L и W , при якому коефіцієнт активної апертури дорівнює 100 % для системи «полікарбонат–повітря»

Отже технологія виготовлення катафота типу «повний куб» для кута оптимізації $\varphi_0 = 35^\circ$ для $W = 2000$ мкм та $L = 766$ мкм може бути визначена наступним чином:

1) на першому етапі в необхідній кількості виготовляються заготовки – металеві пластини товщиною $\delta \approx 635$ мкм. Величина δ визначається кроком вузької канавки L та кутом оптимізації φ_0 , а саме $\delta = L \cos \varphi_0$. Ширина пластин Π дорівнює ширині матриці, яку необхідно виготовити, а кількість пластин N визначає довжину цієї матриці. Тому, наприклад, при ширині пластин $\Pi = 200$ мм для отримання прямокутної матриці розміром $\Pi N = 200 \times 200$ мм необхідно виготовити пластини кількістю $N = 314$;

2) виготовлені 314 пластин складаються разом, і їхні торцеві поверхні фрезеруються під кутом 35° відносно подовжньої осі кожної з пластин для отримання похилої поверхні;

3) на отриманій похилій поверхні алмазним різцем формується з кроком $W = 600$ мкм широка канавка з кутом $\beta = 90^\circ$. Після цього пластини складаються попарно назустріч одна одній вершинами разом, з метою отримання рифленої двомірної структури;

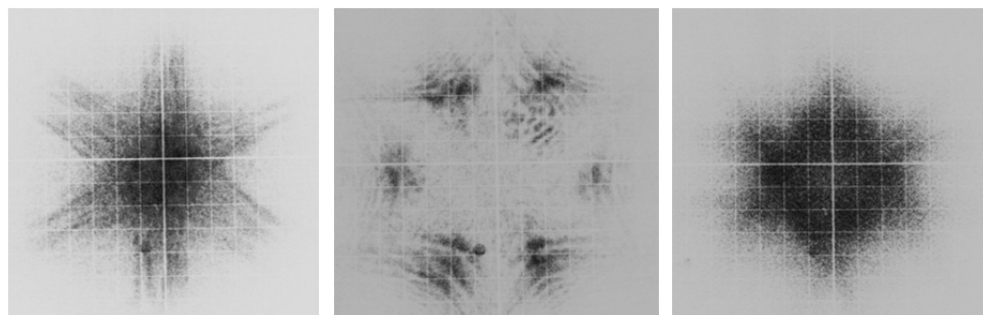
4) по вершинах отриманої структури алмазним різцем прорізається серія канавок з кутом, що дорівнює подвійному куту оптимізації φ_0 , у нашому випадку – з кутом $\varphi = 70^\circ$, з метою створення необхідних груп кутових відбивачів;

5) на заключному етапі з отриманої структури методами гальванопластики створюється робоча нікелева матриця, яка використовується для виготовлення вдосконалених катафотів методами термопресування або литва під тиском. Така технологія дозволяє отримати катафоти, що мають максимальний коефіцієнт активної апертури і можуть працювати при великих кутах освітлення (навіть при $\varphi_0 = 50\text{--}60^\circ$), що дуже важливо для дорожніх катафотів.

СИМЕТРИЧНІ СВІТЛОПОВЕРТАЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ

За коефіцієнтом активної апертури асиметричні катафоти мають істотну перевагу перед так званими прямими (симетричними) [1], мікрорельєф яких симетричний відносно нормалі до твірної поверхні. Однак, симетричні катафоти більш технологічні при виготовленні, і тому вони продовжують використовуватися для ряду практичних застосувань (дорожні знаки, світлоповертальні стрічки, маркери для автошляхів). Сучасна модернізація цих добре відомих світлоповертальних приладів полягає в застосуванні в одному пристрої комбінацій симетричних елементів з різними кутовими характеристиками. За цими методами створені симетричні катафоти, в яких відбиття променя для центральної зони розраховано для далекої відстані спостереження (800–1000 м), а периферійні зони відбивають промінь світла на значно меншу відстань, але в більш широкому куті відбиття (2–3 градуси). Відзначимо, що за відповідним розрахунком кутів нахилу граней симетричного катафота та підбором кроку нарізки можна виготовити катафот, який однаково ефективно працює в далекій та близьких зонах і який є досить універсальним для різних практичних потреб. На рис. 3 наведено діаграми освітленості у відбитому промені деяких симетричних елементів, одна клітина на графіках відповідає 20 кутових хвилинам.

Шляхом змінення кута нахилу однієї з трьох пар робочих поверхонь симетричного світлоповертача відносно традиційного розрахункового кута канавки рельєфу $\alpha_p = 70^\circ 31' 44''$ можна отримати катафоти, характеристика відбиття яких істотно несиметрична у вертикальній та горизонтальній площинах. Для прикладу на рис. 4 наведено фотографію матриці (рис. 4,а) та картину відбиття променя (рис. 4,б) для симетричного катафота компанії «Reflective Ireland Ltd.», для якого картина відбиття променя значно розширена в горизонтальній площині.



a

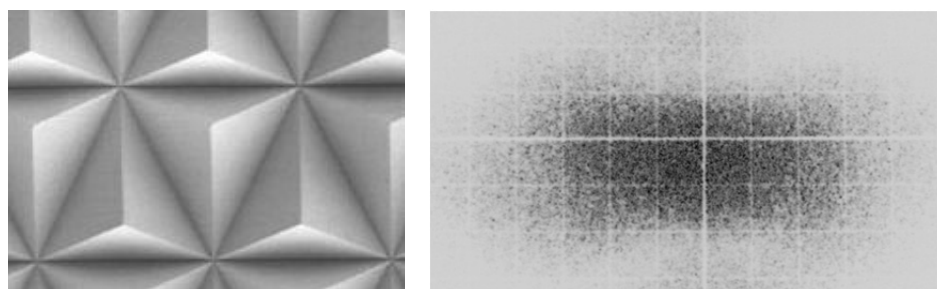
б

в

Рис. 3. Картини відбиття променя для різних світлоповертальних елементів:

a, б – різні зони світлоповертача фірми «WITAL» (Польща);

в – оптимізований симетричний катафот СК600 (ІПРІ НАН України)



a

б

Рис. 4. Матриця (а) та структура відбитого променя (б) катафота компанії «Reflective Ireland Ltd.»

При відповідному виборі кроку нарізки мікрорельєфу симетричного світлоповертального елемента W , який не повинен бути меншим за 150–200 мкм, можна значно розширити зону відбиття променя без появи дифракційного структурування картини освітлення.

ПРОБЛЕМА ХРОМАТИЗМУ В МІКРОПРИЗМОВИХ ЛІНЗАХ

Для підвищення оптичної якості групи мікропризмових виробів для офтальмології основним є усунення причин, які погіршують гостроту зору пацієнта. Звичайні призматичні лінзи з оптичного скла використовуються лише для невеликих значень призматичної дії ($PD < 10-12$). Для більших значень PD призми виявляються занадто товстими та важкими, тому використання їх в окулярах практично неможливе. Крім того, для великих значень призматичної дії звичайні скляні призми мають великі хроматичні аберації, що істотно зменшує розподільчу здатність і знижує гостроту зору, яка спостерігається при їхньому використанні. Мікропризмові лінзи Френеля вирішують проблему надмірної ваги та товщини, але хроматизм є невід'ємною характеристикою білого світла, і проблема розмиття зображення внаслідок дисперсії світла в призмах залишається.

Для покращення оптичних характеристик мікропризм можуть використовуватися

призми з кольорового скла або додаткові світлофільтри [3]. Ефект корекції хроматизму світлофільтрами проілюстровано на рис. 5, на якому наведено розрахункову картину [3] спектрального розподілу заломленого променя після проходження білого світла через мікропризму оптичною силою $30PD$ (рис. 5,а). Наявність світлофільтрів зменшує зону хроматизму майже в 2 рази до $0,3$ градусів (рис. 5,б), при тому, що кут відхилення центральної зони променя світла з довжиною хвилі $\lambda = 5461 \text{ \AA}$ становить близько $\varphi = 16,73^\circ$.

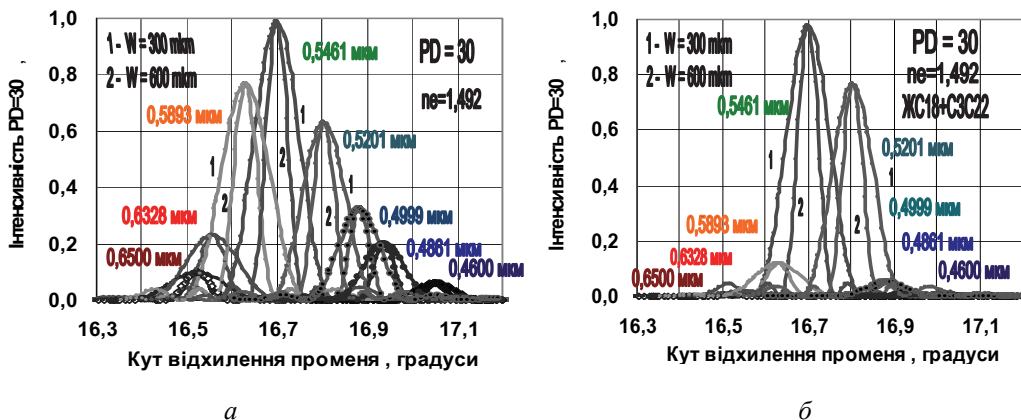


Рис. 5. Хроматичні ефекти для мікропризми $PD = 30$:
 а – без світлофільтрів; б – при застосуванні комбінації світлофільтрів ЖС18+СЗС22:
 1 – крок рельєфу $W = 300$ мкм; 2 – 600 мкм

При розрахунках дифракційної складової структури променя білого світла було використано відомі формули для плоскої дифракційної ґратки [4]:

$$I(\lambda, \varphi) = I_0 (\sin(\pi S / \lambda) \sin \varphi / (\pi S / \lambda)), \quad (3)$$

де I_0 – амплітуда потоку в напрямку кута $\varphi = 0$; λ – довжина хвилі; S – ширина щілини. При цьому було враховано залежність показника заломлення світла n від довжини хвилі λ .

Більш ефективним засобом боротьби з надмірним хроматизмом є використання комбінованих композитних призм, так званих гризм [4], в яких дифракційний рельєф зроблено безпосередньо на поверхні рефракційної призми. Для великих призмових діоптрій ($PD > 18-20$) композитні призми виявляються більш тонкими, прозорішими та мають більшу оптичну якість порівняно не тільки з стандартними скляними призмами, а навіть і з Френелівськими пресованими призмами.

Така композитна призма являє собою комбінацію рефракційної призми великої призматичної дії та дифракційної амплітудно-фазової ґратки, розрахованої таким чином, що промінь світла певної довжини хвилі λ проходить через дифракційну ґратку без додаткового заломлення. Робота структури засновується на тому ефекті, що напрям заломлення променя світла призмою та напрям відхилення цього променя ґраткою протилежні один одному, тому відбувається компенсація кутів відхилення променів [5]. Якщо через таку структуру проходить біле світло, то хроматизм, що виникає при проходженні світла, може бути повністю скомпенсований.

Для застосування в офтальмології зручно використовувати не власне ґризми, а композитні призмкові структури, виготовлені на окремих поверхнях таким чином, щоб обидва рельєфи (як великий рефракційний з кроком W , так і малий дифракційний з кроком D та глибиною H) були розміщені всередині пристрою і таким чином були захищені від зовнішніх забруднень і пошкоджень (рис. 6).

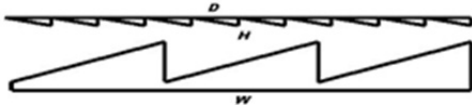


Рис. 6. Схема композитної призми (ґризми)

Зазначені дві призмкові структури працюють за різними принципами. Структура з великим рефракційним кроком працює за рефракційним принципом. Він впливає з того, що структура використовує різні дифракційні порядки для різних довжин хвиль за причини великої глибини рельєфу. Світло різних довжин хвиль використовує різні дифракційні порядки і завдяки цьому залишається в зоні рефракційного кута, внаслідок чого дисперсія одного дисперсійного порядку не грає значної ролі. Структура з малим дифракційним кроком повинна працювати в одному дифракційному порядку, тому глибина її повинна бути незначна. Як правило, різниця набігу фаз на центральній хвилі дорівнює λ , а значить вона працює в першому дифракційному порядку. За причини використання тільки одного дифракційного порядку ширина елементів не зменшує роздільну здатність оптичної системи. Кутова дисперсія для першого дифракційного порядку запишеться як

$$\Delta\theta = \lambda/D. \quad (4)$$

Таким чином, кут відхилення зростає з довжиною хвилі, тобто вона має дисперсію, що обернена до рефракційних призм. Вибираючи крок D достатньо малим, можна зробити дисперсію дифракційного порядку достатньо великою, щоб компенсувати дисперсію рефракційної лінзи. Умову компенсації можна записати як

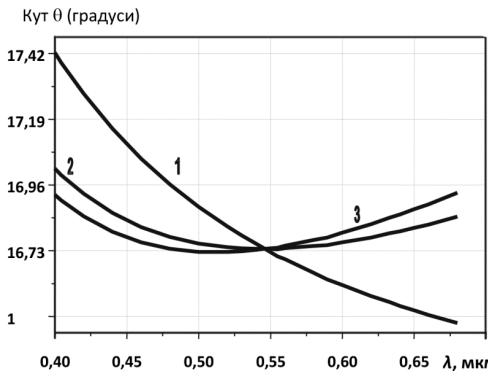


Рис. 7. Зменшення хроматичної аберації за допомогою дифракційного елемента для призми $PD = 30$, $H = 1,11$ мкм: 1 – без дифракційного елемента ($\Delta\theta \approx 0,016$); 2 – повна компенсація хроматичної аберації для зеленого світла $D = 20,7$ мкм ($\Delta\theta \approx 0,005$); 3 – оптимізація за мінімумом відхилення $D = 16,9$ мкм ($\Delta\theta \approx 0,005$)

$$\frac{1}{D} = \frac{dn}{d\lambda} \frac{\sin \varphi}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2 \varphi}}. \quad (5)$$

На рис. 7 показано результати розрахунку дисперсії кута відхилення (хроматичної аберації) для трьох варіантів: 1) для призми без дифракційного елемента; 2) для призми з дифракційним елементом, оптимізованим для максимального зменшення хроматичної аберації для зеленого світла з довжиною хвилі $\lambda = 5461 \text{ \AA}$ (крок ґратки $D = 20,7$ мкм, глибина рельєфу $H = 1,11$ мкм); 3) для призми з мінімальним відхиленням для видимого спектра хвиль ($D = 16,9$ мкм, $H = 1,11$ мкм). Розрахунки було виконано для оптимального кроку рефракційної призми $W = 600$ мкм, призматична дія елемента становила $PD = 30$, а коефіцієнт заломлення

$n = 1,492$ (поліметилметакрилат). При розрахунках використовувалися дані Палика [6] щодо залежності коефіцієнта заломлення n_e від довжини хвилі λ для поліметилметакрилату.

З представлених графіків видно суттєве (більше ніж у 3 рази) зменшення хроматичної аберації у випадку використання додаткового дифракційного елемента. Таким чином, для рефракційної призми призматичною дією $PD = 30$ з кроком $W = 600$ мкм шляхом застосування додаткової дифракційної ґратки з кроком $D = 20,7$ мкм та глибиною мікрорельєфу $H = 1,11$ мкм можна забезпечити проходження зеленого променя з довжиною хвилі $\lambda = 5461 \text{ \AA}$ під тим кутом заломлення, який визначений першою рефракційною призмою без додаткового заломлення. В той же час відбувається компенсація хроматичних ефектів для синього та червоного діапазону спектра шляхом зміщення відповідних променів дифракційною ґраткою в сторони, протилежні сторонам зміщення променів призмою.

ВИСНОВКИ

Проведено аналіз шляхів підвищення якості мікропризмових світлоповертальних структур різних типів. Запропоновано методику розрахунків характеристик асиметричних світлоповертальних елементів залежно від зміни параметрів ріжучого інструменту. Досліджено можливості компенсації хроматичних явищ для мікропризмових елементів у офтальмології шляхом використання амплітудно-фазових дифракційних краток.

1. *Світлоповертання: проблеми та досягнення*. В.В. Петров, С.М. Шанойло, Є.Є. Антонов [та ін.] Реєстрація, зберігання і оброб. даних. 2008. Т. 10, № 1. С. 3–15.
2. *Технология изготовления и методика применения в офтальмологии микропризмных элементов Френеля*. В.В. Петров, Н.М. Сергиенко, С.А. Рыков [та ін.]. Реєстрація, зберігання і оброб. даних. 2008. Т.10, № 3. С. 5–17.
3. *Петров В.В.* Хроматизм світла, дифракція та гострота зору в мікропризмових лінзах Френеля / В.В. Петров, Є.Є. Антонов, С.М. Шанойло. Реєстрація, зберігання і оброб. даних. 2010. Т. 12, № 1. С. 49–54.
4. *Loewen E.* Diffraction Grating Handbook / E. Loewen. [6-th ed.] Newport Corporation, 2005. 269 p.
5. US Patent 6,934,084, Int.Cl. G02B 5/18. Thinner, Lighter and Lower Abberation Prisms for Ophthalmic Applications / Ranjana Pandya; Aug. 23, 2005.
6. *Palik E.D.* Handbook of Optical Constants of Solids / E.D. Palik. – San Diego: Academic Press, 1998.

Розробка та впровадження високоефективних кругових світлоповертальних елементів для автомагістралей та транспортних мереж м. Києва

В. В. Петров, Є. Є. Антонов, А. А. Крючин, С. М. Шанойло

Наука і інновації. 2018. Т. 14, № 5. С. 63-67.

ВСТУП ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Актуальною науково-технічною проблемою є розробка сучасних мікропризмових світлоповертальних елементів (катафотів) для оснащення автошляхів. Впровадження таких виробів безумовно сприятиме підвищенню безпеки дорожнього руху, перш за все, в темну пору доби. Відомо, що збільшення за допомогою використання світлоповертальних елементів відстані, на якій для водія під час руху автомобіля стає помітною перешкода, з (25–40) м до відстані (300–400) м, знижує потенційний ризик наїзду автомобіля на неї в темний час майже в 7 разів.

Існуюча номенклатура світлоповертачів на сьогодні не повністю задовольняє потребам оснащення автошляхів засобами підвищення безпеки руху. Особливу важливим залишається питання обладнання такими засобами кільцевих пересічень автомобільних доріг та вулиць на одному рівні, місць розвороту автотранспорту, острівців безпеки. Завдяки особливим геометричним параметрам зазначених пересічень виникає потреба у використанні катафотів особливої форми – кільцевої. Такі катафоти сприяють видимості всього об'єкту одночасно і це дозволяє заздалегідь надати інформацію водію про форму перешкоди, яка очікує його попереду.

Саме тому основною метою відповідного конкурсного науково-технічного проекту, який виконувався в 2017 році Інститутом проблем реєстрації інформації (ІПРІ) НАН України за ініціативою та підтримкою Комунальної корпорації (КК) «Київавтодор», була розробка, виготовлення та впровадження конкурентно-спроможних сучасних високотехнологічних мікропризмових катафотів та дослідження їх характеристик при оснащенні автомагістралей, транспортних мереж та розв'язок м. Києва.

РЕЗУЛЬТАТИ

Світлова ефективність світлоповертального елемента з мікропризмами безпосередньо пов'язана з явищем повного внутрішнього відбиття світла [1], добре відомого фізикам. Процес світлоповертання відбувається за рахунок триразового відбиття пучка світла від трьох взаємно-перпендикулярних граней кутових відбивачів, які формуються на утворюючій поверхні катафота. В ІПРІ НАН України розроблено методи розрахунків та оптимізації [2] геометричних параметрів таких катафотів, створено технологію формування відповідного мікрорельєфу методом алмазного різання [3].

Для успішного виконання запланованого проекту ІПРІ НАН України було модернізовано та введено в експлуатацію комплекс прецизійного технологічного обладнання для виготовлення матриць–оригіналів та робочих гальванічних штампів з мікропризмовим світлоповертальним рельєфом [4]. Виконано цілий ряд фундаментальних та прикладних робіт, першим етапом яких було створення спеціального алмазного інструменту та прецизійного обладнання для виготовлення дзеркальних матриць–оригіналів мікропризмових елементів. Розроблено установку алмазного різання,

яка оснащена високоточними оптичними системами вимірювання і контролю кутів розвороту і нахилу осі різця, що забезпечує необхідну прямолінійність та точність його руху.

На наступному етапі необхідно було відпрацювати технологію виготовлення полімерних світлоповертальних елементів та корпусних деталей катафотів методами гарячого пресування та лиття під тиском з застосуванням розроблених в ІПРІ НАН України технологічних процесів та обладнання. Зазначені процеси умовно можна розподілити наступним чином:

- технологічні процеси та прецизійне обладнання для виготовлення високоефективних полімерних мікропризмових світлоповертальних елементів круглої форми;
- обладнання для виготовлення корпусів світлоповертальних структур з конструкційних пластмас;

Заключним етапом є збирання деталей катафотів в єдиний блок та герметизація світлоповертальних мікропризмових структур. Для цього розроблено технологічні процеси, прецизійне обладнання та спеціальне оснащення для ультразвукового зварювання мікропризмових структур. Створено та сертифіковані в ПО «Укрметртест-стандарт» контрольно-вимірювальні стенди, які забезпечують контроль коефіцієнта світлоповертання розроблених катафотів.

В результаті виконання конкурсного проекту ІПРІ НАН України за розробленою технологією було виготовлено 500 дослідних зразків бордюрних круглих світлоповертачів. Загальний вигляд нового світлоповертача ілюструє рис.1. Значення коефіцієнта світлоповертання виготовлених кругових катафотів становить 600-700 кд/(лк м²), що перевищує характеристики існуючих закордонних аналогів.

Зазначені світлоповертачі в жовтні-листопаді 2017 р. фахівцями КК «Київавтодор» було встановлено на декількох найбільш напружених транспортних вузлах м. Києва, зокрема на площі Перемоги та на ряді перехресть в Дарницькому районі м. Києва, в тому числі на Ленінградській площі та біля станції метро «Лівобережна». Високу ефективність розроблених світлоповертачів ілюструє рис.2.

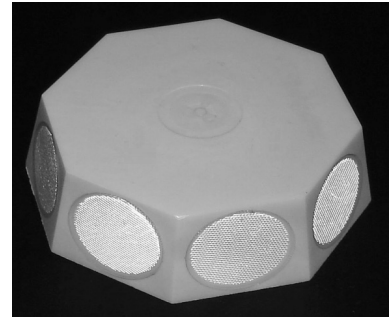


Рис.1. Загальний вигляд кругового світлоповертача



Рис. 2. Світлоповертачі ІПРІ НАН України на площі Перемоги (м. Київ)

Дослідна експлуатація виробів підтвердила їх надійність та корисність для підвищення безпеки руху вночі. За підсумками виконання зазначеного конкурсного проекту фахівці КК «Київавтодор» висловили побажання щодо продовження спільних робіт з метою розширення обсягів впровадження розроблених кругових мікропризмових катафотів в м Києві та в інших містах України.

ВИСНОВКИ. Розроблено конструкцію кругового бордюрного катафоту з мікропризмовими світлоповертальними елементами, який забезпечує надійну візуалізацію крутих закруглень та перехресть автодоріг, місць розвороту автотранспорту, острівців безпеки в темну пору доби. Створено технологічний комплекс та організовано масове виробництво оптичних елементів з мікропризмовою структурою для створення бордюрних світлоповертачів круглої форми.

Виготовлено дослідно-промислому партію світлоповертальних елементів круглої форми загальною кількістю 500 шт., які встановлено на ряді перехресть м. Києва для дослідної експлуатації та підготовки рекомендацій щодо розширення обсягів їх використання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Борн М.* Основы оптики. М.: Наука, 1973. 720 с.
2. *Antonov E. E., Kryuchyn A.A., Mingley Fu, Petrov V.V., Shanoilo S.M., Zichun Le.* Microprisms: optical parameters and monitoring. Kyiv: Akadempriodyka, 2015. 146 p.
3. *Бобров В. Ф.* Основы теории резания металлов. М.: Машиностроение, 1979. 344 с.
4. *Антонов Є.Є., Панкратова А.В., Шиховець О.В.* Оптичні властивості серії гальванічних матриць мікрорельєфних світлоповертальних структур. Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2013. Т.15, № 4. С. 41–50.

Спосіб виготовлення оптичного дифузору

Петров В. В., Бріцкий О. І., Шанойло С. М., Антонов Є. Є.,
Крючин А. А., Косяк І. В., Заворотний А. О., Білобров М. М.,
Лисянський М. М., Бараненкова В. П.

Патент України на винахід № 119707. МПК G02B 5/12.
Бюлетень № 14 від 25.07.2019.

Формула винаходу:

1. Спосіб виготовлення оптичних дифузорів, який складається з нанесення рельєфної мікроструктури на металеву підкладку індентором, яка подалі використовується в якості штампку для термопресування рельєфної мікроструктури на оптично прозорому полімерному матеріалі.

2. Спосіб виготовлення оптичних дифузорів, по п.1 відрізняється тим, що відстань між центрами сусідніх заглиблень діаметром D становить від $2D+0,05D$ до $2D+0,5D$.

Винахід відноситься до галузі оптоелектроніки, зокрема до способів виготовлення оптичного дифузору. Оптичні дифузори широко використовуються в рідкокристалічних дисплеях, проєкційних системах та в інших пристроях, де виникає необхідність у формуванні освітлювального пучка з заданими параметрами. Оптичні дифузори можуть використовуватися також в системах стеження за рухомими об'єктами.

На сьогодні для виготовлення оптичних дифузорів використовують як способи, основані на голографічному створенні дифракційних ґраток, способи з використанням мікросфер, розміщених в полімерній матриці, так і способи формування 3D структур на основі напівтонової фотолітографії.

Винахіднику відомі багато аналогічних рішень способів виготовлення оптичного дифузора, серед них за сукупністю суттєвих ознак найближчими є наступні.

Відомий спосіб виготовлення оптичного дифузора, в якому для виготовлення оптичного дифузора пропонується використання голографічних структур у вигляді дифракційних ґраток («Создание оптических рассеивателей на галогидосеребряных фотоматериалах с помощью мультиплексных голограмм»). Н. М. Ганжерли, С. Н. Гуляев, И. А. Маурер, Д. Ф. Черных. *Журнал технической физики*. 2014. том 84, вып. 12). Для того, щоб голограма розсіювала падаюче випромінювання в об'ємному фізичному куті, необхідно, щоб її структура була більш складною, складалася в собі безлічі дифракційних ґраток, орієнтованих за різними кутами в площині голограм. Вказаний спосіб полягав в тому, що тонка амплітудна мультиплексна голограма створювалася в результаті інтерференції двох плоских пучків на фотоплатівці під заданим кутом шляхом здійснення ($N/2$) однакових експозицій, між якими фотоплатівка поверталась на невеликий фіксований кут навколо нормалі до її поверхні. Величина кута визначала кількість плоских хвиль N . Після обробки мультиплексної голограми вона представляла собою сукупність безлічі повернутих амплітудних ґраток. Для отримання оптичного дифузора придатного до використання необхідно перетворити амплітудну голограмму-дифузорець у високоефективну рельєфно-фазову структуру. В результаті фотохімічної обробки голограми срібне зображення повністю видалялося з

фотоемулсії, що призводило до формування чисто рельєфно-фазової структури голограми. При освітленні мультиплексної голограми кожна з елементарних ґраток створювали пучки ± 1 -х порядків, які у Фур'є площини лінзи збиралися в кільці, заповнене точками, що світяться.

Недоліком запропонованого способу є те, що оптичні властивості фазових голограм-дифузоров істотно залежать від нелінійного перетворення амплітудної структури до фазової. Крім того оптичний дифузор виявляється виготовлений з м'якого полімерного матеріалу, що ускладнює його експлуатацію. Голографічним способом можуть бути виготовлені оптичні дифузори з певним набором характеристик для застосування у конкретних системах.

У деяких технічних пристроях потрібні оптичні дифузори, що розсіюють світловий потік на невеликі кути (10 – 20) $^\circ$ без істотного зниження коефіцієнта пропускання світла оптичною системою (Дмитриев А.В., Иванов А.В., Хохлов А.Р. Численное моделирование распространения света через диффузор. *Фундаментальная и прикладная математика*. 2009. Т.15, № 6. С.33–41). Як правило, конструкції таких дифузоров ґрунтуються на застосуванні мікросфер, розміщених у полімерній матриці, які і розсіюють потік світла на необхідний кут.

Недоліком вказаного аналога є те, що може використовуватися один або кілька шарів матеріалу, прозорого для використовуваного діапазону спектра, в кожному з шарів є зазначені мікроскопічні частинки іншої речовини.

Частково недоліки усунені у відомому способі виготовлення оптичних дифузоров, що взято за прототип (патент US 6,410,213, опублікований 25.06.2002 р.). Відповідно до вказаного патенту сфокусованим лазерним випромінюванням здійснюється експонування фоточутливого шару, нанесеного на підкладку з оптично прозорого матеріалу, з наступним селективним травленням фоточутливого шару, при якому вилучаються неопромінені ділянки. На підкладці формується рельєфно-фазова структура, яка направляє опромінююче світло у кільце розташоване під визначеним кутом. За посиланням [http://www.rpcphotonics.com/engineered-diffusers-information/\(Engineered-Diffusers\)](http://www.rpcphotonics.com/engineered-diffusers-information/(Engineered-Diffusers)) на першому зображенні схематично представлено принцип дії оптичного дифузора з штучно утвореною 3D рельєфно-фазовою структурою.

Недолік запропонованого способу прототипу полягає в тому, що рельєфно-фазова структура дифузора створена з м'якого полімерного матеріалу розміщеного на оптично прозорій підкладці. Можливе виготовлення металевого штампу з полімерного оригіналу з наступним виготовленням копій на оптично прозорому матеріалі (полікарбонат, поліметилметакрилат).

В основу винаходу поставлена задача забезпечення високого пропускання світла та зменшення частки нерозсіяного світла в оптичних дифузорах з одночасним забезпеченням якості та високої повторюваності характеристик оптичного дифузора за рахунок виготовлення оптичних дифузоров у вигляді рельєфної мікроструктури з різними задалегідь визначеними кутами відхилення розсіяваного випромінювання та з різним розміщенням заглиблень на металевій підкладці.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб виготовлення оптичного дифузора у вигляді рельєфної мікроструктури, відповідно до винаходу, включає нанесення твердосплавним конічним індентором з кутом при вершині (120 – 160) $^\circ$ конічних заглиблень на металеву підкладку, яка подальше використовується як штамп для термопресування рельєфної мікроструктури у вигляді конічних виступів на оптично прозорому полімерному матеріалі.

При цьому відстань між центрами сусідніх заглиблень діаметром D може становити від $D+0,05D$ до $D+0,5D$.

При цьому нанесення конічних заглиблень може здійснюватися індентором з шорсткістю не гірше $R_z0,80$.

Між сукупністю суттєвих ознак винаходу та технічним результатом, який досягається, існує наступний причинно-наслідковий зв'язок.

Винахідниками в процесі досліджень було визначено, що для покращення експлуатаційних характеристик та технологічності виготовлення оптичного індентора його виготовляють у вигляді рельєфної мікроструктури з заданими характеристиками. Зокрема, відповідно до однієї з ознак винаходу, спосіб включає нанесення твердосплавним конічним індентором з кутом вершині $(120-160)^\circ$ конічних заглиблень на металеву підкладку, яка подалі використовується як штамп для термопресування рельєфної мікроструктури у вигляді конічних виступів на оптично прозорому полімерному матеріалі. Конічна форма заглиблень на штампі дозволяє формувати в подальшому конічні виступи на дифузорі, які забезпечують отримання рівномірного розподілу інтенсивності відхиленого світла у кільцевій зоні (кільцева зона – кожна ділянка оптичної системи, видалена від її осі на відстань d). Відхилення від конічної форми призводить до збільшення частки розсіяного під випадковими кутами світла і нерівномірного розподілу інтенсивності світла у кільцевій зоні, до випадкового розсіювання та зменшення пропускання.

Використання оптично прозорого полімерного матеріалу дозволяє забезпечити роботу оптичного дифузора, оскільки характеризується необхідними фізико-хімічними характеристиками та здатний набувати задану форму після обробки.

Винахідниками також при створенні дослідних зразків встановлено, що кут індентора визначає кут розсіяного (відхиленого) світла, тобто кут відхилення дифузором оптичного випромінювання. В процесі досліджень було встановлено, що для забезпечення оптимального кута відхилення дифузора, кут при вершині індентора повинен становити в діапазоні $(120-160)^\circ$, що забезпечить кут відхилення дифузором оптичного випромінювання всього в межах $5-10^\circ$.

Винахідниками також було встановлено, що для отримання дифузора, який відхиляє максимальну величину світла в кільце (кожна ділянка оптичної системи, віддалена від її осі на відстань d (кільцева зона), дає зображення світної точки у вигляді кільця), конічні елементи повинні займати максимальну площу на поверхні підкладки. Розміщувати заглиблення надто близько не можна внаслідок деформації сусідніх конічних заглиблень. В процесі досліджень встановлено, що оптимальною відстанню між центрами заглиблень є діапазон від $D+0,05D$ до $D+0,5D$. В Таблиці наведено дані про вплив розміщення конічних заглиблень на ефективність виготовлених дифузорів.

Відповідно до таблиці, розміщення заглиблень на більшій відстані за вказаний діапазон призводить до значного збільшення частки нерозсіяного світла, що зменшує ефективність оптичного дифузора. Розміщення заглиблень на меншій відстані може призвести до деформації форми сусіднього заглиблення, що в свою чергу призводить до нерівномірного розподілу інтенсивності після дифузору.

В процесі досліджень конічні заглиблення створювались на підкладці, яка далі використовувалась як штамп для виготовлення дифузорів на прозорому полімерному матеріалі. Матеріал штампа повинен бути одночасно пластичним для того, щоб на

Таблиця 1. Залежність частки розсіяного світла від відстані між центрами заглиблень

Відстань між центрами заглиблень	Частка розсіяного світла
$D+0,01D$	2.8
$D+0,03D$	2.4
$D+0,05D$	2.2
$D+0,1D$	2.0
$D+0,3D$	8.0
$D+0,5D$	10.0
$D+0,7D$	12
$D+0,9D$	14

ньому можна було створювати твердосплавним індензором конічні заглиблення і забезпечувати отримання великої кількості копій. Отримання необхідної кількості копій можливо тільки з використанням штампів, температура плавлення матеріалу якого значно, на 300-500 °, перевищує температуру плавлення матеріалу, з якого виготовляють дифузори. Таким вимогам для матеріалу штампів задовольняють метали з твердістю за Бринеллем 24–40 кгс/мм². Таким чином, підкладка для виготовлення дифузорові повинна бути металевією для забезпечення необхідних експлуатаційних характеристик. Тільки правильний вибір матеріалу металевією штампів дозволяє отримувати дифузори з визначеними світлотехнічними характеристиками. Отримання заглиблень на штампі з дзеркальною металічною поверхнею є необхідною умовою для отримання дифузорові, які розсіюють світло у вузькому задалегідь заданому куті з максимальною часткою розсіяного під довільними кутами світла.

Відомо, що на якість дифузорові найбільший вплив має якість поверхні конусів, на яких відбувається розсіяння світла. При розсіянні світла конусами з дзеркальною поверхнею відхилення відбувається у певний кут, визначений кутом конічних виступів. Наявність подряпин на поверхні конусів призводить до появи світлових потоків, відхилених від випадковими кутами. Частина випадково розсіяного світла в залежності від якості обробки індензора може змінюватися від 2 до 15 %. Таким чином, в процесі досліджень встановлено, що індензор повинен бути з визначеною шорсткістю поверхні. Винахідниками зокрема встановлено, що оптимальною шорсткістю поверхні є шорсткість не гірше $R_z0,80$. Шорсткість поверхні індензора $R_z0,80$ і менше забезпечує при термопресуванні прозору оптичну шорсткість полімерних оптичних розсіюючих елементів. При шорсткості індензора більше $R_z0,80$ при термопресуванні поверхня конічних розсіюючих елементів буде непрозорою, матовою. Встановлена шорсткість робочої поверхні індензора свідчить про те, що ця робоча поверхня є полірованою, що дозволяє при виготовленні дифузорові забезпечити оптичну якість конусного мікрорельєфа і, як наслідок, найменші втрати світлового потоку при проходженні його через дифузор.

Запропонований спосіб включає нанесення конічних заглиблень на металеву підкладку твердосплавним конічним індензором. Виконання індензора твердосплавним дозволяє забезпечити дзеркальну поверхню індензора (з шорсткістю не гірше $R_z0,80$), оскільки поверхню твердих сплавів, наприклад, таких як тверда сталь, можна шліфувати до дзеркальної.

Суть винаходу пояснюють креслення.

На фіг.1 показано розміщення конічних заглиблень на поверхні металевією підкладки (діаметр 1,0 мм).

На фіг.2 показано вид світлорозсіюючої поверхні, сформованією на поверхні підкладки з оптичного прозорого полімерного матеріалу, зокрема полікарбонату (діаметр конічних виступів 1,0 мм).

Зображувальні матеріали, що пояснюють заявлений винахід, а також наведені приклади конкретного виконання способу ніяким чином не обмежують обсяг домагань, викладений у формулі, а тільки пояснюють суть винаходу.

Здійснюють спосіб виготовлення оптичного дифузору наступним чином.

Приклад 1. Відповідно до запропонованого способу був виготовлений оптичний дифузор шляхом нанесення рельєфної мікроструктури на підкладку з алюмінієвого сплаву В95 твердосплавним індензором з кутом 150 °, термопресуванням на підкладці з полікарбонату рельєфної мікроструктури.

Використовувались індензори, виконані з твердої сталі (твердість не менше 850 HV10) або карбіду вольфраму (твердість не менше 1500 HV10), поверхня яких

можна шліфувати до дзеркальної. Для виготовлення штампів використовувався найбільш твердий серед відомих сплавів алюмінію – В95, на якому при індентуванні забезпечується утворення конічних заглиблень з дзеркальною поверхнею. Як оптично прозорий полімерний матеріал використано полікарбонат.

Термопресування здійснювалось штампом з температурою 100-120 °С на пластичній підкладці, також нагрітій до 90–100 °С при тиску 5-10 кг/мм². Час прикладання тиску на штамп становив 20–80 секунд.

Конічні заглиблення розміщувалися на металевій підкладці таким чином, що відстань між центрами заглиблень діаметром D рівним 0,8 мм становила 0,88 мм ($D+0,1D$). Виготовлений оптичний дифузор представляв собою прозору підкладку, на поверхні якої була сформована рельєфна структура.

Виготовлений оптичний дифузор забезпечує коефіцієнт пропускання світла більше 90 % з одночасним зменшенням нерозсіяної компоненти до 1–3 %. На фіг.2 наведено зображення світлорозсіючої поверхні сформованої на поверхні підкладки з полікарбонату.

Приклад 2. Відповідно до запропонованого способу був виготовлений оптичний дифузор шляхом нанесення рельєфної мікроструктури на підкладку з алюмінієвого сплаву В95 твёрдосплавним індентором з кутом при вершині 150°, термопресуванням на підкладці з полікарбонату рельєфної мікроструктури. Матеріали та умови термопресування описані в прикладі 1.

Конічні заглиблення розміщувалися на металевій підкладці таким чином, що відстань між центрами заглиблень діаметром 0,8 мм становила 0,84 мм ($D+0,05D$). Виготовлений оптичний дифузор представляв собою прозору підкладку, на поверхні якої була сформована рельєфна структура. Виготовлений оптичний дифузор забезпечує коефіцієнт пропускання світла більше 90 % із значенням нерозсіяної компоненти до 2-4 %. Збільшення значення нерозсіяної компоненти пов'язане з частковою деформацією форми заглиблень на металевому оригіналі.

Приклад 3. Відповідно до запропонованого способу був виготовлений оптичний дифузор шляхом нанесення рельєфної мікроструктури на підкладку з алюмінієвого сплаву В95 твёрдосплавним індентором з кутом при вершині 150°, термопресуванням на підкладці з полікарбонату рельєфної мікроструктури. Матеріали та умови термопресування описані в прикладі 1.

Конічні заглиблення розміщувалися на металевій підкладці таким чином, що відстань між центрами заглиблень діаметром 0,8 мм становила 1,2 мм ($D+0,5D$). Виготовлений оптичний дифузор представляв собою прозору підкладку, на поверхні якої була сформована рельєфна структура. Виготовлений оптичний дифузор забезпечує коефіцієнт пропускання світла більше 90 % із значенням нерозсіяної компоненти до 5–6 %. Збільшення значення нерозсіяної компоненти пов'язане з тим, що частина світла не розсіюється на мікровиступах.

Таким чином, запропонований винахід дозволяє забезпечити високе пропускання світла та зменшення частки нерозсіяного світла в оптичних дифузорах з одночасним забезпеченням якості та високої повторюваності характеристик оптичного дифузора за рахунок виготовлення їх у вигляді рельєфної мікроструктури з різними заздалегідь визначеними кутами відхилення розсіяного випромінювання та з різним розміщенням заглиблень на металевій підкладці.

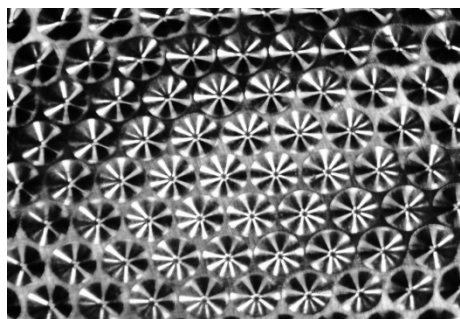


Рис. 1. Структура поверхні дифузора

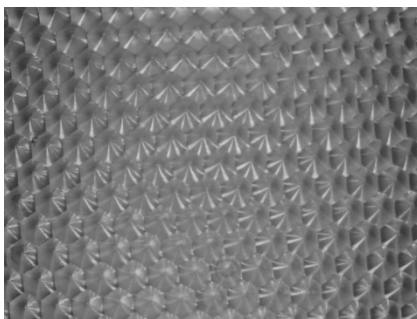


Рис. 2. Структура поверхні дифузора

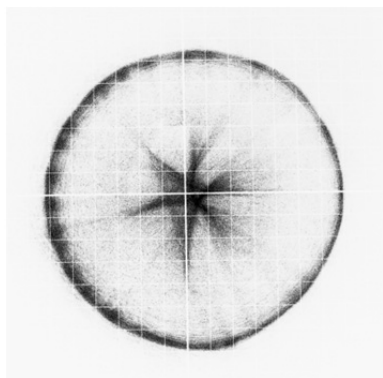


Рис. 3. Індикатриса променя дифузора

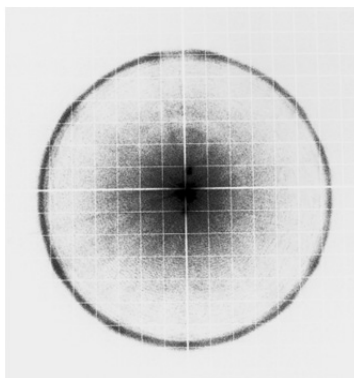


Рис. 4. Індикатриса променя дифузора

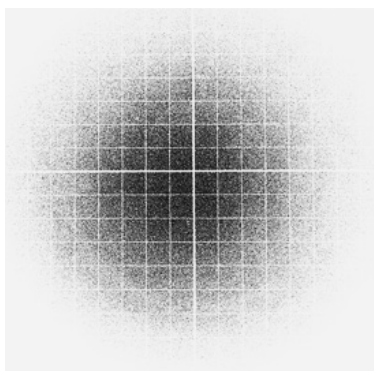


Рис. 5. Індикатриса променя дифузора

Achromatic Refractive-Diffractive Double-Relief Microprisms

Mingley Fu, Eugene Antonov, Dmytro Manko, Viacheslav Petrov,
Caowei Le, Chongfei Bo, Wenqi Zhang, Shenyan Wang

Optics and Laser in Engineering. 2020. V.126, # 105903.

Abstract: The Fresnel-prism technique has become an important medical option for the diagnostics and treatment of strabismus in children. However, the application of prisms in ophthalmology generally involves chromaticity problems: the formed optical images are distorted due to the dispersion of white light at the microrelief; applied microprisms reduce the contrast of the images of the test charts, and in turn, the accuracy of eye diagnostics drops. In this study, a novel method was developed for the total chromatism compensation using a special microprismatic refractive-diffractive structure with double microrelief: the first refractive microrelief was used for light beam deflection, whereas the second diffractive one was used for compensating the chromatism of the first microprism. The dispersion chromatism of the first refractive prism and the diffraction chromatism of the second microprism grating are oppositely directed. Thereby, dispersion chromatism can be completely compensated by diffraction grating. The optimal characteristics of these achromatic refractive-diffractive structures were calculated, and the necessary angles and optimal relief pitches of the ophthalmic microprisms were obtained. Achromatic structures were manufactured according to the calculated parameters, and their optical characteristics were experimentally investigated. The main advantage of such optical devices is that they are flat and very thin. The findings indicate the possibility of designing effective achromatic microprisms.

Keywords: Rigid microprisms, chromatism, refractive prism, diffractive grating, double-relief microprisms

1. INTRODUCTION

Microprisms are extensively used in different applications, the main one being ophthalmology [1–4]. However, the application of prisms generally involves chromaticity problems due to the dispersion of white light at the microrelief. Many studies have reported the deterioration of the formed optical images and patient's visual acuity during ophthalmological diagnostics using microprisms [5–8]. Recent studies have reported the influence of microprisms on the contrast and resolution of test images using a new electronic method [9–10]; the authors demonstrated a noticeable decrease in the resolution of the stroke test objects by microprisms due to the chromatism of white light. Hence, a chromatism is harmful to ophthalmic applications.

For reducing chromatism, optical plastics with a maximum Abbe coefficient [11] should be used in the manufacturing of microprismatic elements. Another method is to use appropriate color filters [12]. The introduction of the colorant directly into the prism material is a promising method; however, methods with colorants in any form are not very convenient.

The formation of achromatic prisms using two or more refractive prisms with special relief, made from different optical materials [13–14] specially selected for compensating chromatism, have been extensively studied. However, the most promising method is to use refractive-diffractive microprisms with a special double-relief [15]. In ophthalmic Fresnel microprisms, in addition to chromatism, diffraction occurs, causing further deterioration in patient's visual acuity, but diffraction can be used for compensating chromatism. In refrac-

tive-diffractive structures, the first refractive microrelief is used for deflecting the light beam, whereas the second diffractive one is used for compensating the chromaticity of the first microprism. The dispersion "positive" [16–17] chromatism of the first refractive prism and the diffraction "negative" [16–17] chromatism of the second one, which is in fact a low-pitch diffraction grating, are oppositely directed. Thereby, dispersion chromatism can be completely compensated by the diffraction grating. The main advantage of such optical devices is that they are practically flat and very thin.

In this study, the optical parameters of such achromatizing double-relief microprisms were calculated for usage in the ophthalmic applications. The peculiarities of such refractive-diffractive structures and the characteristics of the manufactured microprisms were examined to determine the appropriate conditions for the design of effective achromatic optical devices.

2. FABRICATION OF THE MICROPRISMS

The basic view and the scheme of the rigid new microprisms recently proposed [9–10] by the Institute for Information Recording (IIR, Ukraine) are shown in Fig. 1a–1c.

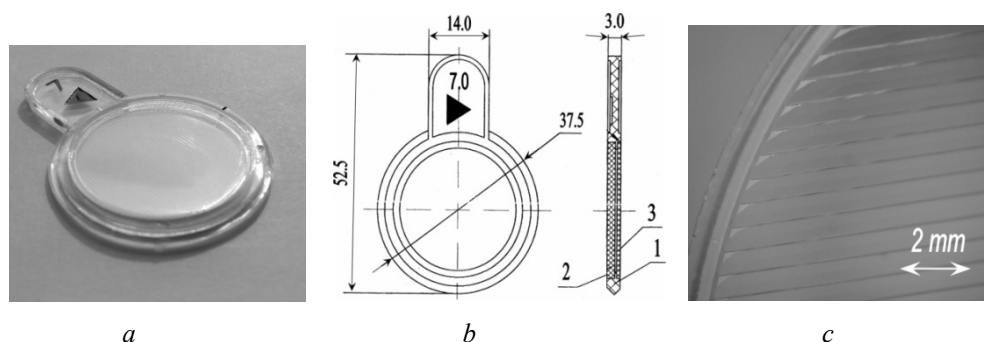


Fig. 1. The novel rigid microprism [12] with protected relief: *a* – general view; *b* – schematic view: 1 – PC holder, 2 – PMMA microprism relief, 3 – protective PC plate; *c* – magnified view of the microprism.

The embodiment of such a microprism for ophthalmic diagnostics comprises a 32-mm diameter flat transparent microrelief plate composed of polymethylmethacrylate (PMMA). This plate is placed into the holder, the dimensions of the holder are adopted for the ophthalmic probe frame. The holder, with a diameter of 37.5 mm, is composed of a polycarbonate (PC) plate. The microprismatic relief is sealed by a protective flat transparent plate made of 0.6-mm thick PC. The prismatic strength of any prism is measured in prismatic diopters (PD) Δ [12]. A prism with prismatic strength PD = 1.0 Δ deflects the light beam by $G = 1$ cm for distance $L = 1.0$ m; thus $\Delta = 100(G/L)$. The direction of the prismatic action of the new microprism in the holder is depicted by the black triangle in Fig. 1b, and the base of the triangle shows the direction of the reflected beam. The prismatic strength in PD is indicated on the holder above the triangle. All the values on the holder in Fig. 1b are in mm.

The main difference between these new rigid microprisms and traditional flexible films "3M™ Press-On™" produced by "3M" Company (USA) and all the other known microprisms is that microrelief for these new devices is protected from mechanical damages and contamination by the special protective plate; therefore, the optical properties of these microprisms do not change, even with prolonged usage.

At the first stage of the manufacturing process, the necessary prismatic microrelief is

formed on the flat surface of the forming metal plate made from a special aluminum alloy, W95. The microrelief is produced by the diamond cutting method [12] using the existing diamond cutting station in IIR (Ukraine). The diamond cutting tool moves in special air bearings, and the positioning accuracy of the tool is approximately $0.5\ \mu\text{m}$ at the total cutting length of 40 mm. The cutting facet of the tool is sharpened at the necessary angle $\alpha_C = (50\text{--}90)^\circ$. The cutter holder unit provides the positioning of the diamond tool at the predetermined angles α_T . The cutting process is performed in a successive steps of cutter deepening with the increment $\Delta h = (5.0\text{--}10.0)\ \mu\text{m}$ during the reciprocating movement of the carriage with a diamond cutter tool to achieve the necessary depth of the relief. The cutting process is controlled by a special computer program.

At the next stage, the obtained metal matrix is used for manufacturing plastic replicas using the thermo-pressing technique [12] from the transparent PMMA. The holders for ophthalmic microprisms are manufactured from PC plates using the automatic injection molding machine type "Elite TA100". The protective PC flat plate is produced by stamping the flat optical PC workpiece (0.6 mm thick). The microrelief plate, the holder and the protective plate are hermetically joined by an ultrasonic welding technique to produce the ophthalmic diagnostic microprism.

For manufacturing a double-relief achromatic microprism, a similar technique is used. According to the calculated parameters, the original metal matrices are formed for the refractive and diffractive microprisms. Further, plastic samples of rigid transparent microprisms composed of PMMA are manufactured with the above matrices. The microrelief pitch W of the first large refractive microprism is generally $600\ \mu\text{m}$ for reducing diffraction. For the second microprism, pitch W_X is considerably smaller to enhance the diffraction influence. The proposed achromatic microprism has no protective plate because two microprisms are supposed to be connected to one another by ultrasonic welding to form the hermetic device. The thickness of the refractive and the diffractive microprisms is 1–2 mm depending on the thickness of the forming PMMA plate, and the gap between the refractive and diffractive microprisms is approximately $200\ \mu\text{m}$.

The achromatic properties of these small achromatizing microprisms were simulated and then experimentally investigated using the experimental setup similar to the one described in our previous paper [10].

3. THEORETICAL MODEL OF THE REFRACTIVE-DIFFRACTIVE ACHROMATIC STRUCTURE

The main idea [15] behind the design of achromatic microprisms is the formation of a special microprismatic double-relief structure: the first microprism is used for deflecting the light beam by a certain angle, whereas the second one is used for the compensation of the chromatism of the first microprism. The scheme of such an achromatic structure for the normal incoming light beam on the refractive prism is shown in Fig. 2. Here, for the refractive prism, W is the microrelief pitch, H is the nominal relief depth, α_R is the refracting angle, β is the reverse angle of the microprism, θ_R is the angle of the light-beam deflection after the first prism, and φ_F / φ_A is the diffraction / interference angle for the amplitude-phase grating or amplitude grating. For diffraction grating, W_X is the microrelief pitch, h is the nominal relief depth, α_X is the refractive angle, θ_X is the angle of the light beam deflection after diffraction grating.

The normal falling of the light beam on the prism surface is the main condition of microprism applications in ophthalmology diagnostics. Therefore, in this study, we only considered this physical case. The oblique incidence of the rays is not typical for these diagnostics; thus, we will consider it in the future. The stray light and the beam reflections inside the

prisms diminish the total light transmission for PMMA by 8 % [12] but cannot change the main our considerations.

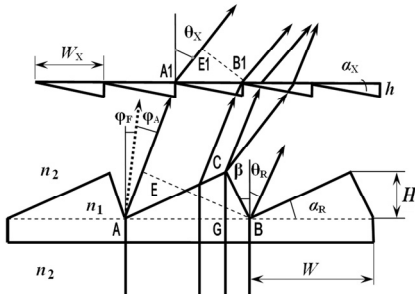


Fig. 2. Scheme of the refractive-diffractive achromatic structure

because we consider the micropisms for ophthalmology applications with patients reviewing the test eye charts under white light. Since 2005, the development of the refraction-diffraction achromatic devices according to principle [15], which is to create double-relief micropisms, has not been reported. Thus, optical parameters should be calculated to manufacture such devices.

The chromaticity phenomenon for a refractive prism can be described by Snell's law [11], considering the dependence of refractive index n on light wavelength λ :

$$n_1(\lambda)\sin \varphi_1 = n_2(\lambda)\sin \varphi_2 \quad (1)$$

where φ_1 and φ_2 are the light propagation angles in the first and second medium, respectively, and $n_1(\lambda)$ and $n_2(\lambda)$ are the refractive indices of the micropism and medium, respectively, for a certain wavelength λ .

For a given angle α_R of the refractive prism, deflection angle θ_R depends on λ because refractive index $n(\lambda)$ of the micropism depends upon the value of λ . Thus, a dispersion chromatism zone $\Delta(\lambda_1\lambda_2)_R$ is formed. Using Eq. 1, the value of $\Delta(\lambda_1\lambda_2)_R$ can be determined for two ultimate wavelengths λ_1 and λ_2 , depending upon the prism refractive angle, α_R :

$$\Delta(\lambda_1\lambda_2)_R = \theta_{R1} - \theta_{R2} = \sin^{-1} \{ \sin \alpha_R n_1(\lambda_1) / n_2(\lambda_1) \} - \sin^{-1} \{ \sin \alpha_R n_1(\lambda_2) / n_2(\lambda_2) \}. \quad (2)$$

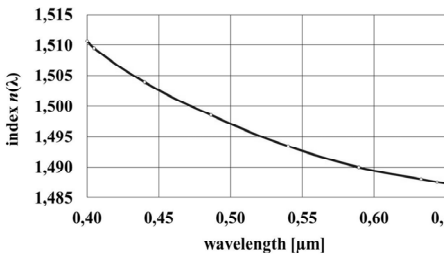


Fig. 3. Refractive index $n(\lambda)$ for PMMA [19]

Thus, the value of the dispersion chromatism zone $\Delta(\lambda_1\lambda_2)_R$ is completely determined by the refracting angle α_R of the refractive prism, and by the dependence of refractive index $n(\lambda)$ on λ . For calculating the chromatic angles, refractive indices $n(\lambda)$ of different materials published in [19] were used. Micropisms are generally manufactured using PMMA. The values $n(\lambda)$ for PMMA [19] are depicted in Fig. 3.

The dispersion chromatism zone $\Delta(\lambda_1\lambda_2)_R$, defined in Eq. 2, for the visible spectral range ($\lambda_1 = 0.6328 \mu\text{m} - \lambda_2 = 0.4047 \mu\text{m}$) for PMMA is shown in Fig. 4 (curve 1, in deg.).

Curve 2 represents the calculated relief pitch W_X for the achromatizing prism, which functions in the first-order diffraction that provides the total compensation of dispersion chromatism $\Delta(\lambda_1\lambda_2)_R$ of the refractive prism (curve 1) for a different prismatic strength Δ . For instance, for the total compensation of the dispersion chromatism zone for prism PD = 30 Δ , which is equal to $\Delta(\lambda_1\lambda_2)_R = 0.85$ deg., it is necessary to apply the diffraction grating with the pitch $W_X = 1.1$ μm . For PD = 5.0 Δ , value $\Delta(\lambda_1\lambda_2)_R = 0.13$ deg. and the pitch $W_X = 5.1$ μm .

For the practical consideration of diffraction and interference, a simplified model, in which the light waves are considered flat, can be used. In this model, the initial phase difference of the beams $\Delta_i = (AE - CG)$ (Fig. 2) can be accounted for by the simple turning of the coordinate system by deflection angle $\theta_R(\lambda)$, which is easy to determine for each wavelength λ using Snell's law (1). Hence, deflection angle θ_R in this model determines diffraction angle $\varphi_D = 0$ for the transmitted light.

For amplitude grating in this model, diffraction angles $\varphi_D(\lambda)$ and interference angles $\varphi_i(\lambda)$ are measured from the direction of the deflection angle $\theta_R(\lambda)$ (Fig. 2, angle φ_A). For the calculation of the intensity J of the light transmitted through the microprism, previously established amplitude grating equations [11] for can be used.

$$J = J_0 (\sin A \sin NB)^2 / (A \sin B)^2, \quad (3)$$

where N is the number of slots; $A = (\pi b/\lambda) \sin \varphi_D$, $B = (\pi d/\lambda) \sin \varphi_i$.

In the direction of angle $\theta_R(\lambda)$ (Fig. 2), the grating period is $d_\theta = BE = AB \cos \theta_R$ and the effective aperture is $b_\theta = \{BE - CB \sin(\theta_R + \beta)\}$. For a reverse angle $\beta = 0$, the period is $d_\theta = W \cos \theta_R$ and the aperture is $b_\theta = W (\cos \theta_R - \text{tg } \alpha_R \sin \theta_R)$.

A similar consideration is valid for the second achromatizing grating:

$$\begin{aligned} d_\theta &= W_X \cos \theta_X \\ b_\theta &= W_X (\cos \theta_X - \text{tg } \alpha_X \sin \theta_X). \end{aligned} \quad (4)$$

The value of N determines the microrelief zone through which the studied visual object is focused on the retina of the human eye or determines the illuminated area of the grating. Under normal light conditions, the pupil diameter of the human eye is $D_R = 2.4$ mm; hence, for a microrelief pitch $W = 600$ μm , this diameter corresponds to the value $N = 4$. Accordingly, for $W = 55$ μm , the value of $N = 2.4/W$ is approximately 44.

For any wavelength λ , the width of the main diffraction maximum is $\delta D = \sin^{-1}\{2\lambda/b\}$; the diffraction minima are located at the diffraction angles $\varphi_{Dm} = \sin^{-1}\{k_m(\lambda/b)\}$, where $k_m = 1, 2, 3, 4 \dots$ are the diffraction orders [11].

The angles of the interference maxima $\varphi_{li} = k_i \sin^{-1}(\lambda/d)$, where $k_i = 0, 1, 2, 3, 4 \dots$, are the interference orders. The width of the interference maximum $\delta I = \sin^{-1}\{\lambda/(Nd)\}$ is determined by the number of slits N . Therefore, in our case, for small angles φ_{li} , the grating period is $d \approx W = 600$ μm , the value $N = 4$; thus, the value of Nd is approximately 2400. The value Nd , in fact, is the linear dimension of the illuminated area of the grating (in μm). For

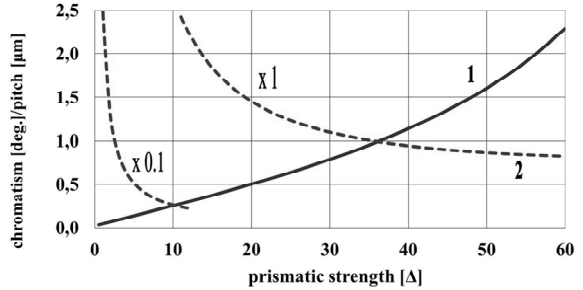


Fig. 4. Dispersion chromatism zone $\Delta(\lambda_1\lambda_2)_R$ (curve 1, deg) and relief pitch W_X (curve 2, μm) of the achromatizing prism for the first-order diffraction

smaller values of W , the number of slits N proportionally increased ($N = 2.4/W$); thus, Nd is a constant. Therefore, interference width δI has the same value for all considered gratings, regardless of their pitch W .

For the accurate calculation of the optical characteristics of the achromatizing microprism, which is in fact an amplitude-phase grating, it is necessary to consider the initial phase difference between the interfering beams [20]. The diffraction component A in Eq. 3 can be expressed as follows:

$$A_F = (\pi b/\lambda) (\sin \varphi_D - \sin \theta_X), \quad (5)$$

where θ_X is the deflection angle for a certain wavelength λ and φ_D is the angle of diffraction.

For the amplitude-phase grating model, the diffraction angles φ_D are measured [20] from the normal to the forming surface of the microprism (Fig. 2, angle φ_F). Although the interference component $B = (\pi d/\lambda) \sin \varphi_i$ in Eq. 3 is unchanged, interference angles φ_i are also measured from the normal to the forming surface [20].

For refractive microprisms with the usual dependence of refractive index $n(\lambda)$ on wavelength λ , when $dn(\lambda)/d\lambda < 0$, according to Snell's law (1), light beams of longer wavelength (e.g., dark-red ($\lambda_C = 0.6328 \mu\text{m}$)) are deflected at a smaller deflection angle θ_D than those of shorter wavelength (e.g., dark-blue ($\lambda_H = 0.4047 \mu\text{m}$)). Hence, a dispersion "positive" [17] chromatism zone $\Delta(\lambda_1\lambda_2)_R$ is formed.

Conversely, for a diffraction grating illuminated by coherent light with different wavelengths λ , a system of interference maxima is formed with the angular period $\delta I = \sin^{-1}(\lambda/d)$ and with the angles $\varphi_{ii} = k_i \sin^{-1}(\lambda/d)$, where $k_i = 0, 1, 2, \dots$. These angles φ_{ii} for a certain order k_i decrease with the decrease in wavelength λ . Hence, the dark-blue wavelength ($\lambda_H = 0.4047 \mu\text{m}$) is deflected at smaller angles than the dark-red one ($\lambda_C = 0.6328 \mu\text{m}$), and a diffraction "negative" [17] chromatism zone $\Delta(\lambda_C\lambda_H)_X$ is formed in the opposite direction.

Thus, the chromatism directions of the refractive microprism and diffraction grating are directed toward each other. As a result, the "dispersion" chromatism zone of the microprism $\Delta(\lambda_C\lambda_H)_R$, defined by Eq. 2, can be completely compensated by the "diffraction" chromatism of the grating, $\Delta(\lambda_C\lambda_H)_X$.

In general, to obtain the achromatic devices, it is necessary to determine the optimal parameters for such microprismatic gratings; particularly, relief pitch W_X , relief depth H_X , and prism angle α_X , for which the diffraction "negative" chromatism zone $\Delta(\lambda_C\lambda_H)_X$ for the visible spectral range ($\lambda_C = 6328 \mu\text{m}$ – $\lambda_H = 0.4047 \mu\text{m}$) is equal to the dispersion "positive" chromatism zone $\Delta(\lambda_C\lambda_H)_R$ of the refractive prism.

As the position of the second-order interference maximum for wavelength $\lambda_C = 0.6328 \mu\text{m}$ coincides with the third-order maximum for $\lambda_H = 0.4047 \mu\text{m}$, such an achromatizing microprism can be effective only for the first-order diffraction. Besides, the first-order interference maxima for $\lambda_C = 0.6328 \mu\text{m}$ and for $\lambda_H = 0.4047 \mu\text{m}$ should be located within the main diffraction curve $k_m = 0$ with a diffraction angle θ_X , which is equal to the prism deflection angle $\theta_X = \{\sin^{-1}[(n_1(\lambda_E)/n_2(\lambda_E)) \sin \alpha_X] - \alpha_X$ for the amplitude grating model [12]. Hence, in the middle of the visible spectral range, λ_E is approximately equal to $0.52 \mu\text{m}$, and the angular period of the interference maxima $\delta I = (\lambda_E/d)$ should be approximately equal to the deflection angle θ_X . From this point, we can obtain the value of the pitch W_X of the achromatizing microprism as a function of its prismatic strength $PD = 100 \text{ tg } \theta_X$ for the first-order diffraction:

$$W_X = 0.52 / \{\sin^{-1}[(n_1(\lambda_E)/n_2(\lambda_E)) \sin \alpha_X] - \alpha_X\} [\mu\text{m}]. \quad (6)$$

The plot of Eq. 5 is shown in Fig. 2 (curve 2, μm). As the prism refractive angle α_X should also be sufficiently small, only microprisms with $PD = (0.5\text{--}1.0) \Delta$ should be used

for the achromatizing procedure because for larger refracting angles α_X , the value of W_X becomes too small for practical implementation.

For small microprism angles α_X or for small corresponding angles of refraction θ_X , when the pitch of the grating relief is $W_X \approx d \approx b$, the dependence of the diffraction chromatism zone $\Delta(\lambda_C \lambda_H)_X$ on the pitch W_X for the first-order diffraction can be determined as follows:

$$\Delta(\lambda_C \lambda_H)_X = (\varphi_{1C} - \varphi_{1H}) = \sin^{-1}(\lambda_C/W_X) - \sin^{-1}(\lambda_H/W_X). \quad (7)$$

The value of $\Delta(\lambda_C \lambda_H)_X$ depending on the microrelief pitch W_X , obtained using Eq. 7, is plotted in Fig. 5. For the microprism with $PD=30 \Delta$, the dispersion chromatism zone $\Delta(\lambda_C \lambda_H)_R$ for the visible spectral range ($\lambda_1=0.6328 \mu\text{m}$ – $\lambda_2=0.4047 \mu\text{m}$) is approximately 0.85 deg. Hence, pitch W_X should be sufficiently small to compensate dispersion chromatism.

For the first-order diffraction mode with the microprism pitch W_X of approximately $6.3 \mu\text{m}$, which is easy to realize in practice, the "dispersion" chromatism of the refractive prism $\Delta(\lambda_1 \lambda_2)_R$ can be compensated completely up to 2.0 deg.

By combining Eqs. 2 and 7, we can obtain the approximate dependence of the diffraction grating relief pitch W_X on the refractive angle α_R and on the prismatic strength PD of the refractive prism, whose chromatism is to be compensated. For the visible spectrum range for the microprism composed of PMMA (refractive index $n_{1e} = 1.492$ for $\lambda_E = 0.5600 \mu\text{m}$), which is placed in the air ($n_{2e} = 1.0$),

$$W_X \approx 10.3 (\sin \alpha_R)^{-1}. \quad (8)$$

The plot of W_X obtained using Eq. 8 is depicted in Fig. 6 (curve 1). For comparison, the results of the exact calculations of W_X (curve 2) made by Dr. Lapchyk in [12] are also displayed. For microprisms with $PD < 30 \Delta$, both results are almost identical.

We then consider the process of interference maxima formation in more detail and concretize the angular parameters of such achromatizing structures. Our aim is to determine the parameters when the single intensity maximum for the red wavelength $\lambda_C = 0.6328 \mu\text{m}$, which is located within the main diffraction maximum at a larger angle relative to the dark-blue wavelength $\lambda_H = 0.4047 \mu\text{m}$, is transformed into a single dark-blue intensity maximum. In this case alone, we can expect the chromatism compensation.

Fig. 7 shows the calculated diffraction characteristics (Eqs. 3–5) for an achromatizing microprism with $PD = 1.0 \Delta$ and pitch $W = 27 \mu\text{m}$ (Fig. 7a) and $55 \mu\text{m}$ (Fig. 7b) for the two

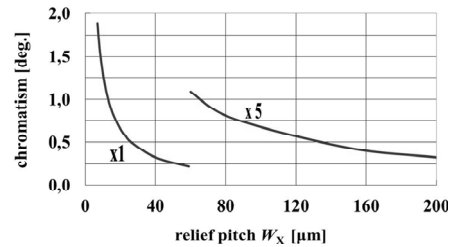


Fig. 5. The width of the diffraction chromatism zone for a first-order achromatizing prism versus the relief pitch W_X

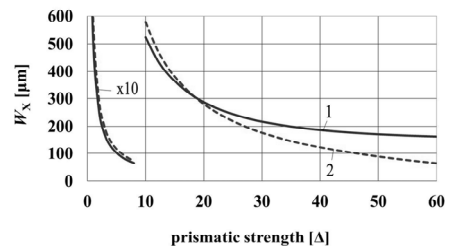


Fig. 6. Calculated relief pitch W_X for the achromatizing microprism

boundary wavelengths $\lambda_C = 0.6328 \mu\text{m}$ (red) and $\lambda_H = 0.4047 \mu\text{m}$ (dark blue). The solid thin lines are the diffraction curves for $\lambda_C = 0.6328 \mu\text{m}$ (red) and $\lambda_H = 0.4047 \mu\text{m}$ (dark blue); the dotted lines are the interference curves of different orders, respectively. Note that only the final interference maxima, which are located within the main diffraction maximum, will be observed, when factors A and B in Eq. 3 have nonzero values. Such final intensity maxima are indicated by solid thick lines for $\lambda_C = 0.6328 \mu\text{m}$ (red) and $\lambda_H = 0.4047 \mu\text{m}$ (dark blue).

Thus, for relief pitch $W = 27 \mu\text{m}$ at $\lambda_C = 0.6328 \mu\text{m}$ in the zone of the main diffraction maximum with angle $\varphi_{D1} = 0.569 \text{ deg}$, the single first-order red maximum is realized at an angle $\varphi_{I1} = 1.343 \text{ deg}$ (Fig. 7a, curve 7, red peak $W27k1-R$). With the decrease in wavelength to $\lambda = 0.4047 \mu\text{m}$, this maximum is transformed into a single first-order blue interference maximum at an angle $\varphi_{I2} = 0.849 \text{ deg}$ (Fig. 7a, curve 4, blue peak $W27k1-B$) in the main diffraction maximum zone with angle $\varphi_{D2} = 0.593 \text{ deg}$; hence, the angular difference is $\varphi_{I1} - \varphi_{I2} = 0.494 \text{ deg}$. Thus, using this grating, almost total compensation of the "dispersion" chromatism $\Delta(\lambda_1\lambda_2)_R$ can be realized for the microprism with $PD = 16.0 \Delta$, for which the value of the "dispersion" chromatism is $\Delta(\lambda_1\lambda_2)_X = 0.461 \text{ deg}$. (according to Eq. 2).

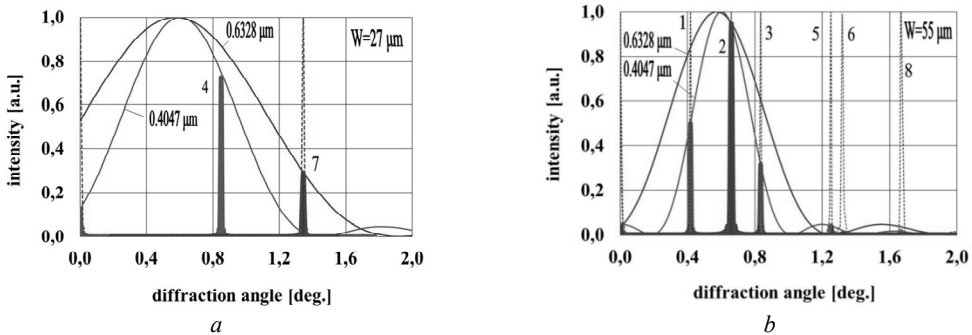


Fig. 7. Position of the interference maxima for the microprism with $PD = 1.0 \Delta$, and $W = 27 \mu\text{m}$ and $55 \mu\text{m}$, respectively: 1 – maximum $W55k1-B$ ($W=55 \mu\text{m}$, blue, 1-st order); 2 – $W55k1-R$ ($55 \mu\text{m}$, red, 1-st order); 3 – $W55k2-B$ ($55 \mu\text{m}$, blue, 2-nd order); 4 – $W27k1-B$ ($W=27 \mu\text{m}$, blue, 1-st order); 5 – $W55k3-B$ ($55 \mu\text{m}$, blue, 3-st order) 6 – $W55k2-R$ ($55 \mu\text{m}$, red, 2-nd order); 7 – $W27k1-R$ ($27 \mu\text{m}$, red, 1-st order); 8 – $W55k4-B$ ($55 \mu\text{m}$, blue, 4-th order).

However, for a relief pitch $W = 55 \mu\text{m}$ at wavelength $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$, a single first-order red interference intensity maximum at an angle $\varphi_{I1} = 0.659 \text{ deg}$, is realized (Fig. 7b, curve 2, red peak $W55k1-R$). When the wavelength decreases to $\lambda = 0.4047 \mu\text{m}$, this interference maximum is transformed into the double-blue intensity peaks at an angle $\varphi_{I1} = 0.417 \text{ deg}$ (Fig. 7b, curve 1, first-order maximum $W55k1-B$) and an angle $\varphi_{I2} = 0.833 \text{ deg}$. (Fig. 7b, curve 3, second-order maximum $W55k2-B$). Thus, for the microprism with $PD = 1.0 \Delta$ and relief pitch $W = 55 \mu\text{m}$, no achromatizing effect occurs.

For the other achromatizing microprism with $PD = 2.0 \Delta$ and pitch $W = 27 \mu\text{m}$ (a) and $55 \mu\text{m}$ (b), the interference maxima in the red region ($\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$) and blue region ($\lambda = 0.4047 \mu\text{m}$) of the spectrum are depicted in Fig. 8.

For pitch $W = 27 \mu\text{m}$, with the decrease in wavelength from $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$ to $\lambda = 0.4047 \mu\text{m}$, the transformation of a single red peak ($W27k1-R$ (Fig. 8a, curve 7)) into two blue ones (Fig. 8a, curves 4, 9) occurs. Therefore, within the main diffraction maximum at an angle $\varphi_{D1} = \theta_R = 1.138 \text{ deg}$., which is transferred to the diffraction angle $\varphi_{D2} = \theta_R = 1.185 \text{ deg}$., only the extension of the interference pattern occurs with no achromatization.

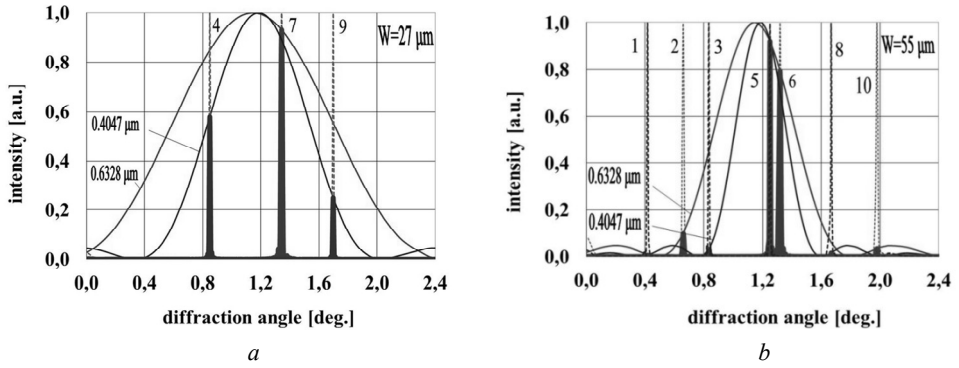


Fig. 8. Position of the interference maxima for the microprism with $PD = 2.0 \Delta$, and $W = 27 \mu\text{m}$ and $55 \mu\text{m}$, respectively: 1 – diffraction maximum $W55k1-B$ (blue, 1-st order); 2 – $W55k1-R$ (red, 1-st order); 3 – $W55k2-B$ (blue, 2-nd order); 4 – $W27k1-B$ (blue, 1-st order); 5 – $W55k3-B$ (blue, 3-rd order); 6 – $W55k2-R$ (red, 2-nd order); 7 – $W27k1-R$ (red, 1-st order); 8 – $W55k4-B$ (blue, 4-th order); 9 – $W27k2-B$ (blue, 2-nd order); 10 – $W55k3-R$ (red, 3-rd order).

However, for pitch $W = 55 \mu\text{m}$, the light intensity is redistributed in the spectrum from the red spectral zone to the blue one. This shift is near 0.2 deg . (Fig. 8b, red peak $W55k2-R$ (curve 6) and blue peak $W55k3-B$ (Fig.8b, curve 5)). This is sufficient for the total compensation of the dispersion chromatism alone for the microprism with $PD = 7.0 \Delta$, for which $\Delta(\lambda_1\lambda_2)_R = 0.198 \text{ deg}$.

Thus, for designing achromatic microprism structures, it is necessary to determine the parameters of diffraction grating, when only a single interference maximum of the first order for the red wavelength λ is formed within the main diffraction maximum. With the decrease in wavelength λ , the higher-order maxima should not move into the main diffraction maximum zone. For the small angles α_x , when d and b are almost equal, only a single interference maximum exists for any relief pitch W_x within the main diffraction maximum. Thus, we can expect an achromatizing effect for the considered microprisms.

4. EXPERIMENTAL DATA

Plastic samples of microprisms were manufactured using a thermo-pressing technique with the original metal matrices formed by the diamond cutting method. These specimens were composed of PMMA, with the prismatic strength $PD = 1.0 \Delta$ and relief pitch $W_x = 48 \mu\text{m}$ and $55 \mu\text{m}$, and with $PD = 2.0 \Delta$ and $W_x = 23 \mu\text{m}$ and $27 \mu\text{m}$. The optical quality of all fabricated samples (20 pieces of each nominal) was first investigated using the *MBS-10* microscope, and then the prismatic strength of the best samples was tested using the standard method [12] with the He-Ne laser with the wavelength $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$. Selected samples (1 piece by each nominal) were analyzed using the same He-Ne laser for obtaining the angular distribution of the transmitted white light. Standard microprisms with $PD = 1.0-2.0 \Delta$ and $W = 600 \mu\text{m}$ from the diagnostic set *KK-42* [12] were also tested. The diameter of the laser beam D_L was approximately 2.5 mm , it is almost identical to the diameter $D_R = 2.4 \text{ mm}$ used in the calculations.

Fig. 9a shows the experimentally obtained data for the microprism with $PD = 2.0 \Delta$ and $W = 600 \mu\text{m}$ (red rhombus), and the calculated diffraction curve for this microprism (black thick dotted line). In addition, the calculated interference maxima (black thin dotted lines

(curves 1–10)) and the final interference maxima, k_{18} and k_{19} , in the main diffraction maximum zone for $\varphi_D = 1.12$ deg at $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$ are depicted in Fig. 9a (black solid line).

The calculated interference maxima are shown in Fig. 9b for the microrelief pitches $W = (600+25) \mu\text{m}$ (dotted thin line, blue squares) and for $W = (600-25) \mu\text{m}$ (dotted thin line, brown triangles). The final interference maxima, $k_{19}(+)$ and $k_{18}(-)$, within the main diffraction maximum for $\varphi_D = 1.12$ deg are depicted by blue and brown solid thick lines, respectively. The last two curves are discussed in Section 5. The experimentally obtained data for this microprism are depicted in Fig. 9a and Fig. 9b by the red solid thick lines (red rhombus).

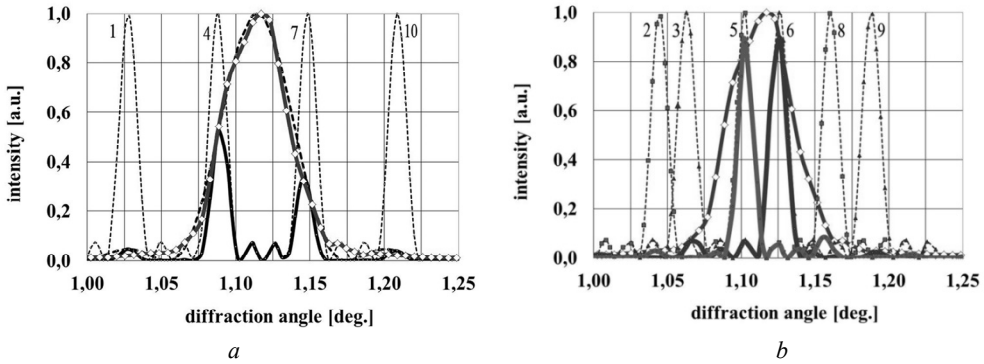


Fig. 9. Real (red) and calculated (blue-brown) intensity distributions for the microprism with $PD = 2.0 \Delta$ and $W = 600 \mu\text{m}$: 1 – $k_{17}(o)$; 2 – $k_{18}(+)$; 3 – $k_{17}(-)$; 4 – $k_{18}(o)$; 5 – $k_{19}(+)$; 6 – $k_{18}(-)$; 7 – $k_{19}(o)$; 8 – $k_{20}(+)$; 9 – $k_{19}(-)$; 10 – $k_{20}(o)$.

The experimentally determined angle φ_D for the main diffraction maximum for all the investigated relief pitches W_X and microprism strengths Δ exactly correspond to the refraction angle θ_R . The angles for the interference maxima depend on W_X and exactly correspond to the angles $\varphi_{ik} = k_i(\lambda/d)$, where $k_i = 0, 1, 2, 3, \dots$, are the interference orders.

Note that the calculated and experimental data match only for the diffraction distribution. The two final interference maxima (solid thick black line), calculated for angles $\varphi_{118} = 1.097$ deg. (Fig. 9a, curve 4, maximum $k_{18}(o)$, 18-th order of the grating) and $\varphi_{119} = 1.157$ deg. (Fig. 9a, curve 7, maximum $k_{19}(o)$, 19-th order) are not observed in the experimental study.

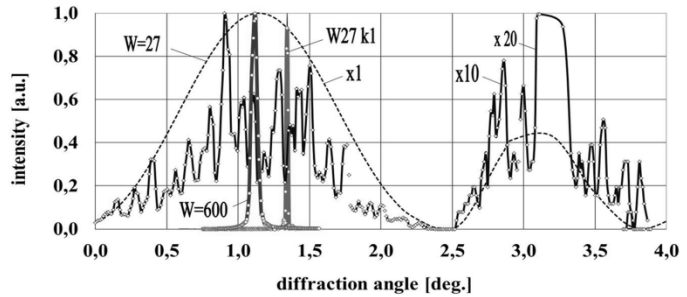
The experimentally obtained intensity distribution for the microprism of the same strength $PD = 2.0 \Delta$ and small pitch $W_X = 27 \mu\text{m}$ is considerably different (Fig. 10, solid black line, rhombus). For comparison, Fig. 10 shows the experimental data obtained for the same microprism with $PD = 2.0 \Delta$ and $W = 600 \mu\text{m}$ (red solid line, circles). Moreover, the theoretical diffraction curve is shown for $W = 27 \mu\text{m}$ (black dotted line) with a single final interference maximum $W27-k_1$ ($W = 27 \mu\text{m}$, $k = 1$) within this curve at an angle $\varphi_{11} = 1.343$ deg. (green solid line).

The calculated and experimental data for $W = 27 \mu\text{m}$ agree by the angles of the concentration zones for the interference maxima. In addition, their angular positions exactly correspond to the theoretical diffraction curve (black solid curve and black dotted curve).

The diffraction maxima angle $\varphi_D = 1.12$ deg., experimentally obtained for a prism with pitches $W = 27 \mu\text{m}$ and $600 \mu\text{m}$, respectively, matched exactly with the calculated value at the refraction angle $\theta_R = 1.12$ deg. These data confirm that the microprism refraction angle

α_X does not vary and has the same value for both microprisms. The measured half-widths of the diffraction contours differed for the above relief pitches by almost 20 times, i.e., they changed in proportion with the relief pitch W . This is consistent with the theory of diffraction [11]. However, there is no formation of a single interference maximum in the main diffraction maximum zone for angle $\varphi_{11} = 1.343$ deg. (Fig. 10, green), as the theory predicts.

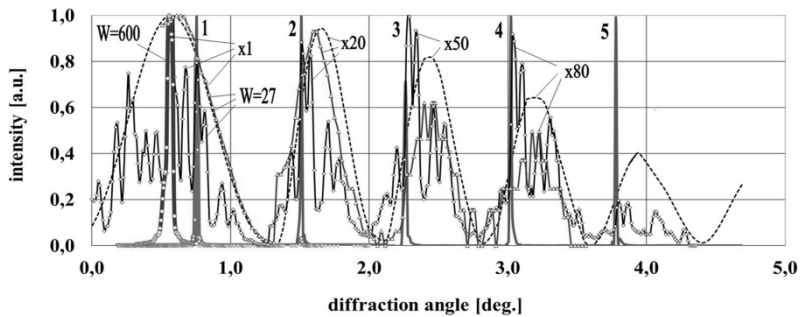
Fig. 10. Experimental intensities for the microprism with $PD = 2.0 \Delta$ and $W_X = 27 \mu\text{m}$



A similar distribution was observed in the experimental investigation of the microprism with $PD = 1.0 \Delta$ and $W = 48 \mu\text{m}$. These data are depicted in Fig. 11 (black solid line, rhombus) along with the calculated diffraction curve for $W_X = 48 \mu\text{m}$ (black dotted line) and the calculated interference maxima $W48 (k_1 - k_5)$ (blue solid lines) with the final interference maxima $W48 k_1$ and $W48 k_2$ within this diffraction curve at angles $\varphi_{11} = 0.739$ deg. and $\varphi_{12} = 1.478$ deg. (green solid line). All the angles of the diffraction maxima from the first to the fifth order were correlated with the location of the concentration zones of the observed intensity maxima. However, several blurred systems of maxima were observed instead of the five interference profiles $W48 k_1 - W48 k_5$.

For analyzing these data, the diffraction profile was also obtained for an isolated single spectral slit $UF-2$ from a standard monochromator [12] with the same width $S_D = 48 \mu\text{m}$ using He-Ne laser with $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$. This light distribution is shown in Fig. 11 (thin red lines, triangles). The experimentally obtained diffraction profile for the single slit (red thin solid line) fits the calculated diffraction curve (black dotted line) and exactly corresponds to the concentration zones of the observed intensity maxima (black solid line). As the experimental errors in the measurement of the intensity values were considerably smaller than the fluctuations in the intensity maxima, we can consider the obtained system of maxima as the interference one.

Fig. 11. Diffraction intensity for the microprism with $PD = 1.0 \Delta$ and $W_X = 48 \mu\text{m}$:
 1 - interference maxima $W48-k_1$;
 2 - k_2 ; 3 - k_3 ;
 4 - k_4 ; 5 - k_5



The experimental data indicate the coincidence of the refraction angle θ_R with the angle φ_D of the main diffraction maximum. The experimentally obtained intensity profile for the same strength prism $PD = 1.0 \Delta$ and pitch $W = 600 \mu\text{m}$ is displayed in Fig. 11 (thick red

line, circles). For pitches $W = 48$ and $600 \mu\text{m}$, the angles of refraction θ_R are the same and coincide with diffraction angle $\varphi_{D1} = 0.569$ deg. because the method for determining the necessary tilt angle of the diamond cutter tool at the cutting station ensures the invariability of the cutter tilt angle. Therefore, we assume that the microprism refractive angle α_X does not change during microrelief formation. However, the achromatizing effect was not determined for all the investigated microprisms.

5. RESULTS AND DISCUSSION

The main purpose of our research was to obtain the optimal characteristics of novel refractive-diffractive achromatizing devices, and examine the reasons the achromatizing effect was not observed for microprisms manufactured based on the calculated parameters, with optimal relief pitch W_X and refraction angle α_X .

Therefore, the surfaces of the manufactured microprisms were investigated using an *MBS-10* microscope. Fig. 12a shows the image of the surface of the microprism with $PD = 1.0 \Delta$, $W_X = 55 \mu\text{m}$, and the nominal relief depth $h = 1.1 \mu\text{m}$, with the magnification of $98\times$. Surface defects show the different microrelief depths h . Some relief grooves were not formed, while the others were considerably deeper than the adjacent ones. Fluctuations in the relief depth h along each groove were also observed. The relief profile of the same microprism is shown in Fig. 12b, with the same magnification of $98\times$. The relief profile included significant oscillations in relief depth and irregular defects on the optical surface.

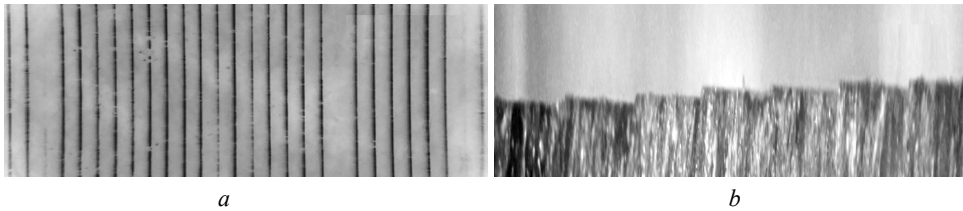


Fig. 12. Microrelief for the microprism with $PD = 1.0 \Delta$, $W_X = 55.0 \mu\text{m}$, $h = 1.1 \mu\text{m}$:
a – microrelief surface; *b* – relief profile with the defects

To interpret the experimental results, a simple model was developed. The grating was considered as a set of triangles with the same tilt angle α but with different relief heights h . The schematic of this structure is depicted in Fig. 13, where W is the nominal relief pitch, D is the variable relief pitch, and α is the refractive angle. All the other variables are the same as in Fig. 2.

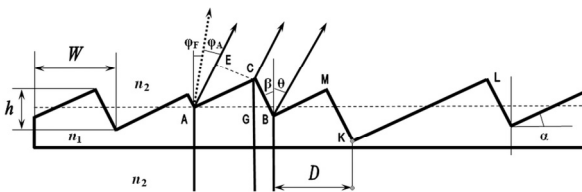


Fig. 13. Scheme of the microprism surface with variable relief depth

In the amplitude grating model, refraction angle θ_R corresponds to diffraction angle $\varphi_D = 0$; hence, this angle is the same for all the facets of the grating. However, the variation in the relief depth h causes changes in the effective relief pitch D .

The angle α of the microprism corresponds to the sharpening angle of the cutting facet of the diamond cutter tool, which is assumed to remain unchanged during microrelief formation. Therefore, fluctuations in the refraction angle $\theta_R = \sin^{-1}[\sin \alpha (n_1/n_2)]$ are absent. For the

The horizontal positioning of the cutting tool was performed with an accuracy $\delta W = \pm 0.5 \mu\text{m}$ [12]. For pitch $W = 48 \mu\text{m}$, the pitch formation error $(\delta W) / W$ does not exceed 2.0%, whereas for $W = 27 \mu\text{m}$, this error does not exceed 7–8 %.

For the nominal value $h_0 = 1.1 \mu\text{m}$, the vertical positioning of the cutting tool during microrelief formation with the same accuracy $\delta h = \pm 0.5 \mu\text{m}$ causes variations in the relief depth from $h_{\min} = 0.6 \mu\text{m}$ to $h_{\max} = 1.6 \mu\text{m}$. In turn, due to the presence of the reverse angle β at approximately 3 deg, the difference in the relief depth h_i influences the effective grating period $D_i = h_i / \cos \alpha$. The analysis of the images indicates that the grating period varies from $D_{\min} = 0.5 W$ to $D_{\max} = 2.0 W$. Note that no larger changes in period $D_i \approx (3 - 4) W$ were observed.

We assume that the light beams for groove groups with the same effective period D_i interfere with each other to form the corresponding intensity maxima. The widths of the diffraction maxima, corresponding to certain effective grating periods D_i , also depend upon the value of D_i and are different for different grooves.

For example, for microprism $PD = 1.0 \Delta$ with $W_X = 48 \mu\text{m}$ (Fig. 11), interference maxima are observed from the first to the fifth order, corresponding to the nominal relief pitch $W_X = 48 \mu\text{m}$ (Fig. 13, zone *AG*). Besides, an additional maximum is observed for the first-order diffraction at $\varphi_{11} = 0.38$ deg, which corresponds to $W_{\max} \approx 1.8 W = 92 \mu\text{m}$ (Fig. 13, zone *KL*). Maxima are also observed for $W_i = 38, 44, 54, 65, 77, 93, 137,$ and $198 \mu\text{m}$ at interference angles $\varphi_{1i} = 0.18 - 0.95$ deg. We assume that averaging over all these groove groups with different periods D_i provides the intensity distribution of the experimentally observed maxima, as depicted in Figs. 10 and 11.

Even small fluctuations δh in the relief depth h can significantly alter the structure of the diffraction pattern. For example, for the microprism with $PD = 2.0 \Delta$ and $W = 600 \mu\text{m}$ illustrated in Fig. 9a,9b, the change in the microrelief pitch to $W = (600 \pm 2) \mu\text{m}$ does not noticeably shift the interference maxima. The calculated interference curves almost coincide with those shown in Fig. 9a,9b (red solid thick lines).

However, the change in the relief depth $(h + \delta h)$ by the small value $\delta h = \pm 0.5 \mu\text{m}$ leads to the oscillation of the relief pitch $\delta W = \pm 25 \mu\text{m}$. In turn, a noticeable shift to the calculated interference maxima occurs. For the microprism with $PD = 2.0 \Delta$, within the main diffraction contour located at the constant angle $\varphi_D = \theta_R = 1.12$ deg, the maximum $W600 k18 (+)$ is formed at an angle $\varphi_{118} = 1.097^\circ$ (18-th order diffraction for pitch $W = 625 \mu\text{m}$ (Fig. 9b, blue squares)). Similarly, maximum $W600 k19 (-)$ at an angle $\varphi_{119} = 1.157^\circ$ (19-th order) for pitch $W = 575 \mu\text{m}$ is formed (Fig. 9b, brown triangles). For the other values of δW , the angular positions of these two interference maxima within the main diffraction contour will differ; hence, averaging these two maxima for different groups of grooves can provide the final distribution of the final interference intensities, which coincide with the diffraction contour. Such a distribution for the microprism with $PD = 2.0 \Delta$ and $W = 600 \mu\text{m}$ was observed experimentally (Fig. 9a, 9b, red solid thick lines).

Thus, the microrelief defects can reduce the achromatizing action for a small-sized diffraction grating. Defects on the microprism surface occur not only because of the fluctuations of pitch W and relief depth h , but also because of the vibration of the cutting tool, moving along the relief grooves during the cutting process. Hence, considerable attention should be paid to improving the accuracy of microprism manufacturing. To form highly-effective achromatic microprism structures, we need to ensure that the accuracy of the vertical positioning of the diamond cutter during microrelief formation is higher than $0.1 \mu\text{m}$. Otherwise, we need to form the microrelief using other methods, such as photolithography or direct laser recording.

Note that the achromatizing action of the microprism is based on the existence of chromatic aberration in the refractive prism. It is necessary to compensate for this already existing "dispersion" positive chromatism. When using the diffraction grating alone without the refraction prism, the same "diffraction" chromatism will appear. The only difference is that chromatism will exist in the opposite direction: the blue color of the visual image is placed from the side of the microprism relief vertices, and the red one – from the side of its deepenings. Therefore, to design achromatic microprism structures for ophthalmology, double microprisms must be used: a refraction microprism for the necessary deflection of the light rays, and a diffraction one for the precise compensation of the chromatism. Hence, achromatizing microprisms must be used in conjunction with traditional refractive microprisms.

The functioning of achromatizing microprism devices is based on the principle of interference of coherent light beams of different wavelengths. As white light is not coherent, it is necessary to take certain measures to obtain coherent light flows. The main method for producing coherent white-light rays, proposed firstly by Thomas Young and described by Born and Wolf in the classical monograph [11], involves the highlighting of the object by a white light beam, which will thereafter be the only source of light for diffraction grating. For example, in diffraction spectrographs, this principle is realized by illuminating the entrance spectral slit by a lens condenser unit from a particular source (for example, a filament lamp), while the other light sources have considerably lower intensity.

This principle of illumination can be implemented to microprisms used in strabismus diagnostics. Thus, when using such compensators for determining the visual acuity with test ophthalmic charts, the optotypes should be illuminated by the coherent radiation alone, without other sources. In another case, the optotypes should be illuminated by a bright incoherent source, while the other sources have considerably lower intensity.

5. CONCLUSIONS

Our research theoretically demonstrated the possibility of reducing chromatic aberrations in Fresnel microprisms by forming a double diffraction-refraction microprism structure. In these refractive-diffractive structures, the first refractive microrelief is used for deflecting the light beam, whereas the second diffractive one is used for compensating the chromatism of the first microprism. The dispersion chromatism of the first refractive prism and the diffraction chromatism of the second, which is a low-pitch diffraction grating, are oppositely directed. Thereby, dispersion chromatism can be completely compensated by diffraction grating.

The diffraction-refractive characteristics of these achromatic microprisms were calculated, enabling the determination of the optimal relief pitch for a certain prismatic strength of the traditional refractive Fresnel microprisms. The conditions for forming highly-effective double-relief achromatic microprism structures were presented. The main advantage of such optical devices, compared to known monoprismatic achromatizing structures, is the possibility of fabricating practically flat and very thin double-relief microrelief devices.

According to the calculated parameters, achromatizing microprisms were manufactured in the Institute for Information Recording (IIR, Ukraine) and experimentally investigated. The refraction angles of all the manufactured microprisms were maintained with sufficient accuracy. However, the achromatizing properties of the proposed diffraction-refraction microprism devices were not identified due to the defects in relief, particularly, the presence of relief height variations along the relief grooves. The peculiarities of such refractive-diffractive structures and the characteristics of the manufactured microprisms were examined in detail to obtain the appropriate conditions for the design of effective achromatic optical devices.

The practical implementation of the proposed design is currently constrained by the precision of microprism element manufacturing, which needs to be improved. Otherwise, it is necessary to form the microrelief using other methods, such as photolithography or direct laser recording. The obtained data confirmed the possibility of the manufacturing highly effective achromatic microprisms.

Acknowledgments. This work was supported by the special funding of 'the Belt and Road' International Cooperation of Zhejiang Province [grant number 2015C04005]. We thank the Zhejiang Fuchunjiang Communication Group Co., Ltd (Fuyang District, Hangzhou City, China) for the use of their equipment.

REFERENCES

1. Katz M. Visual acuity through Fresnel, refractive and hybrid diffractive/refractive prisms. *Optometry-Journal of the American Optometric Association* 2004;75(8):503-508. [https://doi.org/10.1016/s1529-1839\(04\)70175-x](https://doi.org/10.1016/s1529-1839(04)70175-x).
2. Peli E, Bowers AR, Keeney K, Jung JH. High-power prismatic devices for oblique peripheral prisms. *Optometry and Vision Science: official publication of the American Academy of Optometry* 2016;93(5):521-533. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000000820>.
3. Wilcox DT, Chronister CL, Savage MR. Methods for prism placement for hemianopia visual field loss in adults with low vision. *Journal of Visual Impairment and Blindness* 2016;110:276-279. <https://doi.org/10.1177/0145482x1611000408>.
4. Peli E, Jung JH. Multiplexing prisms for field expansion. *Optometry and Vision Science* 2017; 94(8):817-829. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000001102>.
5. Wright D, Firth AY, Buckley D. Comparison of the visual effects of Fresnel prisms in normal and amblyopic eyes. *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology & Strabismus* 2008;12(5):482-486. <https://doi.org/10.1016/j.jaapos.2008.03.015>.
6. Griffiths HJ, Cotton SH. A comparison of the effect of 3M Fresnel prisms and Trusetal prism foil on visual function. *British and Irish Orthoptic Journal* 2010;7:45-48. <https://doi.org/10.22599/bioj.25>.
7. Schwarz C, Canovas C, Manzanera S, Weeber H, Prieto PM, Piers P, Artal P. Binocular visual acuity for the correction of spherical aberration in polychromatic and monochromatic light. *Journal of Vision* 2014;14(2):8-8. <https://doi.org/10.1167/14.2.8>.
8. Shshavan AA, Nordin L, Tjossem P, Abramoff MD, Toor F. PMMA-based ophthalmic contact lens for vision correction of strabismus. *Metamaterials, Metadevices, and Metasystems. International Society for Optics and Photonics* 2016. <https://doi.org/10.1117/12.2237994>.
9. Fu ML, Hu WJ, Le ZC, Manko DY, Antonov EE, Kryuchyn AA, Petrov VV. Design and fabrication of rigid Fresnel prisms for complex treatment of strabismus in children. *Guangzi Xuebao/Acta Photonica Sin* 2017;46(11):18-25. <https://doi.org/10.3788/gzxb20174611.1123003>.
10. Petrov VV, Antonov EE, Fu ML, Hu WJ, Kryuchyn AA, Manko DY, Le ZC, Shanoilo SS. Investigation of optical characteristics of rigid protected and traditional elastic Fresnel microprisms using electronic method for measuring visual acuity. *Optics & Laser Technology* 2018;107:15–23. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2018.05.011>.
11. Wolf E, Born M. *Principle of Optics*. Cambridge University Press; 1999.
12. Antonov EE, Kryuchyn AA, Fu ML. *Microprisms: Optical Parameters and Monitoring*. Kyiv: Akadempriodyka; 2015.
13. Sun WS, Tien CL, Chu PY, Hung ZY. Optimization design of a stereo-photographic system based on achromatic double-prism arrays. *Applied Optics* 2018; 57(27):8034. <https://doi.org/10.1364/AO.57.008034>.
14. Pan JW, Li JS, Wang CM. Global solution of achromatic total internal reflection prism in projection system. *Optics Communications* 2018; 428:144-151. <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2018.07.057>.
15. Pandya R. Thinner, lighter and lower aberration prisms for ophthalmic applications. US Patent, US6934084B2, 2005.
16. Katyl RH. Compensating optical systems. *Applied Optics* 1972;11:1241-1250.
17. Stone T, Gerge N. Hybrid diffractive-refractive lenses and achromats. *Applied Optics* 1988; 27:2960-2971. <https://doi.org/10.1364/AO.27.002960>.
18. Arbabi E, Arbabi A, Kamali SM, Horie Y, Faraon A. Controlling the sign of chromatic dispersion in diffractive optics with dielectric metasurfaces. *Optica* 2017;4(6):625-632. <https://doi.org/10.1364/OPTICA.4.000625>.
19. Sultanova N, Kasarova S, Nikolov I. Dispersion properties of optical polymers. *Acta Physica Polonica* 2009;116(4):585-587. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.116.585>.
20. Palmer CA, Loewen EG. *Diffraction grating handbook*. New York: Newport Corporation; 2005.

Розділ 7

МІКРОПРИЗМОВА ДІАГНОСТИКА ТА ЛІКУВАННЯ КОСООКОСТІ ДІТЕЙ

Подальшим розвитком робіт з мікропризмових нанотехнологій є розробка та виготовлення оптичних компенсаторів косоокості з мікропризмовою структурою Френеля. В. В. Петровим разом з відомим офтальмологом М. М. Сергієнком було висунуто ідею використання мікропризмових рельєфних структур для діагностики та лікування косоокості. Першочерговим завданням стало створення високоточного діагностичного обладнання, практично відсутнього в Україні, в якому офтальмологи відчували гостру потребу. Спільно з Київським центром мікрохірургії ока розроблено технічні вимоги на діагностичний набір компенсаторів косоокості мікропризмових і технічні вимоги до конструкції окремого компенсатора, на основі якого і виконано розробку діагностичного набору.

Для реалізації цієї ідеї було проведено дослідження з технології створення мікропризмових структур, розроблено спеціальне технологічне обладнання, розроблено діагностичний набір мікропризмових компенсаторів косоокості КК-42, що складається із 42-х окремих компенсаторів для діапазону 0,5–30,0 призмових діоптрій, який знайшов застосування.

Точність виготовлення призм Френеля дуже висока, відхилення значення призматичної дії компенсатора від номіналу не перевищує 0,05–0,1 призматичної діоптрії. Конструктивно компенсатор виконаний таким чином, що мікрорельєф знаходиться всередині компенсатора, не контактує із зовнішнім середовищем і не піддається зовнішньому забрудненню. Герметичність конструкції компенсатора дозволяє в процесі експлуатації проводити багаторазову санітарну обробку, дезінфекцію та чищення стандартними засобами без пошкоджень і забруднення мікрорельєфної структури.

Набір забезпечує діагностування косоокості з високою точністю та достовірністю, він пройшов усі види клінічних і медико-біологічних

випробувань. Розробка захищена патентом, зареєстрована в Україні та отримала дозвіл на використання в медичній практиці. Такі компенсатори використовуються для діагностики та лікування косоокості зору у дітей і дорослих. Сьогодні налагоджено випуск дослідних зразків компенсаторів і діагностичних наборів у необхідній для офтальмологічної галузі кількості. Подальшим розвитком мікропризмового діагностичного офтальмологічного обладнання є створення та виготовлення набору діагностичних лінійок, у тому числі, з використанням симетричних мікропризмових елементів, які дозволяють проводити надійну діагностику вертикальної і горизонтальної косоокості зору для малих дітей, а також експрес-діагностику хворих на косоокість. Розробка є оригінальною і захищена патентами України.

Важливе значення для лікування косоокості у дітей є створення та виготовлення комбінованих призмо-сферо-циліндричних лінз, які поєднують у собі характеристики призматичних і рефракційних (сферичних і асферичних) лінз, і лікувальних окулярів з такими лінзами. Конструктивно такі лінзи являють собою стандартну рефракційну лінзу з полікарбонату, до внутрішньої поверхні якої методом ультразвукового зварювання приварюється рельєфом всередину мікропризма Френеля необхідної призматичної дії. У комбінованій лінзі призматичний мікрорельєф також захищений від впливу зовнішнього середовища, не пошкоджується і не забруднюється, що не призводить до зниження гостроти зору у дитини.

Розроблено відповідні технологічні процеси та обладнання, запропоновано методи оптимізації і контролю оптичних параметрів виробів, налагоджено випуск за рецептами лікарів-офтальмологів лікувальних окулярів у широкому діапазоні зміни рефракційної сили та призматичної дії. Такими окулярами за рецептами від 45-ти лікарів українських і зарубіжних клінік уже проліковано декілька тисяч хворих дітей. Усі запропоновані розробки мікропризмових елементів для офтальмологічних застосувань захищено вітчизняними патентами, зареєстровано у системі МОЗ України та рекомендовано до широкого застосування в медичній практиці.

Розробка мікропризмових технологій діагностики та лікування косоокості у дітей від самого початку знайшла широку підтримку наукової і медичної громадськості. На спільному засіданні Президії НАН України, НАМН України та Колегії МОЗ України 23.06.2010 р. розробка дістала високу оцінку і була внесена до переліку найважливіших завершених розробок зі створення приладів медичного призначення, які потребують першочергового впровадження. І в подальшому Президія НАМН України на засіданнях 10.02.2012 р. і 29.01.2015 р. відзначала надзвичайну ефективність застосування мікропризмових технологій при діагностиці та лікуванні косоокості, необхідність державної підтримки для більш широкого їхнього впровадження в медичну практику. Ефективність застосування мікропризмових технологій відзначено і в аналітичній довідці головного офтальмолога МОЗ України, де зазначено, що завдяки застосуванню мікропризм вдалося обмежити кількість хірургічних операцій з виправлення косоокості, обмежити хірургічне лікування одноразовим

втручанням, тоді як раніш воно проводилось у 2–3 етапи. Завдяки високій якості призм вдалося досягнути відновлення 100 % бінокулярного зору – це унікальний показник у світовій практиці. Розробки мікропризмових технологій для офтальмології неодноразово визнавалися однією з кращих розробок НАН України. У 2013 році робота «Наукова розробка сучасних компенсаторних механізмів оптичної корекції захворювань органу зору, розробка новітньої технології та організація серійного виробництва оптичних елементів з мікропризмовою структурою для їх застосування в офтальмологічній практиці» за поданням МОЗ України була удостоєна Премії Кабінету Міністрів України за розроблення і впровадження інноваційних технологій. Президія НАМН України та провідні вчені-офтальмологи оцінили розробку мікропризмових технологій як блискучий зразок наукового співробітництва структурних підрозділів різних відомств, а також наукової роботи, результати якої були успішно впроваджені в практику та продемонстрували свою ефективність.

Розроблені пристрої захищено патентами України. Отримано сертифікати оцінки відповідності на медичні вироби.

Пристрій для діагностики косоокості

В. В. Петров, М. М. Сергієнко, С. О. Риков, С. М. Шанойло,
М. В. Шевколенко, А. А. Крючин, Є. Є. Антонов

Патент України на корисну модель № 25549. Бюлетень № 12 від 10.08.2007.

Ф ор му ла ко р и с но ї мо де л і:

Пристрій для діагностики косоокості, який складається з пробної окулярної оправы та набору пробних оптичних компенсаторів косоокості в вигляді призм Френеля, який відрізняється тим, що пробні оптичні компенсатори косоокості виготовляються в вигляді окремих оптичних елементів з необхідним мікрорельєфом, які герметично закріплюються в утворюючій оправі таким чином, що мікрорельєф залишається всередині компенсатора і не контактує безпосередньо з зовнішнім середовищем.

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

Корисна модель відноситься до медицини, зокрема, до офтальмології, і може використовуватися для діагностики косоокості.

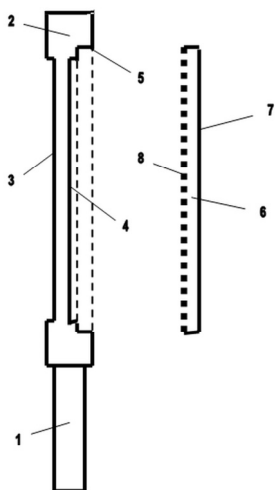
Відомий пристрій для вимірювання кута косоокості, що складається з пробної окулярної оправы та набору пробних оптичних компенсаторів косоокості, які виготовлено в вигляді призм Френеля з оптичною силою в дискретному діапазоні від 0,5 до 30 призмових діоптрій (М. М. Сергієнко, В. В. Петров, С. О. Риков, С. М. Шанойло, М. В. Шевколенко, А. А. Крючин. Патент України на корисну модель № 18152).

Недоліком відомого пристрою є те, що мікропризмовий рельєф, який нанесений на утворюючу пластину кожного з оптичних компенсаторів, безпосередньо контактує з навколишнім середовищем і не захищений від забруднень, внаслідок чого під час експлуатації внаслідок забруднень різко погіршується прозорість елементів і точність вимірювань кута косоокості із-за розсіювання променя світла.

Задачею винаходу є створення пристрою для діагностики косоокості, в якому оптичні компенсатори косоокості завдяки використанню спеціальної захисної пластини зберігають свої оптичні властивості в процесі експлуатації.

Поставлена задача вирішується таким чином, що в пристрої для вимірювання кута косоокості, пробні оптичні компенсатори косоокості виготовляються в вигляді окремих оптичних елементів з необхідним мікрорельєфом, які герметично закріплюються в відповідній утворюючій оправі таким чином, що мікрорельєф залишається всередині компенсатора і не контактує безпосередньо з зовнішнім середовищем.

Пристрій для вимірювання кута косоокості згідно з цим винаходом включає в себе набір пробних оптичних компенсаторів, кожен з яких складається з утворюючої оправы та мікропризмового елемента. Один з варіантів конструкції винаходу зображений на фіг. 1. Утворююча оправа круглої форми має ручку-утримувач (1), кільцева зовнішня зона (2) оправы має товщину 3,0 мм та зовнішній діаметр 37,5 мм, який відповідає діаметру лінзоутримувача пробної окулярної оправы. Центральна кругова зона утворюючої оправы створюється двома плоскими прозорими поверхнями. Зовнішня поверхня центральної зони (3) співпадає з поверхнею кільцевої зони (2) утворюючої оправы, внутрішня поверхня (4) центральної зони заглиблена відносно другої поверхні зовнішньої кільцевої зони на 2 мм. Товщина центральної зони дорів-



Фиг.1.

нює 1,0 мм, діаметр центральної зони складає 28,0 мм, зона має кругову фаску (5), що визначається технологічними вимогами. Маркування, що визначає напрямок та величину призматичної дії в призмових діоптріях нанесено на ручку-утримавач (1) в вигляді трикутника з відповідною цифрою.

Мікропризмний елемент (6) круглої форми виготовляється з оптичного скла або спеціальної пластмаси, прозорої для видимого спектрального діапазону. Одна сторона елемента (7) плоска, а друга має мікропризмний рельєф (8) відповідного профілю, який забезпечує необхідну оптичну силу компенсатора косоокості. Товщина елемента (6) дорівнює 1,6 мм. Елемент герметично скріплюється з зазначеною утворюючою оправою по поверхні фаски рельєфом всередину таким чином, що зазор між внутрішньою поверхнею оправи та вершинами мікропризм рельєфу складає 0,4 мм. Діапазон зміни призматичної дії оптичних компенсаторів складає від 0,5

до 30,0 призмових діоптрій з дискретним шагом 1,0 призмову діоптрію в діапазоні 1,0–10,0 діоптрій та з шагом 2,0 діоптрії в діапазоні 10,0–30,0 призмових діоптрій.

Приклад. Пристрій для діагностики косоокості може створюватись з пробної окулярної оправи та набору оптичних компенсаторів косоокості з призматичною дією в діапазоні від 0,5 до 30,0 призмових діоптрій, кожен з яких складається з утворюючої оправи та елемента з мікрорельєфом, виготовленого з прозорого полікарбонату шляхом нанесення на плоску пластину товщиною 1,6 мм серії заглиблень трикутного профілю з шагом 400 мкм та відповідною глибиною (3,4–183,3) мкм для кожного значення призматичної дії в зазначеному дискретному діапазоні.

Прилад використовують шляхом підбору компенсаторів косоокості в пробній оптичній оправі та перевірки установчих рухів на обидва очі пацієнта до моменту зникнення таких рухів.

Технология изготовления и методика применения в офтальмологии микропризменных элементов Френеля

В. В. Петров, Н. М. Сергиенко, С. А. Рыков, Е. Е. Антонов,
С. М. Шанойло, М. В. Шевколенко

Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2008. Т. 10, № 3. С. 5–17.

Проведен анализ оптических характеристик микропризменных элементов Френеля. Исследованы особенности технологии изготовления и методики применения таких элементов в офтальмологии. Предложены методы контроля качества оптических поверхностей на основе анализа дифракционных эффектов. Разработаны методики измерения величины содружественного косоглазия модифицированными призмами Френеля.

Выбор метода лечения косоглазия, характер и дозирование хирургического вмешательства с целью его исправления, а также оценка результатов эффективности как консервативного, так и хирургического лечения разных видов косоглазия, в большей мере зависит от точности измерения величины угла косоглазия. Популярными методами измерения угла косоглазия – страбометрии – являются методы с использованием призм, однако они требуют наличия наборов призм или призменных приспособлений с достаточным диапазоном измерений.

Стеклянные призмы или микропризмы на гибких прозрачных пленках [1] по разным причинам не очень удобны для такой диагностики, поэтому был разработан диагностический набор оптических компенсаторов косоглазия КК-42 для измерения угла косоглазия на основе модифицированных призм Френеля [2, 3]. Целью разработки являлось повышение точности измерения угла содружественного косоглазия и обеспечение удобства диагностики.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ МИКРОПРИЗМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ФРЕНЕЛЯ

Будем называть микропризменным элементом Френеля, как это принято в офтальмологии, прозрачную жесткую или гибкую пластину со специальным микрорельефом, который позволяет поворачивать проходящий луч света на заданный угол. Такое оптическое устройство обладает рядом существенных преимуществ перед традиционными стеклянными призмами и поэтому все более широко применяется в современной офтальмологии для изменения направления луча зрения при проведении диагностики и лечении косоглазия.

Рассмотрим типичный микропризменный элемент с рельефом в виде серии одномерных углублений треугольного профиля, сформированным на одной из поверхностей плоской прозрачной пластины (рис. 1).

Такой рельеф можно полностью задать величиной преломляющего угла микропризмы α , обратным углом β , который определяется технологическими требованиями, и шагом рельефа W_0 . Глубина рельефа L_0 зависит от этих трех величин, однако она пред-

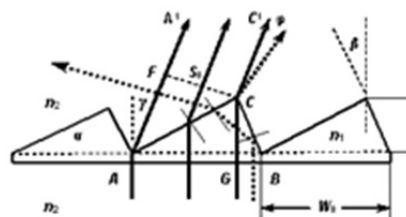


Рис. 1. Схема микропризменного элемента Френеля

ставляет и самостоятельный интерес, например, с точки зрения выбора необходимой толщины образующей пластины. Величины n_1 и n_2 , указанные на рис. 1, есть показатели преломления материала пластинки с микрорельефом и среды, в которую она помещена, соответственно.

Оптическую силу микропризменных элементов Δ по аналогии с обычными стеклянными призмами измеряют в призмных диоптриях (PD) [1]. Из определения призмной диоптрии следует, что величина Δ однозначно связана с углом отклонения луча γ независимо от материала призмы, при этом $\text{tg}\gamma = \Delta(\text{см})/100$. Соотношение же между углом отклонения микропризмной структуры γ и преломляющим углом α можно установить с использованием закона Снеллиуса [4], который для случая нахождения элемента в воздухе ($n_2 = 1,0$) удобно преобразовать к следующему виду:

$$\text{tg}\alpha = \sin\gamma / (n_1 - \cos\gamma). \quad (1)$$

Согласно (1), для микропризмы, изготовленной из поликарбоната ($n_1 = 1,585$) и находящейся в воздушной среде, значения оптической силы $\Delta = 1-50 PD$, важные для офтальмологов, соответствуют углам преломления $\alpha_0 = 0^\circ 29' 23'' - 32^\circ 55' 37''$. Для полиметилметакрилата ($n_1 = 1,492$) этот диапазон углов преломления микропризм α_0 составляет $0^\circ 34' 56'' - 36^\circ 48' 38''$.

Теоретические основы и методы изготовления микропризмных световозвращателей и элементов Френеля практически одинаковые. Разница состоит лишь в том, что в первом случае главной целью является достижение максимально возможного коэффициента световозвращения $R(\varphi_0)$, а в другом необходимо обеспечить смещение луча света на строго определенный угол γ с максимально качественным изображением при минимальных потерях светового потока.

Величину потерь излучения можно оценить следующим образом. Поток света, который проходит через зону микропризмы BG (рис. 1), испытывает полное внутреннее отражение от боковой грани BC и рассеивается внутри призмы. Соответствующий коэффициент k_1 потерь за счет экранирования части потока боковой гранью микропризмы (так называемое «виньетирование») можно определить [5] как отношение отраженного потока Φ_1 (зона BG) ко всему падающему на призму потоку Φ_0 (зона AB):

$$k_1 = \Phi_1 / \Phi_0 = (\text{tg}\alpha \text{tg}\beta) / (1 + \text{tg}\alpha \text{tg}\beta). \quad (2)$$

Коэффициент потерь излучения k_2 , связанный с внутренним отражением светового потока AG от преломляющей грани AC микропризмы, в зависимости от угла α , определяется с использованием формул Френеля [6], которые с учетом (1) можно записать таким образом:

$$k_2 = 0,5 \{ \text{tg}^2(\gamma) / \text{tg}^2(2\alpha + \gamma) + \sin^2(\gamma) / \sin^2(2\alpha + \gamma) \}. \quad (3)$$

Наконец, для расчетов дополнительных потерь излучения, связанных с прямым отражением светового потока Φ_0 от внешней поверхности микропризмы AB , применимы приближенные формулы Френеля [6] для нормального падения лучей:

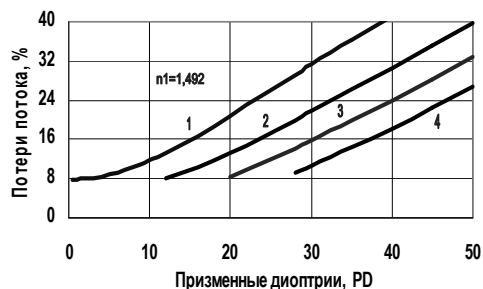
$$k_3 = \{ (n_1 - n_2) / (n_1 + n_2) \}^2. \quad (4)$$

Например, для поликарбоната ($n_1 = 1,585$) в воздухе ($n_2 = 1,0$) коэффициент k_3 для одной отражающей грани составляет 5,12 %; для полиуретана ($n_1 = 1,50$) значение $k_3 = 4,00$ %; для полиметилметакрилата ($n_1 = 1,492$) величина $k_3 = 3,90$ %.

При расчетах суммарных потерь излучения в микропризмах рассчитывался сум-

марный прошедший поток $\Phi_C = \Phi_0(1 - k_1)(1 - k_2)(1 - k_3)$ с учетом всех трех коэффициентов потерь k_1 , k_2 и k_3 . При этом полагалось, что потери света на поглощение излучения внутри материала микропризм незначительны, что полностью оправдано в рассматриваемых условиях. Зависимость от преломляющего угла α величины суммарных потерь светового потока $k_C = (\Phi_0 - \Phi_C)/\Phi_0$ в микропризме приведена на рис. 2 для нескольких значений обратного угла β , которые в случае изготовления матриц-оригиналов методом «алмазного» резания [5], в основном определяются углом заточки режущего инструмента.

Рис. 2. Суммарные потери светового потока в случае изготовления элемента Френеля из полиметилметакрилата ($n_1 = 1,492$): 1 – угол заточки резца $\zeta = 90^\circ$; 2 – $\zeta = 79,1^\circ$; 3 – $\zeta = 69,6^\circ$; 4 – $\zeta = 63,6^\circ$



Из полученных данных следует, что коэффициенты потерь k_2 и k_3 мало меняются при изменении углов α и β . В то же время, величина коэффициента потерь k_1 сильно зависит от значения угла β , причем для $k_1 > 10\text{--}15\%$ наблюдается заметное затемнение оптической картины при рассмотрении внешних объектов через микропризму, что также приводит к снижению регистрируемой остроты зрения пациента из-за недостаточного освещения объекта.

Если же задать предельные потери светового потока k_1 на уровне 5 %, то микрорельеф на подложке необходимо формировать с помощью алмазных резцов с четырьмя значениями углов резания $\theta = 90,0^\circ, 77,14741^\circ, 69,59239^\circ$ и $63,56659^\circ$. Эти данные и приведены на рис. 2. При этом обратный угол микропризмы β оказывается меньше $6,0^\circ$. Полученные значения суммарных потерь необходимо учитывать при проектировании практических микропризматических устройств смещения изображений.

КОНСТРУКЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРИЗМЕННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ КОСОГЛАЗИЯ

Конструктивно микропризматический элемент Френеля состоит из плоской прозрачной жесткой пластинки с микрорельефом и защитного стекла, устанавливаемые в специальный корпус круглой формы с ручкой-держателем, на которой промаркированы направление и величина призматического действия. Плоское защитное стекло из поликарбоната располагается со стороны микрорельефа и служит для защиты от внешних загрязнений и повреждений в процессе эксплуатации. Корпус элемента Френеля по своим габаритам соответствует конструктивным особенностям пробной очковой оправы. Пластика с микрорельефом и защитное стекло плотно соединяются с корпусом при помощи ультразвуковой сварки или термической завальцовки.

Диагностический набор призматических компенсаторов косоглазия КК-42 состоит из 42-х микропризматических элементов (21 на каждый глаз), призматическое действие которых имеет значения от 0,5 до 30 PD. В диапазоне 1,0–10 PD дискретный шаг составляет 1,0 PD, в диапазоне 10–30 PD шаг увеличен до 2,0 PD. Набор КК-42 позволяет измерять угол девиации до 60 PD (по 30 PD на каждый глаз).

Технологический цикл изготовления микропризматических элементов начинается с изготовления матрицы-оригинала. Микрорельеф необходимого профиля создается на заготовке из особо прочного алюминия на специальном станке с помощью алмазного

реза. Типовой шаг микрорельефа W_0 составляет 400 мкм. Режущая грань реза затачивается предварительно под необходимым углом θ . Держатель реза обеспечивает установку реза под заданными углами наклона к предварительно спланированной поверхности заготовки в диапазоне от 45 до 65° в плоскости, перпендикулярной направлению резания микропризменной структуры Френеля. С помощью лазерной системы регулирования необходимый угол наклона реза с выбранным углом заточки режущей грани устанавливается с ошибкой не больше 20 угловых секунд.

Далее в управляющую ЭВМ вводят данные о величине линейного перемещения стола, периоде микропризменной структуры, размере рабочей зоны, глубине подачи реза при одном проходе, количестве проходов реза. После этого компьютер по заданной программе включает приводы перемещения позиционера, стола линейного перемещения заготовки, подачи реза, системы подвода смазочно-охлаждающей жидкости и таким образом осуществляет процесс формирования микрорельефа.

Конечные микропризменные изделия изготавливаются методом термопрессования из плоских заготовок, сделанных из поликарбоната или полиметилметакрилата толщиной 1,5–2,0 мм, с использованием матрицы-оригинала. В процессе термопрессования осуществляется тщательный контроль всех основных параметров (температура заготовки, давление и время прессования, время охлаждения образца, температура и ток нагрева матрицы, скорость протока охлаждающей жидкости).

Технология позволяет, конечно, и формирование микропризменного рельефа на гибкой прозрачной пленке необходимой толщины для установки элемента с микрорельефом непосредственно на обычные лечебные очки. Однако, использование для диагностики косоглазия набора микропризм КК-42 является более удобным, по сравнению с применяемыми ранее гибкими френелевскими призмами [7]. В процессе эксплуатации гибких призм Френеля поверхность с микропризменным рельефом непосредственно контактирует с окружающей средой и не защищена от загрязнений, вследствие чего ухудшается прозрачность элементов и точность измерений угла косоглазия из-за рассеивания луча света. Эластичный материал, из которого изготовлена такая призма, в результате деформации пластины постоянно поддается оптическим аберрациям. Преимуществом диагностического набора КК-42 является полная герметичность микропризменных элементов, так как рельеф располагается внутри оптического компенсатора косоглазия и защищен специальной защитной пластиной из поликарбоната толщиной 0,6 мм [3]. Микропризменный растр не контактирует с окружающей средой, не подвергается загрязнениям и оптическим аберрациям.

КОНТРОЛЬ ОПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОПРИЗМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Основным требованием для элементов Френеля является обеспечение строго заданной величины отклонения луча, высокого светопропускания, создание четкого и контрастного изображения. В частности, значение призматической силы микропризмы должно соответствовать номинальному значению с точностью $\pm 0,05 PD$ в диапазоне 0,5–5,0 PD; $\pm 0,10 PD$ в диапазоне 5–15 PD и $\pm 0,15 PD$ в диапазоне 15–30 PD. При этом суммарный коэффициент пропускания должен быть не меньше 80 %.

Качество готовых изделий контролируется визуально с использованием микроскопов и автоколлимационными методами [1]. Оптическая сила элементов определяется на специальном стенде с помощью гелий-неонового лазера. Принцип работы стенда основан на том факте, что отклонение на экране луча лазера $\Delta = 1$ см на расстоянии до экрана $L_3 = 1$ м соответствует изменению оптической силы микропризменного элемента на одну призматическую диоптрию. До начала измерений с помощью фотодиода,

усилителя и измерительного вольтметра устанавливается нулевое значение измеряемого сигнала в положении, соответствующем нулевому углу отклонения луча. Затем в специальную оправу устанавливается измеряемый образец и по максимуму регистрируемого сигнала определяется величина смещения пятна на экране относительно начального нулевого положения. Величина отклонения луча лазера от нулевого положения однозначно определяет величину призматического действия микропризменной структуры Френеля. Образцы, не соответствующие по величине своей оптической силы установленным допускам, отбраковываются.

Для контроля качества рабочих поверхностей элементов Френеля удобно использовать метод диагностики на основе анализа дифракционной картины, которая возникает при прохождении луча лазера через прозрачную микропризменную структуру. Вследствие наличия рельефа с шагом W_0 и глубиной L_0 равномерно распределенный начальный поток Φ_0 после прохождения через микропризму и поворота на угол γ преобразуется в систему светлых и темных полос, соответствующих зонам пропуска и отражения света (см. рис. 1). Поэтому микропризменная структура Френеля фактически является дифракционной решеткой, работающей в проходящих пучках света. Ширину светлой полосы S_0 по аналогии с дифракционной решеткой будем называть эффективной апертурой микропризмы, а шаг рельефа W_0 , равный сумме светлой и темной полос, является аналогом периода решетки D_0 . Понятно, что в зависимости от угла наблюдения φ возникает дополнительная разность хода лучей AA^1 и CC^1 , и на экране в плоскости CF будет наблюдаться интерференционная картина. Сравнивая реально наблюдаемые зоны расположения интерференционных максимумов и их количество с теоретическими данными, можно сделать определенные выводы о качестве поверхностей микропризм.

Для практического рассмотрения явлений дифракции при прохождении пучка света через микрорельеф можно использовать упрощенную модель, в которой световая волна считается плоской. Как и раньше будем считать, что поглощение потока в материале микропризменного элемента несущественно. Будем также считать, что начальная разность хода интерферируемых лучей $\Delta = (AA^1 - CC^1)$ для угла $\varphi = 0^\circ$ может быть учтена простым поворотом системы координат на угол γ , который легко определить из закона инвариантности излучения Снеллиуса [4]. В новой системе координат направление распространения пучка света вдоль луча γ будет соответствовать углу дифракции $\varphi = 0^\circ$. Тогда, с учетом сделанных упрощений для описания интерференционных явлений, можно использовать известные формулы для плоской дифракционной решетки [6]:

$$I = I_0 (\sin A \sin NB) \cdot (A \sin B)^{-1}, \quad (5)$$

где $A = (\pi S / \lambda) \sin \varphi$; $B = (\pi D / \lambda) \sin \varphi$; I_0 – амплитуда светового потока от одной щели дифракционной решетки в направлении $\varphi = 0$; λ – длина волны рассматриваемого излучения; D – период решетки; S – ширина одной щели; N – число щелей в решетке.

В направлении γ (рис. 1) эффективный период решетки $D_1 = D_0 \cos \gamma = W \cos \gamma$, а ширина светлой зоны (эффективная апертура) S_1 , которая является аналогом величины S в формуле (5), для случая $\beta = 0$ равна:

$$S_1 = D_0 \cos \gamma - L_0 \sin \gamma = D_0 (\cos \gamma - \tan \alpha \sin \gamma). \quad (6)$$

При использовании для диагностики излучения гелий-неонового лазера с длиной волны $\lambda = 632,8$ нм, множители A и B в формуле (5) приобретают такой вид:

$$\begin{aligned} A &= (\pi D_0 (\cos \gamma - \tan \alpha \sin \gamma) / 0,6328) \sin \varphi, \\ B &= (\pi W \cos \gamma / 0,6328) \sin \varphi. \end{aligned} \quad (7)$$

Величина N в нашем случае имеет смысл размера площадки микро рельефа, которая освещается лучом лазера, и ее величина зависит от диаметра D_S луча лазера, используемого для диагностики. При расчетах в большинстве случаев значение $N = 4$, что при типовом значении $D_0 = 400$ мкм соответствует диаметру луча $D_S = 1,6$ мм.

Результаты расчетов согласно (5)–(7) интерференционной картины, которая возникает на экране после прохождения луча лазера через микропризмный рельеф, приведены на рис. 3–6. Для удобства углы дифракции пересчитаны непосредственно в расстояния от положения «нулевого» главного максимума, учитывая, что для шага микро рельефа $D_0 = 400$ мкм и расстояния до экрана $L_3 = 1,0$ м, расстояние 1,0 мм соответствует изменению оптической силы микропризмы на 0,1 PD.

Главной особенностью является то, что в случае дифракции света на микропризмном элементе Френеля ширина светлой зоны S_1 практически совпадает с шагом микро рельефа $D_1 \approx S_1$, поэтому в структуре при экспериментальном наблюдении дифракции должен наблюдаться только один центральный интерференционный максимум (см. рис. 3).

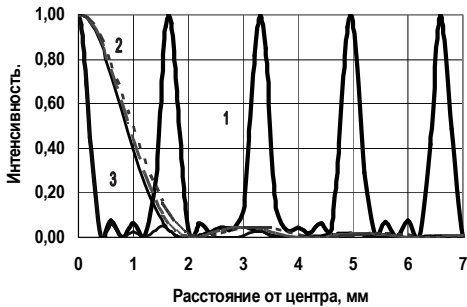


Рис. 3. Дифракционные эффекты для микропризмы $PD = 30$: 1 – интерференционная картина для случая $N = 4$; 2 – дифракционная картина от одной щели для трех значений β (0, 6, 15°); 3 – интегральная дифракционная картина для угла $\beta = 0$

Было установлено, что даже для максимального значения преломляющего угла призмы $\alpha = 28^{\circ}16'38''$ ($PD = 30$) изменение обратного угла β существенно не влияет на характер расположения дифракционных максимумов и их количество (рис. 4). Для меньших значений призматического действия эта зависимость практически отсутствует. Поэтому единственным следствием увеличения обратного угла β является рост потерь светового потока вследствие «виньетирования» и увеличение коэффициента потерь k_1 . При рассмотрении влияния обратного угла призмы β на характер интерференционной картины вычислялись изменения относительных размеров светлой зоны S_1 (отрезок FC на рис. 1) в зависимости от угла β .

Увеличение числа N до 6–8, что для случая $D_0 = 400$ мкм соответствует увеличению диаметра сканирующего луча лазера до 2,4–3,2 мм, приводит к сужению дифракционных пиков и к соответствующему исчезновению интерференционных дополнительных максимумов, вследствие чего интегральная картина оказывается более резкой.

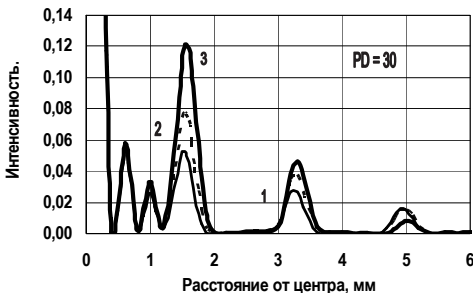


Рис. 4. Влияние обратного угла микропризмы β на характер интерференционной картины для микропризмы $PD = 30$ (число щелей $N = 4$): 1 – $\beta = 0^{\circ}$; 2 – $\beta = 6^{\circ}$; 3 – $\beta = 15^{\circ}$.

Экспериментальные исследования оптических свойств изготовленных микропризменных структур осуществлялись с помощью одномодового гелий-неонового лазера с лучом диаметром $D_S = 4,0$ мм. В частности, на рис. 5 приведены экспериментальные данные по распределению интенсивности на экране для микропризмы с призматическим действием $PD = 6,0$, которая была изготовлена в начале работ без соответствующей коррекции угла заточки резца и в не оптимальных условиях термопрессования. На графике реального спектрального распределения интенсивности (кривая 1), который получен с узкой регистрирующей щелью (ширина щели $S_p = 140$ мкм, т.е. одного порядка с характерным размером спектральных полос на экране), можно четко видеть дополнительные, по сравнению с теоретическими данными, максимумы и минимумы интенсивности, так называемые духи Роуанда [6]. Это свидетельствует о наличии дефектов оптических поверхностей микропризмы. Визуально, при рассмотрении внешних объектов через микропризму, это проявляется в ухудшении качества изображения, уменьшении его четкости и контрастности, что является главной причиной регистрируемого снижения остроты зрения пациента при диагностике косоглазия.

В то же время, картина распределения интегральной интенсивности излучения, полученная с использованием широкой сканирующей щели (кривая 3, величина $S_p = 2800$ мкм, которая существенно превышает характерный размер полос), свидетельствует о соответствии величины призматического действия рассматриваемой микропризмы $PD = 6,0$ техническим требованиям.

На рис. 6 приведены экспериментальные данные для другой микропризменной структуры ($PD = 20,0$), для которой была проведена соответствующая коррекция угла заточки резца и условий термопрессования. Картина распределения интенсивности на экране (кривая 1, узкая регистрирующая щель) практически совпадает с теоретическими расчетами. Четко выделен один центральный максимум ($n = 0$), и наблюдаются еще два небольших боковых максимума ($n = \pm 1$) первого порядка. В случае регистрации интегральной интенсивности (кривая 2, широкая щель) характер ее зависимости от угла наблюдения свидетельствует о соответствии величины призматического действия этой микропризмы техническим требованиям.

Таким образом, сравнение экспериментально полученного распределения

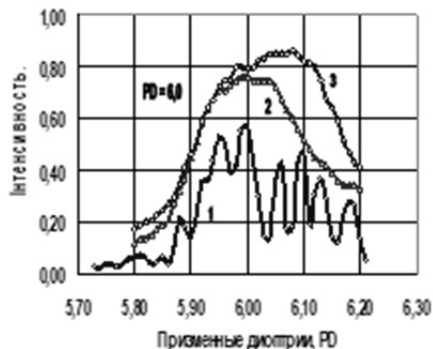


Рис. 5. Экспериментальные данные для микропризмы $PD = 6,0$: 1 — ширина регистрирующей щели $S_p = 130$ мкм; 2 — $S_p = 1500$ мкм; 3 — $S_p = 2800$ мкм

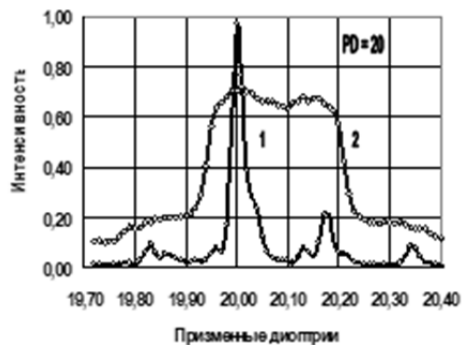


Рис. 6. Экспериментальные данные для микропризмы $PD = 20,0$: 1 — ширина регистрирующей щели $S_p = 140$ мкм; 2 — $S_p = 2800$ мкм

интенсивности лазерного луча после его прохождения через микрорельеф с расчетными данными относительно зон расположения интерференционных максимумов и их количества дает возможность оценить качество оптических поверхностей микрорельефа.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА СОДРУЖЕСТВЕННОГО КОСОГЛАЗИЯ

Для страбометрии в пробную очковую оправу устанавливались призмы Френеля и при необходимости линзы для коррекции аметропии. Призмы устанавливались таким образом, чтобы треугольный индекс маркировки, указывающий направление действия, был противоположным направлению девиации: при эзотропии – направленный темпорально, при экзотропии – назально; в случаях гипертропии – книзу, а при гипотропии – кверху. При комбинированном горизонтальном и вертикальном отклонении косящего глаза измерялся горизонтальный компонент девиации, а после этого, не снимая призмы, компенсирующих горизонтальную девиацию, регистрировался вертикальный компонент путем установки дополнительных призм вертикального действия.

Применяются разные методики измерения угла косоглазия призмами в зависимости от клинических особенностей косоглазия.

I. Одновременный тест с призмами и прикрытием глаза (simultaneous prism cover test) [8]. Алгоритм этого теста представлен на рис. 7.

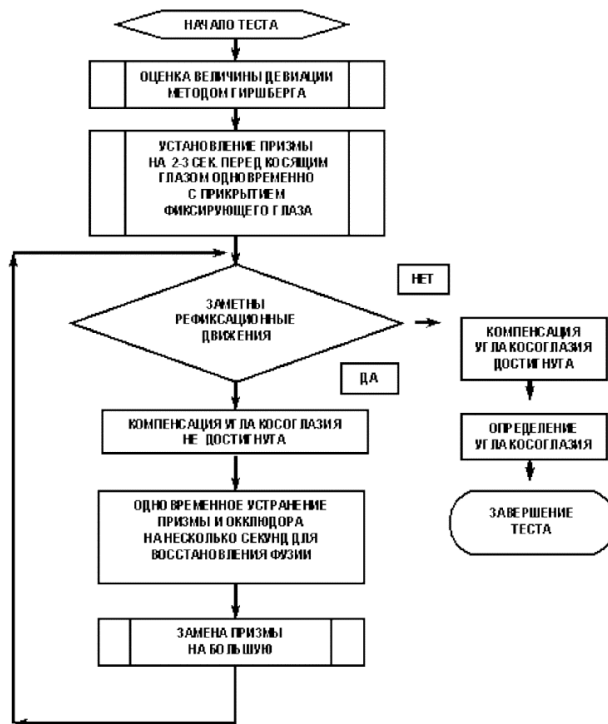


Рис. 7. Алгоритм одновременного теста

Угол косоглазия оценивается методом Гиршберга. Призма, необходимая для нейтрализации девиации, устанавливается на 2–3 секунды перед косящим глазом одновременно с прикрытием окклюдором фиксирующего глаза. Если на косящем глазе наблюдаются рефлексационные движения, это означает, что компенсация угла косоглазия не достигнута. Тогда призма и окклюдор одновременно удаляются на несколько секунд для возобновления бинокулярной фиксации. После замены призмы на более сильную этот процесс повторяется до прекращения установочных движений на косящем глазе при прикрытии фиксирующего глаза. Сила призмы, с помощью которой устраняются рефлексационные движения, определяет величину девиации.

Измеренная таким методом девиация соответствует величине явной девиации (гетеротропии), без учета латентной гетерофории.

II. Альтернирующий тест с призмами и прикрытием глаза (prism alternate cover test) [8]. Алгоритм этого теста представлен на рис. 8.

Альтернирующий тест с призмами и прикрытием позволяет определить общую девиацию – явную и латентную (гетеротропию и гетерофорию). Согласно этому методу перед одним глазом устанавливаются призмы возрастающей силы, направление действия которых противоположно отклонению глаза, и поочередно прикрываются оба глаза для определения наличия рефлексационных движений. Если такие установочные движения присутствуют, призмы меняются (увеличиваются или уменьшаются) для полной нейтрализации девиации. Сила призм может распределяться произвольно между двумя глазами. Альтернирующую окклюзию продолжают проводить до момента нейтрализации установочных движений. Сила призм, нейтрализующая движения глаз, определяет величину угла косоглазия.

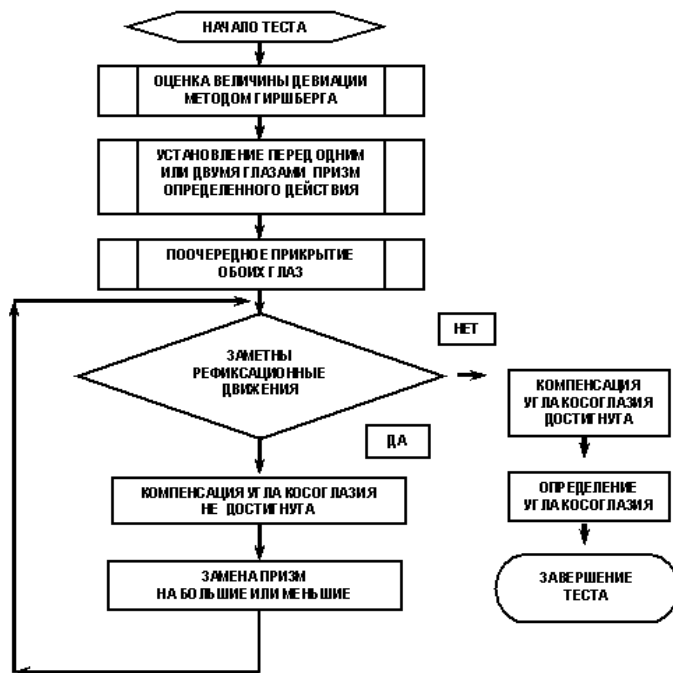


Рис. 8. Алгоритм альтернирующего теста

Страбометрия призмами является достаточно точной, так как основывается на нейтрализации (компенсации) угла девиации в естественных условиях, физиологической основой которой является направление обоих фовеол на один объект фиксации [8]. Диагностическим критерием компенсации угла косоглазия призмами является прекращение рефлексационных движений глаз при проведении теста прикрытия.

Отметим, что точное значение призматического действия реализуется только при строго нормальном падении луча на образующую поверхность микропризменной структуры (со стороны, обратной рельефу). Использование же при диагностике микропризменных элементов в пробной оправе, вместо толстых и тяжелых стеклянных призм, позволяет легко обеспечить строго нормальное расположение микропризмы относительно направления зрительной оси и тем самым повысить достоверность диагностики.

В ходе проведенных исследований было установлено, что процедура страбометрии с помощью разработанного диагностического набора КК-42 проста, занимает мало времени (2–3 минуты), пригодна для обследования детей дошкольного возраста и может быть использована при профосмотрах, обследованиях детей в домашних условиях, а также в офтальмологических кабинетах поликлиник.

ВЫВОДЫ

Проведен анализ оптических характеристик микропризмных элементов Френеля. Исследованы особенности конструирования и технологии изготовления таких элементов.

Разработан метод диагностики качества рабочих поверхностей элементов, основанный на анализе дифракционной картины, возникающей при прохождении луча лазера через периодическую микропризмную структуру.

Предложена методика применения микропризмных элементов Френеля для диагностики и лечения дефектов зрения в практической офтальмологии. Страбометрия с помощью модифицированных призм Френеля позволяет с достаточной точностью, при ошибке $\pm 2,0 PD$ (1°), измерять углы девиации до $60 PD$ (30°) у детей в возрасте 3-х лет и старше при офтальмологических обследованиях.

1. Урмахер Л.С. Оптические средства коррекции зрения / Л.С. Урмахер, Л.И. Айзенштат. М.: Медицина, 1990. 256 с.
2. Патент 18152 України А61В3 /08. Пристрій для вимірювання кута косоокості / Сергієнко М.М., Петров В.В., Риков С.О., Шанойло С.М., Шевколенко М.В., Крючин А.А.: заявник Київська міська клінічна лікарня «Центр мікрохірургії ока». – № u200607554; Заявл.07.07.2006; Опубл.16.10.2006; Бюл № 10.
3. Патент 25549 України, А61В 3/08. Пристрій для діагностики косоокості / Петров В.В., Сергієнко М.М., Риков С.О., Шанойло С.М., Шевколенко М.В., Крючин А.А., Антонов Є.Є: заявник ІПРІ НАН України. № u200704035, Заявл.12.04.2007; Опубл.10.08.2007; Бюл. № 12.
4. Борн М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф. – М.: Наука, 1973. 720 с.
5. Світлоперевертання: проблеми та досягнення / В. В. Петров, С. М. Шанойло, Є.Є. Антонов [та ін.] // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. 2008. Т. 10, № 1. С. 3–15.
6. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976. 928 с.
7. Применение призматических линз в офтальмологии / Т.П. Кащенко, С.Г. Чернышова, Ю.З. Розенблюм [и др.] // Вестник оптометрии. 2005. № 1. С. 33–27.
8. Wright K.W. Handbook of Pediatric Strabismus and Amblyopia / K.W. Wright, P.H. Spigel, L.S. Thompson // Springer Science+Business Media, Inc. 2006. P. 143–160.

Мікропризмova лінза комбінованої дії

В. В. Петров, А. А. Крючин, С. О. Риков, М. М. Сергієнко,
Є. Є. Антонов, В. Б. Мелліна, С. М. Шанойло, М. В. Шевколенко

Патент України № 46750. Бюлетень № 1. 11.01.2010. МПК А 61 В 3/08.

Формула корисної моделі:

Мікропризмova лінза комбінованої дії, яка складається з рефракційної лінзи та лінзи призматичної дії, яка відрізняється тим, що лінза призматичної дії виготовлена в вигляді пластинки з мікропризмовим рельєфом необхідної призматичної дії, яка герметично закріплюється на увігнутій поверхні рефракційної лінзи таким чином, що мікрорельєф залишається всередині лінзи і не контактує безпосередньо з зовнішнім середовищем та поверхнею рефракційної лінзи.

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

Корисна модель відноситься до медицини, зокрема, до офтальмології, і може використовуватися для лікування косоокості, а також інших порушень зору, зокрема, далекозорості, астигматизму, що поєднується з косоокістю.

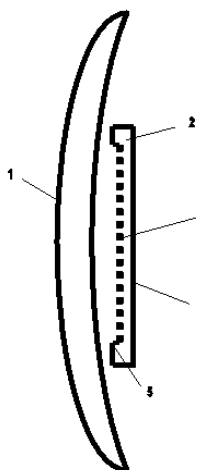
Відомий метод використання призм в лінзах окулярів та відповідний пристрій для корекції порушень біокулярного зору внаслідок сліпоті частини поля зору обох очей (Даніель Готтліб (Daniel D. Gottlieb), Патент США № 4 779 972 від 25.10.1988 р.). Метод пов'язаний з встановленням в стандартну рефракційну лінзу призми, що відхиляє промінь в напрямку поля втрат зору для одного з скла окулярів.

Недоліком цього пристрою є те, що лінза призматичної дії виготовлена зі скла і має значну товщину та відповідну вагу, що дає великі незручності при використанні таких комбінованих окулярів. Внаслідок цього практично неможливо виготовити лінзу призматичної дії оптичною силою більш, ніж 8–10 призмових діоптрій. Крім того, має місце викривлення зображень об'єктів, які спостерігає пацієнт внаслідок рефракції світла всередині призмових окулярів.

Відомий також призмовий пристрій для офтальмологічного застосування (Ранджана Пандя (Ranjana Pandya), Патент США № 6 934 084 від 23.08.2005 р.), який дає менші дефекти зображення за рахунок компенсації аберацій. Однак, зазначений пристрій не має в своєму складі сферичної компоненти лінзи, тому не може застосовуватися для лікування комбінованих дефектів зору.

Задачею корисної моделі є створення мікропризмової лінзи комбінованої дії для корекції рефракції, в якій призматична лінза, виконана мікропризмовою планарною, поєднується з рефракційною лінзою. Ця лінза дозволяє розширити діапазон призматичної сили та підвищити зручність використання пристрою внаслідок невеликої товщини пристрою, при цьому оптичні характеристики в процесі експлуатації не змінюються завдяки герметичності конструкції пристрою.

Поставлена задача вирішується таким чином, що в запропонованому пристрої комбінованої дії призматичний елемент виготовлений у вигляді планарної мікропризмової лінзи невеликої товщини, герметично з'єднується з увігнутою поверхнею пластикової рефракційної лінзи таким чином, що мікрорельєф залишається всередині лінзи і не контактує безпосередньо ані з зовнішнім середовищем, ані з поверхнею рефракційної лінзи.



Фіг. 1.

Мікропризмона лінза комбінованої дії для корекції зору згідно з цією корисною моделлю (фіг.1) включає в себе рефракційну лінзу (1) та мікропризмний елемент (2). Мікропризмона лінза комбінованої дії відповідним чином обробляється та встановлюється в оправу окулярів. Діаметр пластинки круглої форми з мікропризмним рельєфом становить 30,5 мм, а її товщина 1,5 мм. Діаметр рефракційної лінзи відповідає стандартним розмірам рефракційних лінз.

Скріплення рефракційної лінзи з мікропризмним елементом здійснюється за допомогою ультразвукового зварювання, завдяки чому досягається повна герметичність пристрою.

Мікропризмний елемент (2) круглої форми виготовляється з спеціальної пластмаси, прозорої для видимого спектрального діапазону. Діаметр елемента складає 30,5 мм, а товщина дорівнює 1,5 мм. Одна сторона (3) елемента (2) гладка, а друга має мікропризмний рельєф (4) відповідного профілю, який забезпечує відхилення променя світла та створює необхідну призматичну силу пристрою. Елемент (2) герметично скріплюється з увігнутою поверхнею рефракційної лінзи (1) по поверхні кільцевого виступу (5) елемента (2) рельєфом (4) всередину, завдяки чому поверхня з рельєфом (4) елемента (2) в процесі експлуатації пристрою безпосередньо не контактує з зовнішнім середовищем і поверхнею рефракційної лінзи (1) і тому оптичні характеристики пристрою не змінюються в процесі експлуатації.

Діапазон зміни величини призматичної дії мікропризмного елемента становить від 0,5 до 30,0 призмних діоптрій з дискретним шагом в 1,0 призмону діоптрію в діапазоні 1,0–10,0 діоптрій та з шагом в 2,0 діоптрії в діапазоні 10,0–30,0 призмних діоптрій. Геометричні розміри кожної окремої мікропризми (4) визначаються таким чином, щоб витрати світла всередині елемента були мінімальними.

Діапазон зміни величини оптичної сили позитивної й негативної рефракційної лінзи є стандартним і становить +/-10 діоптрій з дискретністю 0,25 діоптрії.

Приклад. Комбінована мікропризмона лінза створена з рефракційної лінзи діаметром 70 мм оптичною силою 1,0 діоптрію, до увігнутої поверхні якої методом ультразвукового зварювання герметично приєднана пластинка з мікропризмним рельєфом шагом $W=400$ мкм та призматичною дією 10,0 призмних діоптрій (ПД) з допуском 0,05 ПД. Мікропризмний елемент виготовлений з прозорого полікарбонату шляхом нанесення на плоску пластину товщиною 1,5 мм серії заглиблень трикутного профілю з шагом $W = 400$ мкм та глибиною $H = 77$ мкм.

Мікропризмону лінзу комбінованої дії згідно з корисною моделлю використовують шляхом встановлення в окулярну оправу.

Optical Phenomena in Microprism Diagnostic Set KK-42

Viacheslav Petrov, Andriy Kryuchyn, Eugene Antonov,
Anatoliy Lapchuk, Semen Shanoilo

Proc. of SPIE, 2011. V.8011, 80119A. 22 General Congress on Optics "ICO-22",
15-19 August, 2011, Puebla, Mexico.

ABSTRACT

Microprism diagnostic set KK-42 for ophthalmology application comprises 42 separate microprism elements - strabismus optical compensators and it is designed for the image displacement at vision diagnostics.

The main requirement for optical compensators is high quality of observed images. However, strong diffraction phenomena and chromatic aberrations due to light dispersion exist for microprisms similar to any other prismatic systems. Structure simulation was carried out to minimize the acuity degradation and to avoid observed image discretization. The simplest method to diminish aberrations is the application of filters and colour plastics. Experiments and calculations were performed which showed the opportunity to diminish twice the chromatism zone by filters to the value of 20-25 angular minutes.

Another method of decreasing chromatic aberrations is application of additional prism microrelief – saw tooth diffractive optical element. In optical compensators the first microrelief with the pitch of 600-800 μm serves as a refractive prism. Diffractive element with the pitch of 15-20 μm operating in first diffractive order is optimized in such a way that dispersion of the first diffractive order compensates dispersion of the compensator. This method allows to compensate dispersion totally at any spectrum zone.

Keywords: Microprism structures, visual diagnostics, optical compensator, chromatic aberrations, colour filters, prismatic microrelief.

1. GENERAL INFORMATION

The microprism diagnostic set KK-42 for ophthalmology application [1] is the latest development of the Institute for Information Recording in visual optics field. This set comprises 42 separate microprism elements - optical compensators for strabismus and it is designed for image displacement at vision diagnostics. Each compensator is the flat plate from transparent optical plastics with special microrelief at the one side of this plate. Special polycarbonate plane plate is placed above the relief which protects the microrelief from external soiling and mechanical damages during the operation. Separate optical compensators and total view of diagnostic set are shown in Fig.1.

Microrelief on the plane plate is formed by two-stepped process. At the first stage the necessary relief is formed by diamond cutting method [1] on the flat surface of alumina base with the help of specially fabricated diamond cutting tool. Schematic structure of microrelief is shown in Fig.2.

The cutting angle of this tool has been varied for microprisms with different prismatic strength in such a way that reverse angle β for each microprism (fig.2) does not exceed 2-3 degrees and total light losses in the prism material do not exceed 10-11% including the light reflection at both prism surfaces. At the second stage the Fresnel elements with microrelief are manufactured by thermal pressing method on the flat surface of transparent optical plas-

tics. The diameter and thickness of each optical compensator exactly correspond to dimensions of probe ophthalmologic frame that is used during the diagnostics of human vision.



Fig. 1. Microprism optical compensators and total view of diagnostic set KK-42

2. DIFFRACTION PHENOMENA IN MICROPRISMS

Microprismatic nature of set KK-42 is its main advantage compared to conventional glass prisms. Thus, the total weight of microprism is markedly reduced; it is possible to manufacture prismatic structures with strengths up to 40-50 prismatic diopters, diagnostic process is markedly facilitated and its reliability is raised. However, for microprisms as well for any others prismatic systems the strong diffraction phenomena appear for white light due to phase mismatching which decreases visual acuity. At that time the main requirement for optical compensators is the high quality of observed images.

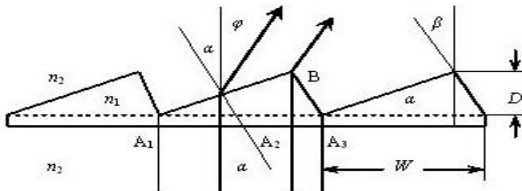


Fig. 2. Schematic structure of microrelief

While calculating we used the well-known expression [2] for diffraction effects:

$$I(\lambda, \varphi) = I_0 (\sin(\pi S / \lambda) \sin \varphi / (\pi S / \lambda)) \quad (1)$$

where I_0 is the amplitude of light flux in the angle direction $\varphi=0$; λ is the wave length; S is the gap width. For the low microrelief prismatic strengths the gap value S is roughly equal to microrelief pitch W .

During the calculation of refraction angles the relief pitch W and the reverse microprism angle β have been varied. For small pitches $W = 200-300 \mu\text{m}$ the distortions due diffraction effects exist, for $W = 800-1000 \mu\text{m}$ the image discretization is observed. So, optimal microrelief pitch which also depends on microprism optical strength was chosen equal to $W = 600-800 \mu\text{m}$ at the reverse prism angle $\beta = 2-3$ degree.

3. CHROMATIC ABERRATIONS AND FILTERS

Microprism Fresnel lenses can resolve the problem of large weight and thickness for glass prisms. However, chromatic aberrations due to light dispersion exist for microprisms similar to any others prism systems. Chromatism is the main characteristics of white light and the problem of image splitting due to light dispersion also remains for microprisms.

The simplest method to diminish aberrations is an application of filters and colour plastics. The first ones are used directly during the diagnostics together with prisms; the second ones are used at the stage of microprism elements manufacturing. Experiments and calculations were performed which showed the opportunity to diminish twice the chromatism zone by filters to the value of 20-25 angular minutes.

Chromatic phenomena were taken into account by Snell's law [1] with refraction coefficient n depending on wave length λ by Palik's data [3]:

$$n_1(\lambda) \sin\varphi_1 = n_2(\lambda) \sin\varphi_2 \quad (2)$$

where φ_1 and φ_2 are light distribution angle in the first and second media.

Correction for averaged human sensitivity $S(\lambda)$ [2] was also made. For these data by Veinberg [4] were taken for transmission characteristics $\tau(\lambda)$ for colour blue-green and yellow-blue filters:

$$\tau'_\lambda = (1 - k_a)^2 \tau_\lambda = (1 - k_a)^2 (10 - k_\lambda h) \quad (3)$$

where k_a is the coefficient of light reflection from media boundary, k_λ is the coefficient of light absorption for wave length λ in the filter material, h is the filter thickness.

The effect of chromatism correction by light filters is illustrated by Fig.3 where the results of calculation of white light transmission through microprism with prismatic strength $PD=30$ are shown. This prism was manufactured from polymethylmetacrylat with refractive index $n=1,492$ (fig.3a). Combination of yellow-blue filter *YB18* and blue-green filter *BGB22* diminishes twice the chromatism zone to the value of 20-25 angular minutes (fig.3b). The deviation angle φ for the central zone of light beam with wave length $\lambda=546,1\text{nm}$ was equal to $\varphi=16,73^\circ$.

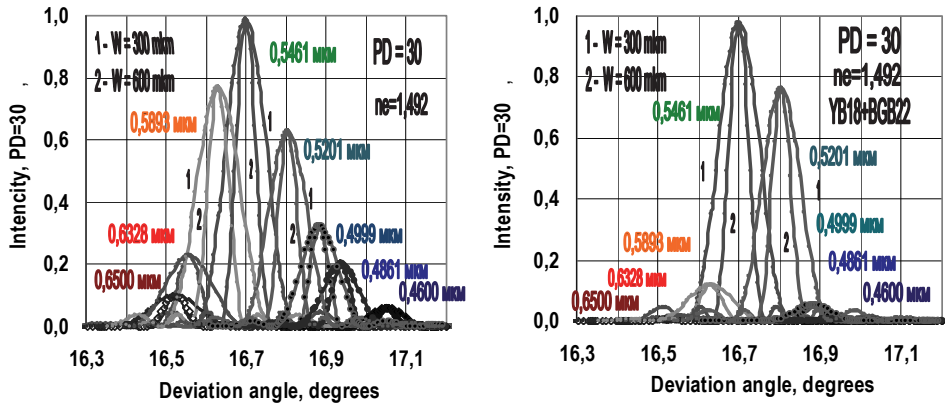


Fig. 3. Calculation data for white light transmission through microprism with prismatic strength $PD=30$

However, the utilization of colour optical strabismus compensators will be more convenient. Such colour compensators would be manufactured from colour optical plastics or from transpired polymethylmetacrylat with appropriate dye-stuff. Note that utilization of light filters simultaneously gets narrow the chromatism zone and diminish the intensity of transmitted light that obviously is negative phenomenon.

4. DIFFRACTIVE OPTICAL ELEMENTS IN MICROPRIMS

Another method of decreasing chromatic aberrations is an application of additional prism microrelief [5] – saw tooth diffractive optical element (DOE). This composite prism is the combination of refractive prism with large prismatic strength and of diffractive phase grid. The above grid is rated in such a way that light beam with certain wave length λ passes through this diffractive grid without additional refraction (blazing wavelength). This grid operates at that principle that the direction of beam refraction by the first prism and its diffraction by the grid are changed in opposite direction with a change of wavelength. In such a way the beam angle deviation stabilization take place. The scheme of such composite prism is shown in Fig.4.

For ophthalmology applications it is convenient to utilize composite prism structures that are formed directly at the separate surfaces of each compensator in such a way that both microrelief: the large one with the pitch W and the little one with the pitch B and depth H are placed inside the structure and thus are protected from damages and soiling during the operation.

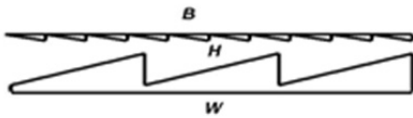


Fig. 4. Schematic view of composite prism

Thus, in the optical compensators the first microrelief with the pitch $W=600-800 \mu\text{m}$ serves as a refractive element stating the beam deviation angle. Diffractive element with the pitch $B = 15-20 \mu\text{m}$ operates in the first diffraction order and is optimized in such a way that its dispersion in

this mode totally compensates the dispersion of optical strabismus compensator.

The above prismatic structures are operating at different physical principals. The refractive prism with the pitch W utilizes different diffraction orders for different wave lengths due to large relief depth D comparative to wave length λ . The white light in different orders is remained in the refraction angle zone, so the dispersion of one order is not essential. The structure with the little pitch B would operate in the first order to have big diffractive efficiency in all optical bands. Therefore the phase difference of beams passing through neighbor microprisms at the central wave length λ of white light should be equal to λ . Angle dispersion for first diffraction order is equal:

$$\Delta\theta = \lambda/D. \quad (4)$$

Thus, the refraction angle is increasing with the increase of wave length λ . It means that this system has the dispersion that is reverse to dispersion of refractive prism. If the pitch B is small enough the dispersion of this second microprism will be sufficient to compensate the dispersion of first refractive prism. The condition of above compensation can be written in the following way:

$$\frac{1}{D} = \frac{dn}{d\lambda} \frac{\sin \varphi}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2 \varphi}}. \quad (5)$$

The results of our calculation of dispersion of refraction angle (5) are shown for three variants: (1) for the microprism without diffraction element; (2) for the prism with diffraction element that is optimized for getting maximum aberration reducing in green spectrum zone with wave length $\lambda=546,1\text{nm}$ (grid pitch $B=20,7 \mu\text{m}$, the relief depth $H=1,11\mu\text{m}$) and (3) for the microprism with diffraction elements that is optimized for getting minimum refraction deviation in visual spectrum zone (pitch $B = 16,9 \mu\text{m}$, depth $H = 1,11 \mu\text{m}$)

Calculations were performed for optimal refractive prism pitch $W=600 \mu\text{m}$, prismatic element strength $PD=30$, refractive index $n=1,492$. Palik's data [3] were taken for index n dependence on wave length λ for polymethylmetacrylat.

It was shown that the difference $\Delta\theta$ of refraction angle for visual spectrum zone under utilization of additional diffractive element diminishes from $\Delta\theta \approx 0,916^\circ$ (Fig. 5, curve 1) to $\Delta\theta \approx 0,286^\circ$ (Fig. 5, curves 2-3). Thus, for refractive prism strength $PD=30$ with the pitch $W=600 \mu\text{m}$ it is possible to ensure the transmittance of the light with $\lambda=546,1\text{nm}$ without additional refraction by applying the additional diffraction grid with the pitch $B=20,7\mu\text{m}$ and the depth $H=1,11\mu\text{m}$. At that time, noticeable compensation of chromatic effects for blue and red spectrum zone takes place.

This method allows to compensate totally the dispersion at any spectrum zone but a little chromatic aberration still remain at other spectrum zones due to not linear dispersion of refractive index of prism material relative to wave length. However, the maximum splitting of images for visual spectrum zone does not exceed 20 angular minutes.

Thus, optical phenomena in microprism diagnostic set KK-42 have been discussed. The analysis of the ways for improving of images quality has been carried out for white light transmission through microprism structures. The abilities for compensation of diffraction and chromatic phenomena in microprism optical compensators by applying the additional phase diffraction elements have been investigated for increasing images acuity under utilization of such structures in ophthalmology.

REFERENCES

1. Petrov, V.V., Sergienko, N.M., Rykov, S.A., Antonov, E.E., Shanoylo, S.M., Shevkolenko, M.V. Technology of Manufacturing and Method of Utilizing in Ophthalmology of Microprism Fresnel Elements, Data Recording, Storage & Processing, 10(3), 5-17 (2008).
2. Petrov, V.V., Antonov, E.E., Shanoylo, S.M. Light Chromatism, Diffraction and Sight Sharpness for Microprism Fresnel Lenses, Data Recording, Storage & Processing, 12(1), 49-54 (2010).
3. Palik, E.D., [Handbook of Optical Constants of Solids], Academic Press, San Diego, (1998).
4. Veinberg, I. [Colour Glass Catalogue], <http://nehudlit.ru/books/detail8974.html>
5. Loewen, E. [Diffraction Grating Handbook], 6th Edition, Newport Corporation, 269 pp., (2005).

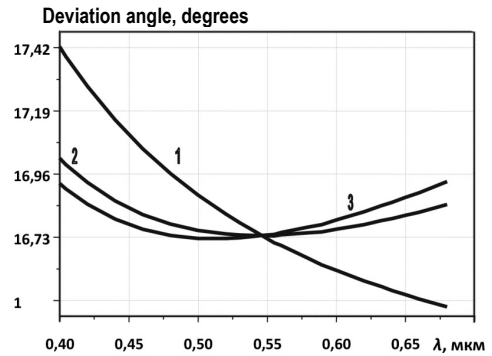


Fig. 5. Calculated chromatic aberrations for composed prism

Діагностична лінійка мікропризмових компенсаторів косоокості

В. В. Петров, А. А. Крючин, С. О. Риков, М. М. Сергієнко,
Є. Є. Антонов, С. М. Шанойло, М. В. Шевколенко

Патент України № 66105. Бюлетень № 24, 26.12.2011. МПК А 61 В 3/08.

Формула корисної моделі:

Діагностична лінійка мікропризмових компенсаторів косоокості, яка складається з п'яти фіксованих мікропризмових герметичних компенсаторів косоокості, що розміщені на одному корпусі, та додаткового пересувного мікропризмового елемента для зміни величини призматичної дії кожного з п'яти зазначених компенсаторів на певний крок, яка відрізняється тим, що дозволяє швидко змінювати в широкому діапазоні величину призматичної сили мікропризмових компенсаторів косоокості та завдяки цьому підвищити зручність використання та достовірність вимірювань величини косоокості зору пацієнта.

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

Корисна модель відноситься до медицини, зокрема, до офтальмології, і може використовуватися для експрес-діагностики косоокості, а також інших порушень зору, що поєднуються з косоокістю.

Відомий метод використання скляних призм для діагностики косоокості та відповідний пристрій для вимірювання кута косоокості, який складається з пробної офтальмологічної оправы і набору скляних окулярних призм (Л. С. Урмахер, Л. И. Айзенштадт. Офтальмологические приборы. М.: Медицина. 1988). Метод пов'язаний з встановленням в стандартну оправу скляних призм оптичною силою до 8 призмових діоптрій.

Недоліком цього методу є обмежений діапазон вимірювань внаслідок практичної неможливості виготовлення скляних призм силою більш 10-12 призмових діоптрій, а також незручність та недостовірність діагностики внаслідок необхідності встановлення в пробну оправу товстих та важких скляних призм строго перпендикулярно до напряму зору.

Відомий мікропризмовий пристрій для діагностики косоокості (В. В. Петров, М. М. Сергієнко, С. О. Риков та ін. Патент України № 25549 від 10.08.2007 р.), який передбачає використовувати для діагностики косоокості мікропризмові планарні елементи Френеля – оптичні компенсатори косоокості призматичною дією від 0,5 до 30,0 призмових діоптрій. Елементи по черзі встановлюються в пробну офтальмологічну оправу, автоматично займають необхідне положення відносно осі зору і тому дають можливість точно вимірювати кут косоокості ока пацієнта. Однак, зазначений пристрій не дозволяє швидко змінювати величину призматичної дії оптичних компенсаторів і тому не дозволяє провести експрес-діагностику косоокості, перш за все для малих дітей та важких хворих, особливо в випадку досліджень комбінованих дефектів зору, що поєднуються з косоокістю.

Для діагностування близькозорості та далекозорості відомий метод використання скіаскопічних лінійок з круглими або квадратними скляними лінзами замість набору пробних лінз та таблиць (Л. С. Урмахер, Л. И. Айзенштадт. Оптические средства кор-

рекции зрения. – М.: Медицина. 1990). Лінійки більш зручні для використання, ніж окремі скляні лінзи, менший час діагностування, однак на сьогодні відомі лише лінійки з сферичними та циліндричними лінзами, які не придатні для діагностики комбінованих дефектів зору, що поєднуються з косоокістю.

Задачею корисної моделі є створення діагностичної лінійки оптичних мікропризмових компенсаторів косоокості, яка дозволяє швидко та з високою достовірністю вимірювати величину косоокості зору пацієнта. Лінійка дозволяє змінювати в широкому діапазоні величину призматичної сили мікропризмових компенсаторів та підвищити зручність проведення діагностики внаслідок невеликої товщини та ваги пристрою, при цьому оптичні характеристики в процесі експлуатації не змінюються завдяки герметичності конструкції пристрою.

Поставлена задача вирішується таким чином, що в запропонованому пристрої (фіг.1) група фіксованих мікропризмових компенсаторів косоокості (1) розміщується на корпусі лінійки (2) в спеціальних заглибленнях (6). Кожний мікропризмовий компенсатор (1) складається з мікропризмового елемента круглої форми, який виготовляється з спеціальної пластмаси, прозорої для видимого спектрального діапазону, та захисної пластинки компенсатора (5). Захисна пластинка (5) герметично з'єднана методом ультразвукового зварювання з мікропризмовим елементом (1) таким чином, що мікрорельєф розміщується всередині пристрою і не контактує ані з зовнішнім середовищем, ані з поверхнею захисної пластинки, і тому захищений від забруднень та пошкоджень в процесі експлуатації пристрою. Для зручного утримання діагностичної лінійки корпус (2) має відповідний тримач (3). Геометричні параметри кожного окремого мікропризмового елемента (1) визначаються таким чином, щоб витрати світла всередині елемента були мінімальними.

Додатковий пересувний мікропризмовий елемент (4) переміщується вздовж корпусу (2) лінійки таким чином, що величина призматичної дії кожного з групи фіксованих мікропризмових елементів (1) може змінюватися на певну визначену величину. Сумарний діапазон зміни призматичної сили компенсаторів в діагностичній лінійці становить 1,0-30,0 призматичних діоптрій (ПД), при цьому крок зміни сили мікропризм встановлено рівним 1,0 для групи оптичних компенсаторів для діапазону 1,0-10,0 ПД та рівним 2,0 ПД для діапазону 12,0-30,0 ПД, щоб величина кута косоокості, що визначена за допомогою діагностичної лінійки, співпадала з існуючим переліком номіналів оптичних компенсаторів косоокості: 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0; 10,0; 12,0; 14,0; 16,0; 18,0; 20,0; 22,0; 24,0; 26,0; 28,0 та 30,0 ПД.

Для зручності діагностування та зменшення габаритів пристрою запропоновано набір, що складається з двох окремих лінійок компенсаторів. Кожна з лінійок складається з групи в 5 фіксованих мікропризмових компенсаторів косоокості та має один пересувний мікропризмовий елемент. Перша з лінійок перекриває діапазон 1,0-10,0 ПД з кроком 1,0 ПД, а друга – діапазон 12,0-30,0 ПД з кроком 2,0 ПД. Значення призматичної дії додаткового мікропризмового елемента розраховується таким чином, що для кожної з двох діагностичних лінійок для середини відповідного діапазону призматичної дії, тобто для ПД=5,0 та ПД=22,0, величина сумарної призматичної дії точно дорівнює заданому значенню сили мікропризми (фіг.2). При такому виборі величини додаткової мікропризми максимальне відхилення реального значення призматичної дії від заданого номіналу не перевищує 0,36% для першої лінійки, та 1,16% для другої (фіг.2).

Для вимірювань великих кутів косоокості використовується третя лінійка компенсаторів косоокості з фіксованими значеннями призматичної дії, які дорівнюють 34,0; 38,0; 42,0; 46,0 та 50,0 ПД.

Приклад 1. Набір для діагностики складається з двох лінійок.

Діагностична лінійка № 1 для діапазону 1,0-10,0 ПД створена з п'яти фіксованих мікропризмових компенсаторів косоокості оптичною силою 1,0; 3,0; 5,0; 7,0 та 9,0 ПД. Оптична сила пересувної мікропризми становить 1,0 ПД, максимальна похибка визначення призматичної дії компенсатора становить 0,36% для ПД=10,0.

Діагностична лінійка № 2 для діапазону 12,0-30,0 ПД створена з п'яти фіксованих мікропризмових компенсаторів косоокості оптичною силою 12,0; 16,0; 20,0; 24,0 та 28,0 ПД. Оптична сила пересувної мікропризми становить 1,7 ПД, максимальна похибка становить 1,16% для мікропризми ПД=30,0.

Приклад 2. Набір для діагностики складається з трьох лінійок.

Діагностична лінійка № 1 для діапазону 1,0-10,0 ПД створена з п'яти фіксованих мікропризмових компенсаторів косоокості оптичною силою 1,0; 3,0; 5,0; 7,0 та 9,0 ПД. Оптична сила пересувної мікропризми становить 0,99 ПД, максимальна похибка визначення призматичної дії компенсатора становить 0,18% для ПД = 10,0 та 0,34 % для ПД = 2,0.

Діагностична лінійка № 2 для діапазону 12,0-30,0 ПД створена з п'яти фіксованих мікропризмових компенсаторів косоокості оптичною силою 12,0; 16,0; 20,0; 24,0 та 28,0 ПД. Оптична сила пересувної мікропризми становить 1,7 ПД, максимальна похибка становить 1,16% для мікропризми ПД = 30,0.

Діагностична лінійка № 3 для діапазону 34,0-50,0 ПД створена з п'яти фіксованих мікропризмових компенсаторів косоокості оптичною силою 34,0; 38,0; 42,0; 46,0 та 50,0 ПД.

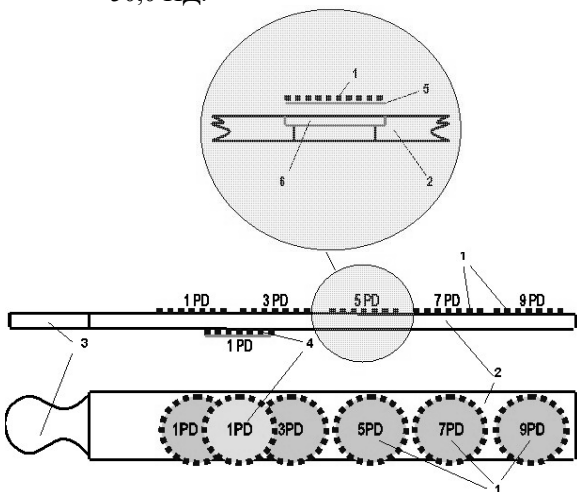


Fig. 1. Діагностична лінійка № 1 компенсаторів косоокості: 1 – мікропризмовий компенсатор косоокості, 2 – корпус лінійки, 3 – тримач лінійки, 4 – пересувна додаткова мікропризма, 5 – захисна пластинка компенсатора, 6 – заглиблення для компенсатора

Довжина корпусу кожної з лінійок $L = 250$ мм, ширина корпусу $H = 40$ мм. Крок мікрорельєфу всіх мікропризмових компенсаторів становить $W = 600$ мкм, який є оптимальним для зменшення дифракційних ефектів та виключення дискретизації зображень. Діаметр компенсаторів $D = 30$ мм. Плошка захисна пластинка товщиною $h = 0,6$ мм виготовлена з прозорого полікарбонату. Пересувний мікропризмовий елемент виготовлений з прозорого поліметилметакрилату шляхом нанесення на плоску пластину товщиною 1,5 мм серії заглиблень трикутного профілю з кроком $W = 600$ мкм.

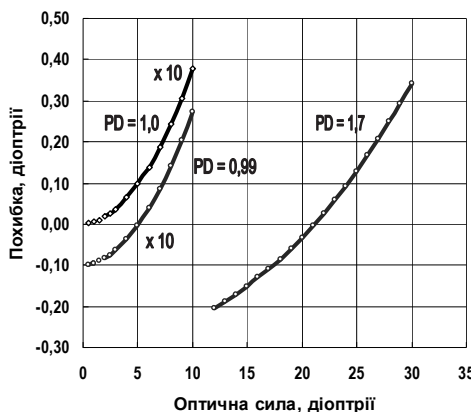


Fig.2. Похибка при використанні додаткової мікропризми з фіксованою величиною призматичної дії: ПД=1,0 та ПД=0,99 для діапазону 1-10 ПД; ПД=1,7 для діапазону 12-30 ПД

Оптичні властивості здвоєних мікропризмових елементів

В. В. Петров, А. А. Крючин, Є. Є. Антонов,
О. О. Токалін, С. М. Шанойло

Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2012. Т. 14, № 4. С. 7–17.

Виконано розрахунки оптичних параметрів офтальмологічних симетричних мікропризмових компенсаторів, що складаються з двох однакових мікропризмових елементів. Проведено порівняльний аналіз хроматичних ефектів для оптичних компенсаторів з одинарних мікропризм і симетричних компенсаторів. Визначено вплив параметрів компенсаторів на гостроту зору пацієнта при діагностиці зору для різних типів компенсаторів. Запропоновано метод створення послаблювачів зору для офтальмологічних застосувань на основі мікрорельєфних структур відповідного профілю.

Ключові слова: мікропризмовий елемент, крок мікрорельєфу, хроматизм, дифракція світла, гострота зору, послаблювач світла.

Призматичні оптичні пристрої широко використовуються в офтальмологічній практиці, причому в останні роки традиційні скляні призми все частіше замінюються компактними мікропризмовими елементами. Так, розроблений діагностичний набір КК-42 [1] для діагностики косоокості, складається із 42-х мікропризмових планарних елементів Френеля – оптичних компенсаторів косоокості з призматичною дією від 0,5 до 30,0 призмових діоптрій (*ПД*). Компенсатори по черзі встановлюються в пробну офтальмологічну оправу, автоматично займають необхідне положення для діагностики і дають можливість точно вимірювати кут косоокості ока пацієнта. Однак, зазначений метод не зовсім зручний, він не дозволяє швидко змінювати компенсатори з різною призматичною дією, вимагає багато часу на діагностування і тому не дозволяє провести діагностику косоокості у малих дітей і важких хворих, коли проблематичне використання пробної оправу.

Більш зручним для діагностики косоокості методами призмової скіаскопії виявився набір діагностичних лінійок оптичних компенсаторів косоокості [2], з допомогою якого для діагностування потребується значно менший час. Кожна з лінійок набору складається з 5-ти мікропризмових компенсаторів з одинарних мікропризм, рельєф яких герметично захищений спеціальними плоскими пластинками. Набір включає в себе 5 лінійок таких компенсаторів для діапазонів 1–5 *ПД*, 6–10 *ПД*, 12–20 *ПД*, 22–30 *ПД* і 30–50 *ПД*. Використовуються лінійки шляхом їхнього розміщення по черзі перед оком пацієнта в одному визначеному положенні, а саме рельєфом до пацієнта, перпендикулярно осі зору.

Однак при використанні зазначеної традиційної лінійки в іншому положенні, а саме, рельєфом від пацієнта, виникає значна похибка у величині призматичної дії мікропризмових компенсаторів, особливо для великих значень *ПД*. Крім того, неточності встановлення лінійки з компенсаторами навіть на невеликі кути відносно перпендикулярного напрямку значно змінюють значення призматичної дії компенсаторів і вносять відповідні помилки в отримані значення кута косоокості. Тому виникла необхідність розробки компенсаторів косоокості та відповідних лінійок компенсаторів, призматична дія яких менш чутлива до поворотів мікропризмових елементів. Поставлена задача вирішується таким чином, що кожний мікропризмовий оптичний

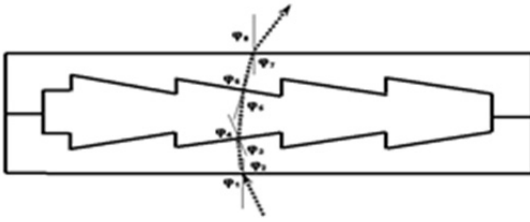


Рис. 1. Схема проходження променів через симетричний мікропризмний елемент

компенсатор косоокості формується одночасно двома планарними мікропризмними елементами однакової призматичної дії, причому пари елементів розміщуються рельєфами назустріч один одному (рис. 1) і створюють таким чином симетричний мікропризмний елемент.

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКІВ СИМЕТРИЧНИХ МІКРОПРИЗМОВИХ СТРУКТУР

Розрахунки оптичних параметрів симетричних елементів зі здвоєними мікропризмами базуються на використанні закону Снелліуса [3],

$$n_1(\lambda) \sin \varphi_1 = n_2(\lambda) \sin \varphi_2, \quad (1)$$

де φ_1 та φ_2 – кути падіння та заломлення світла в першому та другому середовищах. Вираз (1) дозволяє визначити відповідні кути заломлення $\varphi_1 - \varphi_8$ променів (рис. 1), а також розглянути хроматичні ефекти шляхом врахування залежності коефіцієнта заломлення n від довжини хвилі світла λ . Значення $n(\lambda)$ наведено у відомих таблицях Палика [4].

Розрахунки кутів заломлення променів згідно (1) свідчать, що для мікропризмних компенсаторів косоокості, які сформовані з одинарних мікропризм, при повороті пристрою вздовж осі, що співпадає з напрямком мікрорельєфу, виникає істотна зміна

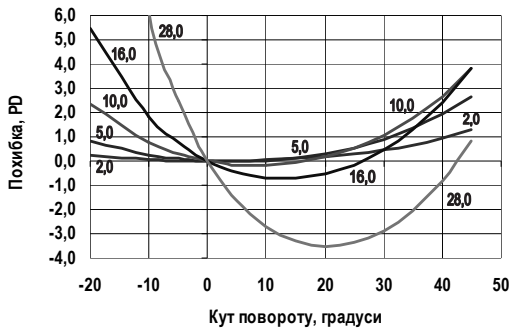


Рис. 2. Похибка вимірювань при повороті одинарної мікропризми вздовж осі залежно від величини призматичної дії $ПД = 2,0, 5,0, 10,0, 16,0$ та $28,0$

величини призматичної дії елемента, яка призводить до відповідної похибки у вимірюваннях кута косоокості (рис. 2), при цьому величина похибки пропорційна значенню призматичної дії і для $ПД = 20-30$ може сягати 3–5 $ПД$. У той же час розрахункові та експериментальні дані свідчать (рис. 3), що зміна величини призматичної дії при повороті призми менша майже в чотири рази для випадку, коли відповідна величина призматичної дії оптичного компенсатора косоокості створюється двома однаковими мікропризмними елементами.

Кожний симетричний мікропризмний компенсатор виготовляється зі спеціальної пластмаси, прозорої для видимого спектрального діапазону. Крок мікрорельєфу всіх мікропризмних елементів становить $W = 600$ мкм, який є оптимальним для зменшення дифракційних ефектів і виключення процесу дискретизації зображень. Зрозуміло, що при розвороті симетричного компенсатора на 180 градусів величина призматичної дії не змінюється, що впливає з самого принципу формування компенсатора з двох однакових мікропризм, і тому елемент є дійсно симетричним стосовно його розвороту

на 180 градусів. Змінюється лише напрям призматичної дії, що, зокрема, є корисним при визначенні напрямку горизонтальної косоокості зору.

Дві мікропризми в компенсаторі герметично з'єднані одна з одною методом ультразвукового зварювання таким чином, що мікрорельєф розміщується всередині пристрою, не контактує із зовнішнім середовищем і тому захищений від забруднень і пошкоджень у процесі експлуатації пристрою. Мікропризмові елементи розраховуються, виготовляються та з'єднуються в єдиний оптичний блок таким чином, щоб витрати світла всередині елемента були мінімальними.



Рис. 4. Набір діагностичних лінійок симетричних компенсаторів косоокості ДНСК-1

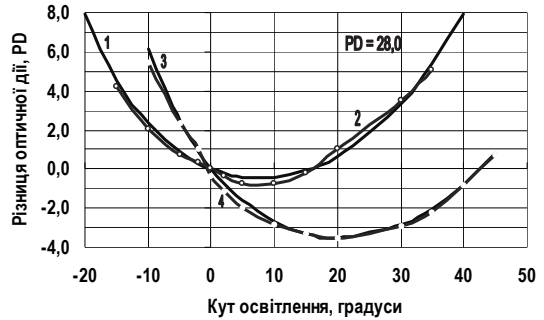


Рис. 3. Порівняльні характеристики симетричної здвоєної (криві 1, 2) та одинарної (криві 3, 4) мікропризми $PD = 28,0$ (криві 1, 3 – розрахунки; криві 2, 4 – експеримент)

Для зручності вимірювань кутів горизонтальної і вертикальної косоокості пропонуються окремі діагностичні лінійки таких оптичних компенсаторів [5], що виготовлені зі здвоєних мікропризм. Кожну лінійку формує група з 6-ти фіксованих симетричних мікропризмових компенсаторів косоокості для певного діапазону зміни призматичної дії (рис. 4).

Група з 5-ти діагностичних лінійок створює набір лінійок симетричних компенсаторів косоокості ДНСК-1: три лінійки (I, II, III) – для вимірювань кутів горизонтальної косоокості, та дві лінійки (IV, V) – для кутів вертикальної косоокості. Номінали мікропризм у лінійках для горизонтальних кутів становлять: (I) – 1, 2, 4, 6, 8, 10 PD ; (II) – 12, 14, 16, 18, 20, 25 PD ; (III) – 30, 35, 40, 45, 50, 55 PD . Лінійки для вертикальних кутів: (IV) – (догори) та (V) – (донизу) мають такі номінали: 5, 10, 15, 20, 25, 30 PD .

ГОСТРОТА ЗОРУ ДЛЯ СИМЕТРИЧНИХ МІКРОПРИЗМОВИХ КОМПЕНСАТОРІВ КОСООКОСТІ

Важливою характеристикою зору є її гострота G . Значення $G = 1,0$ визначається як можливість розподіляти зображення шириною в 1 кутову хвилину з відстані 5 метрів при яскравості тестової таблиці $E \geq 160$ $кд/м^2$ [6]. Відомо, що на гостроту зору G впливають багато чинників [7], у цій роботі розглянемо саме вплив хроматичних явищ і дифракційних ефектів.

Результати розрахунків хроматичних явищ для одинарних і здвоєних мікропризмових структур згідно (1) свідчать, що хроматичні ефекти, які впливають на чіткість зорового образу та на відповідну гостроту зору G , мають однакову величину для одинарних і здвоєних симетричних елементів (рис. 5) і визначаються лише значенням призматичної дії елемента. Таким чином, не відбувається погіршення гостроти зору G , що пов'язане з хроматичними явищами, при використанні здвоєних мікропризм порівняно з випадком одинарних мікропризмових елементів.

Більш важливою фізичною причиною погіршення гостроти зору G виявляється дифракція світла на періодичній мікропризмовій структурі. Для компенсаторів, що сформовані з одинарних мікропризм, такий ефект розглянуто в нашій попередній роботі [7]. Для випадку здвоєних мікропризм дифракційне розширення променя, що відбувається на першому призматичному елементі, додатково збільшується при проходженні другого елемента.

Для математичного визначення цього явища знову можна використати відомі формули [8] з урахуванням цього додаткового розширення:

$$I_{\Sigma}(\varphi) = \int I_{\varphi} d\varphi, \\ I_{\varphi} = I_0 (\sin A \sin NB)(A \sin B)^{-1}, \quad (2)$$

де I_{φ} – розподіл інтенсивності після проходження променя через першу мікропризму; I_0 – амплітуда світлового потоку від однієї щілини дифракційної ґратки в напрямку кута спостереження $\varphi = 0$; $A = (\pi S / \lambda) \sin \varphi$; $B = (\pi D / \lambda) \sin \varphi$; λ – довжина хвилі випромінювання; D – період ґратки; S – розмір однієї щілини; N – кількість щілин.

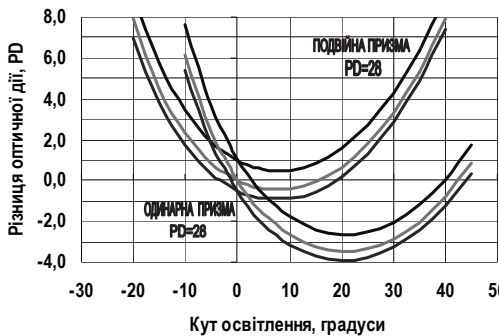


Рис. 5. Хроматичні ефекти при повороті здвоєної та одинарної мікропризм вздовж осі для призматичної дії $PD = 28,0$

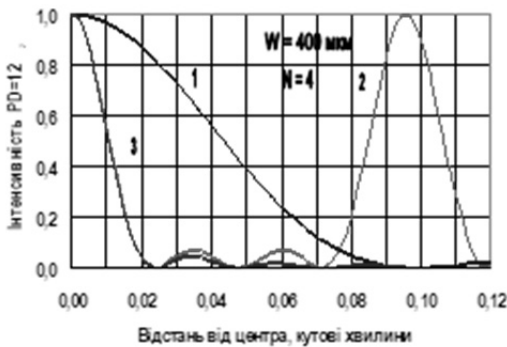


Рис. 6. Дифракційні ефекти для одинарної мікропризми призматичної дією $PD = 12,0$: 1 – дифракція; 2 – інтерференція; 3 – сумарний ефект

Сумарний дифракційний ефект для подвійної мікропризми визначиться шляхом інтегрування розподілу інтенсивності після проходження першої мікропризми (вираз (2)) по всіх кутах спостереження φ в діапазоні від -90° до 90° після проходження другої мікропризми.

Для відпрацювання моделі розглянемо випадок освітлення здвоєної мікропризми призматичною дією $PD = 12,0$ з кроком мікрорельєфу $W = 400$ мкм, монохроматичним когерентним випромінюванням з довжиною хвилі $\lambda = 633$ нм. Типову картину дифракційних явищ після проходження променя через першу мікропризму для цього випадку показано на рис. 6. Інтегральний вигляд ефекту в зоні першого дифракційного максимуму практично співпадає з інтерференційною картиною (крива 3).

Для монохроматичного когерентного світла відбувається концентрація випромінювання в певних максимумах (крива 3, рис. 6), тому реальний внесок в інтегральну картину розподілу інтенсивності дають лише декілька компонент, і інтегрування по кутах падіння (вираз (2)) для другої мікропризми в цьому випадку зводиться до простого складання

дифракційних явищ. Тому необхідно врахувати додаткове розширення променя всього від трьох компонент, що відповідають кутам спостереження $\varphi = 0,000; 0,035$ та $0,060$ кутових хвилин, практично же, понад 96 % інтенсивності сконцентровано в першому інтерференційному максимумі.

Для білого некогерентного світла, звичайно, буде існувати лише дифракційна складова ефекту (крива 1, рис. 6). Тому відбувається лише розмиття первинних променів без утворення інтерференційних максимумів, і типова картина розподілу інтенсивності світла після проходження здвоєної мікропризми подібна дифракційній кривій для першої призми (крива 1 на рис. 6), а величина розширення при незмінному кроці рельєфу визначається лише оптичною силою мікропризми. В подальшому це питання буде розглянуто нами більш детально.

ОСЛАБЛЮВАЧ ГОСТРОТИ ЗОРУ

В останні роки для лікування диплопії у лікувальних окулярах все частіше використовується так звані фільтри Бангертера [9] – напівпрозорі пластикові плівки з градуйованим пропусканням, які легко фіксуються на поверхні окулярних лінз аналогічно еластичним призмам Френеля. Фільтри Бангертера дозволяють позбавитися від диплопії, при цьому дозволяють досягнути периферійної фузії і мають достатньо привабливий косметичний вигляд [10].

Такі фільтри також можуть застосовуватися для вирівнювання гостроти зорового образу для обох очей. Дійсно, при використанні окулярів з мікропризмовою лінзою одночасно із заломленням променів відбувається також і деяке погіршення гостроти зору пацієнта.

Необхідно вирівнювати саме зменшення гостроти зору, а не інтенсивності, тому що зменшення інтенсивності променя практично виявляється однаковим для звичайного окулярного скла без призм і для рефракційного скла з призматичною складовою. Так, з формул Френеля [8] випливає, що для всіх кутів падіння $\varphi_1 < 50-55^\circ$ коефіцієнт відбиття променя від поверхні практично однаковий. Тому як для плоского пластика, так і для поверхні з мікропризмовим рельєфом з максимальними кутами заломлення призм $\alpha \sim 25-30^\circ$, що відповідає максимальним величинам призматичної дії (50–60 ПД) мікропризм, які застосовуються в офтальмології, втрати інтенсивності променя для зазначених обох випадків однакові і для двох найбільш популярних в офтальмології пластиків становлять 8,0 % (поліметилметакрилат) та 10,2 % (полікарбонат).

Один з варіантів таких градуйованих послаблювачів гостроти зору можливо створити саме на ефекті дифракції білого світла на періодичних мікрорельєфних структурах. Картина розподілу інтенсивності після проходження такого послаблювача аналогічна тій, що показана на рис. 6 (крива 1). Для білого світла величина розширення зображення визначається тільки дифракцією і тому пов'язана з кроком мікрорельєфу. Змінюючи крок, можна створити градуйовані послаблювачі для певного світлопропускання. Для уникнення послаблення загальної інтенсивності світла, який проходить через такий пристрій, зона поверхні з мікрорельєфом повинна складати невелику частку від загальної площі послаблювача. Так, типовими параметрами

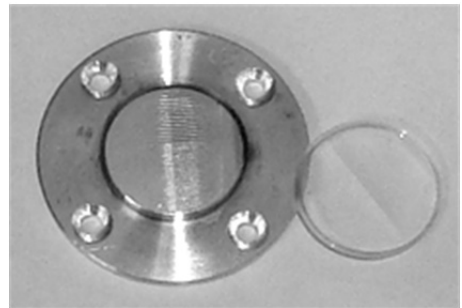


Рис. 7. Послаблювач білого світла на принципі дифракційного розширення зображень

послаблювача може бути крок мікрорельєфу $W = 200\text{--}400$ мкм і ширина штриха $D = 10$ мкм, що відповідає втратам інтенсивності 2,5–5,0 %.

Проведені експерименти підтверджують реальну можливість створення послаблювачів гостроти зору на ефекті дифракції без істотного впливу на величину інтенсивності світла, що проходить через такий пристрій. Для ілюстрації на рис. 7 наведено зображення оптичного послаблювача світла, який виготовлено за наведеним принципом з такими параметрами: кут мікрорельєфу $\alpha = 70^\circ$, глибина рельєфу $H = 10$ мкм. Крок рельєфу W становив 100, 200, 400 та 800 мкм, причому кожному значенню W відповідає своє значення послаблення ΔI інтенсивності, яке змінюється від мінімального до максимального $\Delta I = 15\text{--}20$ %.

ВИСНОВКИ

Запропоновано алгоритм розрахунків характеристик мікрорельєфних симетричних елементів, що складаються з двох однакових мікропризмових структур. Визначено вплив хроматичних явищ і дифракційних ефектів на оптичні характеристики таких структур. Запропоновано метод створення послаблювачів зору для офтальмологічних застосувань шляхом формування на плоскій прозорій поверхні мікропризмового рельєфу певної форми, крок якого значно більший за ширину рельєфу.

1. Патент 25549 України, А61В 3/08. Пристрій для діагностики косоокості / В.В. Петров, М.М. Сергієнко, С.О. Риков, С.М. Шанойло, М.В. Шевколенко, А.А. Крючин, Є.Є. Антонов: заявник Ін-т проблем ресстрації інформації НАН України. – № u200704035; заявл. 12.04.2007; опубл. 10.08.2007. – Бюл. № 12.
2. Патент 66105 України А61В 3/08. Діагностична лінійка мікропризмових компенсаторів косоокості / В.В. Петров, А.А. Крючин, С.О. Риков, М.М. Сергієнко, Є.Є. Антонов, С.М. Шанойло, М.В. Шевколенко; заявник Ін-т проблем ресстрації інформації НІАН України. № u201106463; заявл. 23.05.2011; оп. 26.12.2011. Бюл. № 24.
3. *Технология изготовления и методика применения в офтальмологии микропризмных элементов Френеля* / В.В. Петров, Н.М. Сергиенко, С.А. Рыков [и др.] // Ресстрація, зберігання і оброб. даних. – 2008. – Т. 10, № 3. – С. 5.
4. *Palik E.D. Handbook of Optical Constants of Solids [Електронний ресурс]* / E.D. Palik. – Academic Press, Inc., 1998. – Режим доступу: <http://knovel.com/web/portal/browse/display>.
5. *Діагностична лінійка симетричних мікропризмових компенсаторів косоокості* / В.В. Петров, А.А. Крючин, С.О. Риков, М.М. Сергієнко, Є.Є. Антонов, С.М. Шанойло, М.В. Шевколенко, А61В 3/08; заявка на Патент України № u201205126 від 25.04.2012 р.; позитивне рішення від 08.10.2012, № 21606/ЗУ/12.
6. *Урмахер Л.С. Оптические средства коррекции зрения* / Л.С. Урмахер, Л.И. Айзенштат. – М.: Медицина, 1990. – 256 с.
7. *Петров В.В. Хроматизм світла, дифракція та гострота зору в мікропризмових лінзах Френеля* / В.В. Петров, Є.Є. Антонов, С.М. Шанойло // Ресстрація, зберігання і оброб. даних. – 2010. – Т. 12, № 1. – С. 49–54.
8. *Борн М. Основы оптики* / М. Борн, Э. Вольф. – М.: Наука, 1973. – 720 с.
9. *Bangerter A. Die Okklusion in der Pleoptik und Orthoptik* / A. Bangerter / Klin Monatsbl Augenheilkd. – 1960. – Vol. 136. – P. 305–331.
10. *Iacobucci I.L. Management of Binocular Diplopia Due to Maculopathy with Combined Bangerter Filter and Fresnel Prism* / I.L. Iacobucci, B.A. Furr, S.M. Archer // American Orthoptic Journal. – 2009. – Vol. 1. – P. 93–97.

Діагностична лінійка симетричних мікропризмових компенсаторів косоокості

В. В. Петров, А. А. Крючин, С. О. Риков, М. М. Сергієнко,
Є. Є. Антонов, К. В. Коробов, С. М. Шанойло, М. В. Шевколенко

Патент України на корисну модель № 76872 МПК А 61 В 3/08
Бюлетень № 2 від 25.01.2013.

Формула корисної моделі:

1. Діагностична лінійка мікропризмових компенсаторів косоокості, яка відрізняється тим, що складається з шістьох симетричних мікропризмових компенсаторів косоокості, які розміщені в одному корпусі, що дозволяє легко змінювати призматичну силу мікропризмового компенсатора косоокості на строго визначену величину в певному діапазоні і завдяки цьому підвищити зручність використання та достовірність вимірювань величини косоокості зору пацієнта.

2. Діагностична лінійка згідно п. 1, в якій кожний симетричний мікропризмовий компенсатор косоокості формується двома мікропризмовими елементами однакової призматичної дії.

3. Діагностична лінійка згідно п. 2, в якій мікропризмові елементи в кожному з компенсаторів косоокості герметично з'єднані в єдиний оптичний блок методом ультразвукового зварювання.

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

1. Корисна модель відноситься до медицини, зокрема, до офтальмології, і може застосовуватися для швидкого визначення кута косоокості при горизонтальній та вертикальній косоокості зору.

2. Відомий мікропризмовий пристрій для діагностики косоокості (В. В. Петров, М. М. Сергієнко, С. О. Риков, С. М. Шанойло, М. В. Шевколенко, А. А. Крючин, Є. Є. Антонов, Патент України № 25549 від 10.08.2007 р.), в вигляді мікропризмових планарних елементів Френеля – оптичних компенсаторів косоокості, що створюють діагностичний набір КК-42. Компенсатори з цього набору, який складається з 42 елементів призматичною дією від 0,5 до 30,0 призмових діоптрій (ПД), по черзі встановлюються в пробну офтальмологічну оправу, автоматично займають необхідне положення відносно осі зору і дають можливість точно вимірювати кут косоокості ока пацієнта. Однак, зазначений метод за своєю суттю не дозволяє швидко змінювати величину призматичної дії оптичних компенсаторів і тому не дозволяє провести експрес-діагностику косоокості, перш за все для малих дітей та важких хворих.

Для швидкої діагностики косоокості більш зручним виявився набір діагностичних лінійок оптичних компенсаторів косоокості (В. В. Петров, А. А. Крючин, С. О. Риков, М. М. Сергієнко, Є. Є. Антонов, С. М. Шанойло, М. В. Шевколенко, Патент України № 66105 від 26.12.2011 р.). Кожна із зазначених лінійок складається з 5 одинарних мікропризмових компенсаторів, рельєф яких герметично захищений спеціальними плоскими пластинками. Набір включає в себе 5 лінійок для діапазонів 1-5 ПД, 6-10 ПД, 12-20 ПД, 22-30 ПД і 30-50 ПД. Використовуються лінійки шляхом їх розміщення по черзі перед оком пацієнта в одному визначеному положенні, а саме рельєфом до пацієнта, строго перпендикулярно осі зору.

Діагностичні лінійки більш зручні для використання, ніж окремі компенсатори косоокості, тому що для діагностування потребується значно менший час. Однак, при помилковому використанні зазначеної традиційної лінійки в іншому положенні, а саме, рельєфом від пацієнта, виникає похибка в величині призматичної дії мікропризмових компенсаторів, яка для великих значень ПД може складати до 5,0 призмових діоптрій. Крім того, помилкові повороти лінійки вздовж її повздовжньої осі навіть на невеликі кути відносно перпендикулярного напрямку значно змінюють значення призматичної дії компенсаторів і вносять відповідні помилки в значення кута косоокості, що вимірюється за допомогою такої лінійки.

3. Задачею корисної моделі є створення діагностичної лінійки симетричних мікропризмових компенсаторів косоокості, використання якої підвищує швидкість, зручність та достовірність вимірювання величини кута косоокості зору пацієнта, при цьому оптичні характеристики пристрою практично не змінюються при повороті лінійки вздовж її осі на 5-10 градусів та не змінюються при розвороті лінійки на 180 градусів. Лінійка дозволяє швидко використовувати компенсатори різної оптичної сили в певному заздалегідь визначеному діапазоні, при цьому рельєф захищений від зовнішніх пошкоджень та забруднень.

4. Технічні характеристики об'єкту згідно з цією корисною моделлю більш детально характеризуються за допомогою фігур креслення:

4.1. Фіг.1. Схема формування симетричного компенсатора косоокості двома мікропризмовими елементами однакової призматичної дії;

4.2. Фіг.2. Похибка при повороті одинарної мікропризми вздовж осі залежно від величини призматичної дії ПД=2,0; 5,0; 10,0; 16,0 та 28,0;

4.3. Фіг.3. Похибка призматичної дії при повороті симетричної подвійної (криві 1–2) та одинарної (криві 3–4) мікропризми вздовж осі для ПД = 28,0:(криві 1,3 – розрахунки, криві 2, 4 – експеримент);

4.4. Фіг.4. Хроматичні ефекти при повороті подвійної симетричної та одинарної мікропризми вздовж осі для призматичної дії ПД = 28,0;

4.5. Фіг.5. Діагностична лінійка (I) симетричних компенсаторів косоокості: 1 – мікропризмовий компенсатор косоокості, 2 – корпус лінійки, 3 – заглиблення для компенсатора, 4 – знак маркування.

5. Задача корисної моделі вирішується таким чином, що кожний мікропризмовий оптичний компенсатор косоокості формується одночасно двома планарними мікропризмовими елементами однакової призматичної дії, причому пари елементів розміщуються рельєфами назустріч один одному (Фіг.1) і створюють таким чином симетричний мікропризмовий елемент.

Розрахунки свідчать, що для мікропризмових компенсаторів косоокості, які сформовані з традиційних одинарних мікропризмових елементів, при повороті елемента вздовж осі, що співпадає з напрямком мікрорельєфу, виникає істотна зміна величини призматичної дії елемента, яка призводить до відповідної похибки в вимірюваннях кута косоокості (Фіг. 2), при цьому величина похибки пропорційна значенню призматичної дії і для ПД = 20–30 може сягати 3–5 ПД. В той же час експериментальні та розрахункові дані показують, що для випадку, коли відповідна величина призматичної дії оптичного компенсатора косоокості створюється двома однаковими мікропризмовими елементами згідно з запропонованим пристроєм, зміна величини призматичної дії і майже в чотири рази менша (Фіг. 3).

Зрозуміло, що при розвороті симетричного компенсатора на 180 градусів величина призматичної дії не змінюється, що впливає з самого принципу формування компенсатора з двох однакових симетричних елементів і тому елемент є дійсно симетричним

стосовно його розвороту на 180 градусів. Змінюється лише напрям призматичної дії, що зокрема є корисним при визначенні напрямку горизонтальної косоокості зору.

Результати розрахунків також свідчать, що хроматичні ефекти, які впливають на чіткість зорового образу та на відповідну гостроту зору, однакові для одинарних та для подвійних симетричних елементів (Фіг. 4) і залежать лише від величини призматичної дії елемента.

В запропонованому пристрої кожний симетричний мікропризмий компенсатор має круглу форму та виготовляється з спеціальної пластмаси, прозорої для видимого спектрального діапазону. Два елементи в компенсаторі герметично з'єднані один з одним методом ультразвукового зварювання таким чином, що мікрорельєф розміщується всередині пристрою, не контактує з зовнішнім середовищем і тому захищений від забруднень та пошкоджень в процесі експлуатації пристрою. Мікропризмові елементи розраховуються, виготовляються та з'єднуються в оптичний блок таким чином, щоб витрати світла всередині елемента були мінімальними.

Крок мікрорельєфу всіх мікропризмових елементів становить $W = 600$ мкм, який є оптимальним для зменшення дифракційних ефектів та виключення дискретизації зображень. Діаметр компенсаторів $D = 30$ мм.

Група з 6 фіксованих симетричних мікропризмових компенсаторів косоокості формує відповідну діагностичну лінійку компенсаторів косоокості для певного діапазону зміни призматичної дії або визначення кутів косоокості (Фіг.5). Для цього окремі компенсатори (1) розміщуються в корпусі лінійки (2) в спеціальних заглибленнях (3). Напрямок призматичної дії компенсаторів зазначається на корпусі кожної лінійки спеціальним знаком (4) в вигляді трикутника.

Група з 5 запропонованих діагностичних лінійок складає діагностичний набір лінійок симетричних компенсаторів (ДНСК-1): три лінійки (I,II,III) – для вимірювання кутів горизонтальної косоокості та дві лінійки (Y, Y) - для вимірювання кутів вертикальної косоокості. Лінійки для горизонтальних та вертикальних вимірювань відрізняються кольором.

Кожна лінійка для вимірювань горизонтальних кутів може використовуватися в будь-якому положенні, тобто вершинами мікропризм до носу, або вершинами до скроні, шляхом розвороту лінійки на 180 градусів.

Для горизонтальних кутів косоокості сумарний діапазон зміни призматичної сили компенсаторів в наборі діагностичних лінійок становить 1,0-55,0 призмових діоптрій (ПД), при цьому для діапазону 1,0-10,0 ПД (лінійка I) номінали мікропризм становлять 1,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 та 10,0 ПД, для діапазону 12,0-25,0 ПД (лінійка II) номінали мікропризм становлять 12,0; 14,0; 16,0; 18,0; 20,0 та 25,0 ПД, а для діапазону 30,0-55,0 ПД (лінійка III) номінали мікропризм становлять 30,0; 35,0; 40,0; 45,0; 50,0 та 55,0 ПД.

Для вимірювань вертикальних кутів косоокості для зручності запропоновано використання окремих лінійок (Y) або (Y) для відхилення променів догори або донизу. Діапазон зміни призматичної дії лінійок для вимірювання кутів косоокості догори та донизу однаковий та становить 5,0-30,0 ПД, при цьому для лінійок (Y) та (Y) номінали окремих мікропризм також однакові та становлять 5,0; 10,0; 15,0; 20,0; 25,0 та 30,0 ПД.

Таким чином, корисна модель виконується в вигляді діагностичного набору ДНСК-1 для діагностики косоокості, який складається з п'яти діагностичних лінійок:

Діагностична лінійка (I) для вимірювань кутів горизонтальної косоокості для діапазону 1,0-10,0 ПД створена з шістьох симетричних мікропризмових компенсаторів косоокості оптичною силою 1,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 та 10,0 ПД.

Діагностична лінійка (II) для вимірювань кутів горизонтальної косоокості для

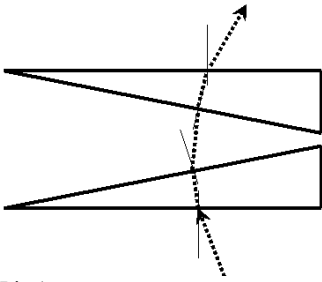
діапазону 12,0-25,0 ПД створена з шістьох симетричних мікропризмових компенсаторів косоокості оптичною силою 12,0; 14,0; 16,0; 18,0; 20,0 та 25,0 ПД.

Діагностична лінійка (Ш) для вимірювань кутів горизонтальної косоокості для діапазону 30,0-55,0 ПД створена з шістьох симетричних мікропризмових компенсаторів косоокості оптичною силою 30,0; 35,0; 40,0; 45,0; 50,0 та 55,0 ПД.

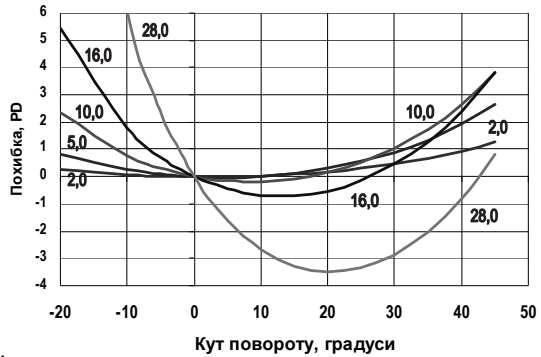
Діагностична лінійка (ІУ) для вимірювань кутів вертикальної косоокості в напрямку догори для діапазону 5,0-30,0 ПД створена з шістьох симетричних мікропризмових компенсаторів косоокості оптичною силою 5,0; 10,0; 15,0; 20,0; 25,0 та 30,0 ПД.

Діагностична лінійка (У) для вимірювань кутів вертикальної косоокості в напрямку донизу для діапазону 5,0-30,0 ПД створена з шістьох симетричних мікропризмових компенсаторів косоокості оптичною силою 5,0; 10,0; 15,0; 20,0; 25,0 та 30,0 ПД.

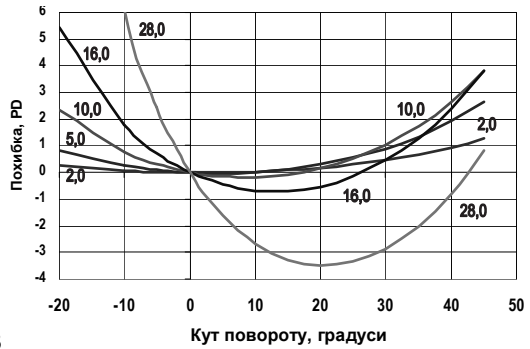
Довжина кожної лінійки L становить 214 мм, ширина корпусу Н=48 мм.



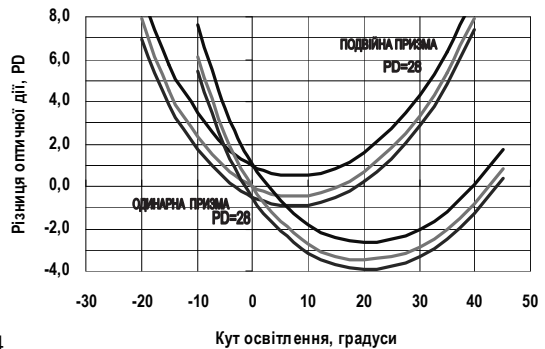
Фіг.1.



Фіг.2.



Фіг. 3



Фіг. 4

3D тренажеры и проблема бинокулярного зрения

Вячеслав Петров, Андрей Крючин, Семен Шанойло,
Евгений Антонов, Лариса Бутенко

8th Int. Conf. WCIS-2014. Tashkent, Uzbekistan. 25-27 Nov. 2014.

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня обычным является трехмерное кино (3D кино), активно входит в наш быт 3D телевидение, совсем немного лет быстро развивающемуся направлению стереоскопических или 3D тренажеров. В тоже время, достаточно большая часть населения очень болезненно воспринимает объемные видео новшества. Фактически только сейчас обратили внимание на то, что от трех до пяти процентов людей (этот процент колеблется в разных странах) не имеют бинокулярного зрения, а это означает, что эти люди не имеют права быть пилотами, водителями-профессионалами, военными, операторами сложных технологических установок. По сути, такие люди воспринимают внешний мир намного менее интересным, чем он есть на самом деле.

Основной причиной отсутствия бинокулярного зрения является косоглазие (страбизм) [1]. Если косоглазие не вылечить в раннем детстве (до 5-6 лет), то мозг практически полностью исключает слабый глаз из процесса формирования объемного изображения и человек, имея два физиологически здоровых глаза, фактически становится одноглазым. Это заболевание называется амблиопией или «ленивый глаз».

Очевидно, что это очень большая проблема для конкретного человека. Насколько она велика, показывает социологический опрос, проведенный на сайте Американского общества педиатрии и страбизма. На вопрос – согласны ли Вы отдать 20 лет жизни чтобы не быть косоглазым – более 70 процентов ответили согласием.

В средние века косоглазие воспринималось, как кара Божия. Да и для общества такой большой процент фактически одноглазых людей является очень большой социальной и, соответственно, экономической проблемой. Глаз является одним из органов человека и, согласно данным страховой медицины, потеря одного органа человеком снижает его трудоспособность на 30 %. Легко посчитать, что при 3-5 процентах больных, экономические потери для государства могут составить около одного процента экономического потенциала страны.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Самый первый весомый вклад в проблему лечения косоглазия сделал французский естествоиспытатель Жорж Луи Леклер де Бюффон (1707–1788). В своем фундаментальном труде «Естественная история», первые 3 тома которой вышли в 1749 году, ученый сформулировал важную мысль, что косоглазие – это не кара Божия, а болезнь. Для её лечения необходимо закрывать здоровый глаз повязкой, чтобы дать возможность тренироваться больному глазу. Так родился «метод окклюзии», который до сегодняшнего времени широко применяют практически во всех странах мира. Метод является наиболее щадящим для здоровья ребенка, но всего лишь для нескольких процентов детей достигается полноценный результат.

Современные детские офтальмологи очень интенсивно занимаются проблемой лечения косоглазия, среди глазных болезней косоглазие стоит на втором месте после

близорукости (миопии). С древнейших времен косоглазием страдают люди и животные. Наиболее известными историческими личностями, страдавшими косоглазием, являлись апостол Павел, император Нерон, президент Линкольн, певица Барбара Стрейзанд, супруга Пушкина Наталия Гончарова и многие другие.

Важнейшим моментом является знание того, что косоглазие, в отличие от многих других заболеваний, само не проходит и требует обязательного лечения. Современная медицина насчитывает до 250 видов косоглазия и все они приводят к тому, что мозг не может с помощью мышц направить оси глаз в одну точку. Положением глазного яблока управляют 6 мышц и самой распространенной причиной косоглазия является неспособность одной или несколько мышц глаза эффективно управлять положением глазного яблока в связи с тем или иным заболеванием этих мышц, или в связи поражением нервной системы глаза. В результате, если оптическое изображение формируется на сетчатке на расстоянии большем, чем 3-5 призматических диоптрий от центра сетчатки, мозг не в состоянии выработать сигналы для управления мышцами глаз.

Сегодня детская офтальмология [1] основные усилия направляет на то, чтобы оптимизировать систему глазных мышц путем удлинения, укорочения или переноса точек крепления к глазному яблоку одной или нескольких мышц. Для этого используются классические хирургические технологии, воздействие на мышцы электромагнитным импульсом, лазерным излучением, инъекциями препарата ботокс, иглоукалыванием и другими средствами. Практически все они связаны с применением наркоза для детей, однако до 5 лет применение наркоза является опасным для малышей в связи с возможностью неврологических расстройств.

Важнейшим фактором в этой проблеме является то, что формирование органов слуха и зрения у детей завершается в возрасте 5-6 лет. Поэтому ребенок, не слышавший речь и не научившийся говорить до 6 лет, уже не сможет научиться полноценно говорить никогда. Аналогично и со зрением: если у ребенка не будет до 5 лет сформировано полноценное зрение и тем самым будет дана возможность мозгу выработать функцию фузии, т.е. формирования бинокулярного зрения, то ребенок останется фактически одноглазым на всю жизнь. Честные хирурги-офтальмологи даже на своих сайтах пишут, что хирургическое устранение косоглазия у взрослых не приводит к формированию бинокулярного зрения.

В связи с возможностью появления неврологических проблем и с учетом того, что в возрасте 4-6 лет мозг еще не выработал устойчивой функции фузии, иногда приходится проводить 3-5 операций, поэтапно снижая величину косоглазия.

В целом в настоящее время решение проблемы косоглазия находится по сути все еще в начальной стадии. В США в год делается около 800 тысяч операций в связи с лечением косоглазия, однако у детей и у взрослых процент больных косоглазием остается практически одинаковым и составляет около 3 процентов.

НАШ ПУТЬ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

Основная задача состоит в том, чтобы максимально большому количеству маленьких детей обеспечить правильное формирование бинокулярного зрения. Суть нашего метода решения этой проблемы состоит в том, чтобы в раннем возрасте, когда у ребенка начинается формирование фузии, т.е. в 2-3 года, обследовать глаза и изготовить очки, которые исправляют все недостатки обоих глаз. Необходимо провести одновременно призматическую, сферическую и цилиндрическую коррекцию. Это позволяет сформировать на макулах обоих глаз максимально качественное изображение. Мозг, получив полноценные сигналы сетчаток глаз, вырабатывает нормальные сигналы для управления мышцами, тренирует их и, как правило, через 6-8 месяцев приводит их в

норму. На протяжении этого времени в мозгу формируется функция фузии. В течение процесса лечения очки могут 1-2 раза корректироваться, отслеживая изменение параметров растущего глаза. Как правило, процесс лечения не превышает один год и более чем в 90 процентов случаев процесс лечения завершается успешно. Если же мышцы не пришли в норму, то приходится делать всего одну операцию, которая значительно чаще приводит к успеху, так как в мозгу функция фузии уже сформирована.

Для реализации этой идеи нужно было решить две проблемы:

1. Создать комплекты диагностической аппаратуры, а также технологию и оборудование для индивидуального изготовления нескольких тысяч сферо-цилиндропризматических очков в год для всех детей Украины.
2. Создать тренировочные центры и коллективы офтальмологов для широкого распространения предложенной передовой методики лечения косоглазия в Украине и других странах.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОПРИЗМЕННЫХ СТРУКТУР

Формирование прецизионных микропризменных структур различного назначения на первом этапе осуществляется методом так называемого "алмазного" резания [2], когда необходимый микрорельеф на плоской поверхности металлических дисков-оригиналов создается с использованием алмазных резцов. Конструкция разработанной станции для подготовки алмазных резцов и общий вид установки для нанесения микрорельефа методом алмазного резания показаны на рис.1.

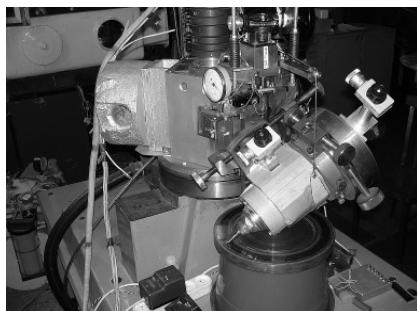


Рис.1. Технологическое оборудование для изготовления оригиналов микропризменных структур

На последующих этапах используются разработанные в институте методы гальванического выращивания соответствующих рабочих матриц из никеля. Изготавливаются конечные изделия методами термопрессования и литья под давлением. В последнее время акцент сделан на повышении качества микропризменных изделий с целью существенного улучшения их рабочих характеристик. Сегодня точностные требования при создании микрорельефа измеряются угловыми секундами при зеркальном качестве всех рабочих поверхностей. Для достижения этого были предложены и реализованы соответствующие методы оптимизации и контроля параметров микропризменных элементов, в том числе, непосредственно в процессе резания.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ МИКРОПРИЗМЕННЫЙ НАБОР КК-42

При разработке микропризменных элементов для офтальмологии задача состоит в создании совершенных оптических приборов, которые обеспечивают преломление луча света на строго определенный угол с максимально качественным изображением

при минимальных потерях светового потока. Эти задачи нами были успешно решены. В результате был разработан, изготовлен и зарегистрирован в Минздраве Украины (свидетельство № 8891 от 05.10.2009 г.) диагностический набор оптических компенсаторов косоглазия КК-42, который состоит из 42 плоских микропризменных линз – компенсаторов косоглазия с призматическим действием от 0,5 до 30,0 призмных диоптрий (*PD*), который сегодня с успехом используется в офтальмологической практике [2-3]. Общий вид набора и конструкция отдельного компенсатора иллюстрируется рис.2.

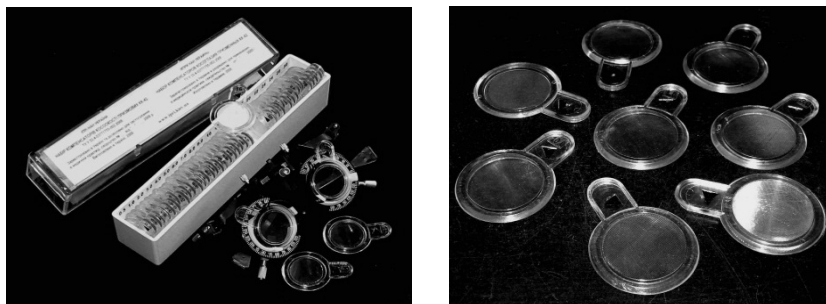


Рис.2. Общий вид диагностического набора КК-42

Каждая микропризменная линза представляет собой диск круглой формы из прозрачной пластмассы, который по своим размерам соответствует держателю линз пробной офтальмологической оправы. Одна сторона диска плоская, а вторая имеет специальный микропризменный рельеф, который обеспечивает отклонение луча и создает необходимую оптическую силу компенсатора. Герметичность конструкции компенсатора позволяет в процессе эксплуатации проводить многократную санитарную обработку, дезинфекцию и чистку стандартными средствами без повреждения и загрязнения микрорельефной структуры.

Точность изготовления микропризм Френеля очень высокая и характеризуется предельным отклонением полученного призматического действия от номинала, которое в зависимости от величины диоптрийности составляет $\pm 0,05 PD$ для призм от 0,5 до 5,0 $PD \pm 0,1 PD$ для призм от 5,0 до 15,0 PD и $\pm 0,15 PD$ для призм от 15,0 до 30,0 PD .

Технология изготовления компенсаторов обеспечивает также их высокое оптическое качество. Коэффициент светопропускания каждого компенсатора не ниже 80%. Разработанные изделия имеют значительные преимущества перед имеющимися аналогами по диапазону измерений, удобству и достоверности диагностирования и лечения благодаря высокой точности изготовления и полной герметизации микрорельефа.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ НАБОР ЛИНЕЕК КОМПЕНСАТОРОВ КОСОГЛАЗИЯ

Для удобства применения компенсаторов косоглазия были разработаны и изготовлены наборы диагностических линеек компенсаторов косоглазия ДНСК-1. Особенностью является то, что оптические компенсаторы в этих линейках формируются двумя одинаковыми планарными микропризменными элементами, расположенными рельефами навстречу друг другу, в результате чего величина призматического действия компенсатора практически не меняется при повороте линейки вдоль ее оси.

Расчетные и экспериментальные данные свидетельствуют [4], что изменение величины призматического действия при повороте призм почти в четыре раза меньше для

случая, когда соответствующая величина призматического действия оптического компенсатора создается двумя одинаковыми микропризмными элементами (рис. 3).

Полученные результаты [5] однозначно свидетельствуют о том, что симметричные компенсаторы косоглазия действительно могут обеспечить более точные результаты измерений углов косоглазия методом призмной скиаскопии с использованием диагностических линеек микропризм. Поэтому в последнее время диагностические линейки формируются исключительно с применением симметричных компенсаторов.

Рис. 3. Сравнительные характеристики симметричной сдвоенной (кривые 1–2) и одинарной (кривые 3–4) микропризмы с призматическим действием $PD = 28,0 \Delta$: (кривые 1,3 – расчеты, кривые 2,4 – эксперимент)

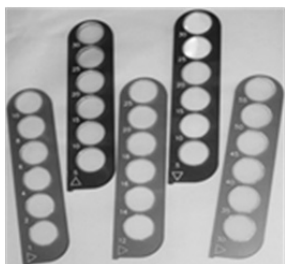
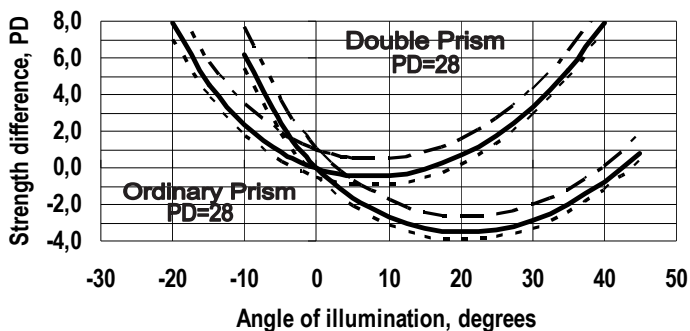


Рис. 4. Набор диагностических линеек компенсаторов косоглазия призмных ДНСК-1

Линейки для измерения горизонтальных углов имеют компенсаторы таких номиналов призматического действия: (I) – 1, 2, 4, 6, 8, 10 призмных диоптрий; (II) – 12, 14, 16, 18, 20, 25 диоптрий; (III) – 30, 35, 40, 45, 50, 55 диоптрий.

Линейки для измерения вертикальных углов включают в себя такие компенсаторы: (IV) – (вверх) и (V) – (вниз) 5, 10, 15, 20, 25, 30 диоптрий;

КОМБИНИРОВАННАЯ МИКРОПРИЗМЕННАЯ ЛИНЗА

Известно, что детское косоглазие обычно сопровождается и другими дефектами зрения. Поэтому дальнейшим развитием работ по диагностике косоглазия явилась разработка технологии изготовления комбинированных призмo-сферо-цилиндрических линз [6], соединяющих в себе характеристики цилиндрических, призматических и сферических, в том числе астигматических, линз. Конструкция такой линзы и принцип ее действия схематически показаны на рис.5.

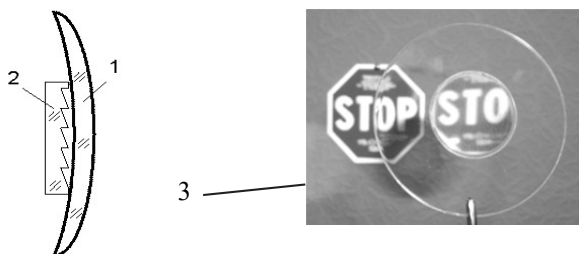


Рис. 5. Призмo-сферо-цилиндрическая линза комбинированного действия: 1 – сферо-цилиндрическая линза; 2 – пластинка с микропризмным рельефом; 3 – действие комбинированной линзы.

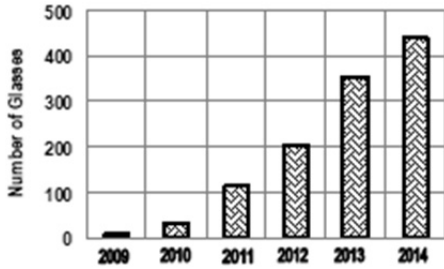


Рис. 6. Количество изготовленных очков год в 2009-2014 гг.

ментов: сферическая линза с оптической силой в диапазоне от $-6,0$ до $+6,0$ диоптрий, цилиндрическая – до 2,5 диоптрий и микропризма с призматическим действием от 0,0 до 30,0 PD. Статистика процесса изготовления лечебных очков с комбинированными ПСЦ линзами приведена на рис. 6.

Несколько последних лет наблюдается определенная позитивная тенденция к увеличению количества заказов на очки со сложными призматическими ПСЦ линзами. Заметно расширилась и география использования микропризменных структур для диагностики и лечения косоглазия.

Наш опыт изготовления лечебных очков с комбинированными ПСЦ линзами на примере Украины показывает, что своевременное применение лечебных очков можно заметно улучшить формирование бинокулярного зрения у маленьких детей возрастов 3–5 лет. Так, по данным одной из офтальмологических клиник г. Харькова у 95,5 % детей с косоглазием без хирургического вмешательства с использованием изготовленных в нашем институте призматических очков сформировалось нормальное зрение. Поэтому путь применения призматических линз и очков в раннем возрасте несомненно позволит решить проблему формирования бинокулярного зрения не только в Украине, но и масштабах всей планеты.

Работы в области диагностики косоглазия и формирования бинокулярного зрения рассматривались на заседании Президиума Национальной академии наук Украины в 2012 году и на двух заседаниях Президиума Национальной Академии медицинских наук Украины в 2012 и 2014 гг. Работы коллектива ученых и медиков с участием авторов в этой области в 2013 году были удостоены Премии Кабинета Министров Украины за разработку и внедрение инновационных технологий.

Сегодня работы института по диагностике и лечению дефектов зрения направлены на разработку технологий компенсации хроматических явлений в микропризменных устройствах и создание более совершенных ахроматизированных композитных дифракционно-рефракционных микропризменных структур [7-8]. Кроме того, учитывая большое социальное значение проблемы корректного формирования бинокулярного зрения, необходимо решить техническую задачу обеспечения детей с косоглазием недорогими высококачественными линзами и очками, при этом конечная цена изделий не должна превышать порядка 100 долларов США.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданы технологии и оборудование для изготовления микропризменных элементов Френеля оптического качества для офтальмологии. Разработаны диагностические наборы микропризменных компенсаторов косоглазия КК-042 и линейки симметрич-

Конструктивно такие комбинированные линзы представляют собой стандартную сферо-цилиндрическую линзу (1) из поликарбоната или акрила, к внутренней поверхности которой методом ультразвуковой сварки герметично приваривается рельефом внутрь микропризма (2) необходимого призматического действия [6]. Сегодня призматический элемент (ПСЦ) линзы и соответствующие лечебные очки изготавливаются нами индивидуально по рецепту врачей в следующей комбинации составляющих эле-

ных компенсаторов ДНСК-1 для диагностики косоглазия, а также комбинированные призма-сферо-цилиндрические линзы для лечения сложных дефектов зрения. налажено производство диагностических наборов и комбинированных линз и соответствующих очков для лечения косоглазия. Созданы предпосылки для массового внедрения технологии формирования бинокулярного зрения. Все разработки института являются оригинальные и защищены патентами Украины.

Благодарности

Авторы благодарны нашим многолетним партнерам – специалистам Центра микрохирургии глаза (г. Киев, Украина) и Института глазных болезней и тканевой терапии (г. Одесса, Украина) за разработку медико-технических требований к микропризменным офтальмологическим структурам, подготовку методик диагностики и лечения косоглазия с помощью микропризм, а также помощь в широком внедрении разработанных оптических устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кански Дж. Клиническая офтальмология / Дж. Дж. Кански. М.: Логосфера. 2006. 744 с.
2. Петров В.В. Технология изготовления и методика применения в офтальмологии микропризменных элементов Френеля / В.В. Петров, Н.М. Сергиенко, С.А. Рыков, Е.Е. Антонов, С.М. Шанойло, М.В. Шевколенко // Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2008. Т.10, № 3. С.5-17.
3. Петров В.В. Опыт изготовления и применения сферо-цилиндро-призматических очков для лечения косоглазия / Петров В.В., Шанойло С.М., Бутенко Л.В. // Тезисы Научно-практической конференции офтальмологов с международным участием "Филатовские чтения" 26-27 мая, 2011 г., г.Одесса.
4. Патент 76872 України, А61В 3/08. Діагностична лінійка симетричних мікропризмових компенсаторів косоокості. Петров В.В., Крючин А.А., Риков С.А., Сергієнко М.М., Антонов Є.Є., Шанойло С.М., Шевколенко М.В. ІПРІ НАН України. № u 2012 05126, Заявл. 25.04.2012, Опубл. 25.01.2013, Бюл. № 2.
5. Петров В.В. Жесткие микропризмы Френеля для диагностики и лечения косоглазия / Петров В.В., Крючин А.А., Шанойло С.М., Антонов Е.Е., Бутенко Л.В. // Тезисы IX Всероссийской конференции "Федоровские чтения-2011", Москва, 22-24 июня 2011 г.
6. Патент 46750 України, А61В 3/08. Мікропризмова лінза комбінованої дії: Петров В.В., Крючин А.А., Риков С.О., Сергієнко М.М., Антонов Є.Є.; Мелліна В.Б., Шанойло С.М., Шевколенко М.В., ІПРІ НАН України. № u200904525, Заявл.07.05.2009, Опубл. 11.01.2010, Бюл. № 1.
7. Петров В.В. Хроматизм світла, дифракція та гострота зору в мікропризмових лінзах Френеля / В.В. Петров, Є.Є. Антонов, С.М. Шанойло // Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2010. Т.12, № 1. С.49-54.
8. *Optical Phenomena in Microprism Diagnostic Set KK-42* / Petrov V., Kryuchyn A., Antonov E., Lapchyk A., Shanoylo S. // Proc. General Congress on Optics "ICO-22". 15-18 August, 2011. Puebla, Mexico.

Оптические характеристики традиционных эластичных и новых жестких микропризм Френеля

В. В. Петров, Е. Е. Антонов, А. А. Крючин, С. М. Шанойло

Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2015. Т. 17, № 1. С. 3–15.

Исследована зависимость разрешения изображений, формируемых с помощью микропризмных элементов Френеля, от величины призматического действия таких элементов. Определены сравнительные оптические характеристики монопризм и микропризм различных производителей, усовершенствован алгоритм определения остроты зрения по разрешающей способности изображений.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

При использовании призм в офтальмологии всегда возникает вопрос об их влиянии на остроту зрения пациента. Сегодня однозначно установлено, что микропризмы снижают измеряемую остроту зрения, причем эффект увеличивается по мере роста силы призм.

Первым исследованием этого вопроса, которое сегодня уже стало классическим, является работа Верони-Тротман [1] (Нью-Йорк, США). Подобные исследования снижения остроты зрения V_c с призмами выполнила Шевколенко [2] из Центра микрохирургии глаза (г. Киев), а также Дембский [3] из Крымского центра реабилитации зрения. Недавно подробные исследования снижения остроты зрения при использовании микропризм компании «ЗМ» (США) и микропризм «Trusetal» компании «Optiker Greten Folienoptik» (Бремен, ФРГ) провели Гриффитс и Коттон [4] из университета г. Шеффилд (Великобритания).

Имеющиеся в литературе данные [1–4] получены традиционным для офтальмологии методом опроса пациентов, рассматривающих высококонтрастные тестовые офтальмологические таблицы. Понятно, что часть этого снижения связана с реальными нарушениями оптических функций органа зрения человека. Однако в этом снижении есть и определенная часть, обусловленная влиянием собственно призм, т.к. на разрешение формируемых призмами зрительных образов влияют дифракция и хроматизм белого света.

До сих пор такое разделение указанных эффектов не было проведено и не определена относительная доля влияния призм в регистрируемом снижении остроты зрения, хотя эти знания необходимы для правильного применения микропризм в практической страбологии.

Поэтому целью работы являлось исследование свойств монопризм и традиционных эластичных микропризм различных изготовителей, а также новых жестких микропризм, изготовленных в Институте проблем регистрации информации (ИПРИ) НАН Украины, с целью получения сравнительных оптических характеристик существующих сегодня офтальмологических призм и определения относительного влияния призм на регистрируемое снижение остроты зрения.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Ранее [5] нами был предложен метод измерения остроты зрения по разрешающей способности высококонтрастных тестовых штриховых изображений. Значения отно-

сительной разрешающей способности V_A , полученные этим методом, при определенной калибровке данных можно отождествить с остротой зрения V_C . Типовая схема измерений разрешающей способности исследуемых оптических объектов при помощи тестовых штриховых мир [5], которая установлена ГОСТ 15114–78, приведена на рис. 1. В нашей оптической системе [5] из типовой схемы измерений разрешающей способности был исключен конденсор (2) для более равномерного освещения всех элементов мира и матовое стекло (3) для повышения начальной контрастности изображений. Также не использовался микроскоп (7), и не было наблюдателя (8), вместо которых применялась электронная схема регистрации световых сигналов с помощью фотодетектора.

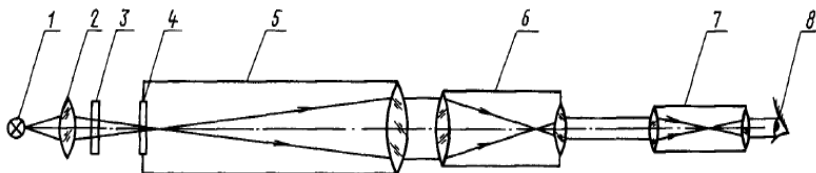


Рис. 1. Схема типовых измерений разрешающей способности оптических объектов согласно ГОСТ 15114–78: 1 – источник света; 2 – конденсор; 3 – матовое стекло; 4 – штриховая мира; 5 – коллиматор; 6 – испытуемая оптическая система; 7 – зрительная труба; 8 – глаз наблюдателя

Одной из важнейших характеристик для определения остроты зрения является контрастность k_A оптотипов на тестовых офтальмологических таблицах, которая определяется следующим образом [6]:

$$k_A = \{(I_F - I_A)/I_F\} 100 \%, \quad (1)$$

где I_F – интенсивность фона таблицы, а I_A – интенсивность определенного оптотипа. Значения k_A зависят от освещенности таблиц E_T или яркости таблицы F_T . Установлено, что яркость F_T таблиц должна составлять не менее 160 кд/м^2 , что соответствует освещенности $E_T = (150\text{--}300) \text{ лк}$ [6], величина которой зависит от коэффициента отражения света от фона таблицы. Считается, что последующее увеличение значения F_T не влияет на величину контрастности изображения и остроту зрения. Стандартное значение контрастности тестовых таблиц k_A составляет 95–97 %.

Отметим, что в физике контрастность изображений определяется [7] несколько по-другому:

$$k_A = \{(I_F - I_A)/(I_F + I_A)\} 100 \%. \quad (2)$$

При этом величины (I_F и I_A) для светящихся объектов представляют собой яркости, а для изображений – освещенности поверхностей.

Понятно, что для предельных значений интенсивностей полученные согласно формулам (1) и (2) величины контрастностей k_A совпадают. Однако для промежуточных значений I_F и I_A величины k_A существенно различаются. График зависимостей от разности значений ($I_F - I_A$) величин k_{A1} и k_{A2} , вычисленных, соответственно, согласно формулам (1) и (2), приведен на рис. 2.

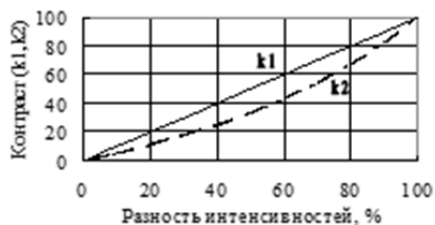


Рис. 2. Зависимость контрастности k_A от разности интенсивностей соседних оптотипов

В данной работе для всех расчетов контрастности k_A использовалось выражение (1), которое дает линейную зависимость k_A от величины $(I_F - I_A)$. Это выражение оказалось более удобным для измерений провала интенсивности между двумя соседними максимумами тестовых штрихов, а также для интерполяции данных и автоматизированной обработки результатов экспериментальных измерений слабых интенсивностей на уровне шумов.

В некоторых случаях исследования остроты зрения в офтальмологии проводятся при пониженной контрастности $k_A = (10-25) \%$ [8]. Действительно, большинство предметов внешнего мира имеет небольшую контрастность, поэтому исследование остроты зрения с высококонтрастными опто типами не является для глаза естественным.

Кроме того, некоторые первичные признаки заболеваний сетчатки и зрительного нерва, начальные стадии катаракты гораздо точнее диагностируются методом так называемой «визоконтрастометрии» [8] при пониженной контрастности опто типов.

При проведении визоконтрастометрии можно использовать тестовые таблицы с традиционными опто типами, но с контрастностью $k_A = (0,5-25,0) \%$ [9]. Однако для этого, как правило, применяются специальные тестовые решетки с различной контрастностью опто типов k_A и разной пространственной частотой этих изображений W_C .

Меняя опто типы решетки с различной пространственной частотой W_C и разной контрастностью k_A , можно получить пространственную частотно-контрастную характеристику (ЧКХ) глаза человека. Усредненная кривая ЧКХ для здорового глаза имеет максимум в области $W_C = (7-10)$ цикл/град. Предельное значение разрешения $\gamma = 1'$ для усредненного человеческого глаза соответствует точке $W_C = 30$ цикл/град. Сравнивая реально полученную кривую с усредненной кривой ЧКХ, можно зафиксировать начальную патологию зрения пациента, причем даже при высокой остроте его зрения для высококонтрастных тестов.

Сегодня разработаны и компьютерные методы визоконтрастометрии [10] с использованием синусоидальных тестовых решеток с ахроматическими и цветными параллельными полосами. Например, широко используется программа «Зебра» [10], с помощью которой можно тестировать световую чувствительность глаза при различной контрастности k_A тестовых изображений в зависимости от пространственной частоты этих изображений W_C .

Методы визоконтрастометрии в ряде случаев являются более информативными по сравнению с традиционной визометрией. Они позволяют обнаружить минимальные нарушения зрительных функций глаза даже при отсутствии пониженной остроты зрения. Однако такая диагностика, аналогично традиционной опто метрии, в офтальмологических исследованиях осуществляется путем опроса пациентов, рассматривающих определенные опто типы тестовых таблиц.

Наши исследования проводились с высококонтрастными тестовыми штриховыми объектами. Основной задачей наших экспериментов было получение сравнительных оптических характеристик монопризм и микропризм различных изготовителей в широком диапазоне призматического действия методом электронного регистрирования сигналов.

Особый интерес представляют исследования микропризм силой $PD < 10,0\Delta$ (Δ – призмные диоптрии). Как это отмечают все исследователи [1-4], для этих микропризм пациенты практически не замечают влияния призм на остроту зрения. Однако ясно, что такое влияние, безусловно, должно быть вследствие хроматизма и дифракции.

Другим стимулом является получение данных об оптических характеристиках разных микропризм в одном исследовании при использовании нового более точного метода измерений.

Важным вопросом при получении абсолютных значений измеряемого снижения остроты зрения V_C методом [5] из относительных значений разрешающей способности $V_A = R_A/R_{A0}$ является выбор эталонного элемента с разрешением R_{A0} для сравнения, острота зрения для которого полагается $V_{S0} = 1,0$.

В нашем распоряжении был диагностический набор монопризм прекрасного оптического качества, изготовленный компанией «Gulden Ophthalmics» (США), поэтому вопрос о выборе эталона был решен очень легко.

Монопризма «Gulden Ophthalmics» силой $PD = 0,5 \Delta$ и выполнила такую функцию. Полагалось, что острота зрения для этой призмы $V_C = 100 \%$, т.к. это всегда обнаруживают пациенты при традиционных офтальмологических исследованиях.

Кривая контрастности k_A для этой призмы практически совпадает с контрастностью изображений тестовых штрихов при отсутствии призм. Фактически, эта кривая и является аппаратной функцией нашего экспериментального стенда.

Необходимо заметить, что для малых номиналов призм $PD = (0,5-1,0) \Delta$ снижение разрешающей способности изображений тестовых штрихов для монопризм «Gulden Ophthalmics» (США), эластичных микропризм «3М» (США) и жестких микропризм ИПРИ НАН Украины оказалось одинаково небольшим. Поэтому выбор эталонной призмы малой силы практически не влияет на полученные конечные результаты по снижению разрешающей способности для призм больших номиналов.

Отметим, что заключительные измерения интенсивностей были проведены нами без использования цветных светофильтров с целью повышения точности измерений. В свою очередь этот факт позволил повысить разрешение тестовых изображений штрихов до расчетного значения $\gamma_A = 0,773347'$, которое соответствует пределу разрешения усредненного человеческого глаза.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

На первом этапе заключительных экспериментов были детально исследованы монопризмы «Gulden Ophthalmics» (США). Кривые контрастности k_A для этих монопризм в диапазоне действия $PD = (0,5-30,0) \Delta$ приведены на рис. 3.

Характеристики, аналогичные приведенным на рис. 3, являются исходными данными для получения величин разрешающей способности R_A и относительной разрешающей способности изображений $V_A = R_A/R_{A0}$, которые будем отождествлять с остротой зрения V_C при сравнении с имеющимися в литературе данными других авторов.

Рис. 3. Контрастность изображений тестовых штрихов миры МЗ–М5 для монопризм «Gulden Ophthalmics» (США)

Вообще, сравнение разрешающей способности изображений методом [5] желательно выполнять при заранее заданной величине контрастности, превышающей 20 %, например, для значений контрастности $k_A = (40-60) \%$, что существенно повышает точность всех измерений интенсивностей.



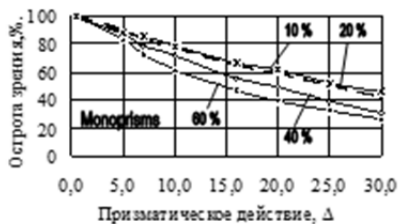


Рис. 4. Зависимость расчетных значений V_A от силы призм PD для разных уровней контрастности k_A

тестовых штрихов γ_S для призм малого $PD = (0,5-10,0)$ Δ и большого $PD = (20,0-30,0)$ Δ призматического действия.

Поэтому для максимальной идентичности данных по разрешающей способности изображений V_A , полученных электронным способом, и величин остроты зрения V_C , полученных с помощью тестовых офтальмологических таблиц, основные измерения разрешающей способности тестовых изображений были нами все же выполнены для значений контрастности $k_A = 20\%$, вычисленных согласно (1).

Таким образом, методика определения относительной разрешающей способности V_A иллюстрируется рис. 5 и сводится к следующему.

В фокусе коллиматора оптической системы экспериментального стенда размещается выбранный элемент тестовой миры и для точек ($k01, k02$) изображения элемента на экране определяется его начальная контрастность k_0 . Это значение k_0 должно быть не менее 95–97 %, что свидетельствует о (1) хорошей фокусировке изображения и (2) правильной юстировке щелевой диафрагмы фотодетектора, которая должна располагаться строго параллельно изображениям тестовых штрихов миры.

Затем на оси оптической системы располагается эталонная призма, и для нее путем смены элементов M_H тестовой миры регистрируется кривая контрастности $k_A = f(M_H)$. Из полученной кривой k_A для уровня контрастности $k_A = 20\%$ для точки ($k1$) определяется величина углового разрешения изображения тестовых штрихов R_{A0} для эталонной призмы.

После этого на оптическую ось стенда устанавливается исследуемая призма. Снова, аналогичным образом, регистрируется кривая контрастности, и для этой призмы подбирается такой элемент M_k тестовой миры, для которого контрастность $k_A = 20\%$. Величина углового разрешения R_A для этого элемента M_k в точке ($k2$) и используется для расчета относительной разрешающей способности $V_A = R_A/R_{A0}$ для данной призмы.

При помощи указанной методики были исследованы все микропризмы призматическим действием от 0,5 Δ до 30,0 Δ из модернизированного диагностического набора КК-42 ИПРИ НАН Украины (№ 021, дата изготовления – февраль 2013 года), а также все имеющиеся у нас в наличии гибкие микропризмы компании «ЗМ»

Расчеты величин V_C по полученным значениям R_A для разных уровней контрастности k_A были нами выполнены для монопризм «Gulden Ophthalmics» (США). Полученные результаты показаны на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что существует зависимость величины V_C от параметра k_A , для которого эти величины V_C были рассчитаны. Зависимость особенно заметна для монопризм с большим призматическим действием. Объяснение этого эффекта лежит в разном характере зависимости контрастности k_A от разрешения



Рис. 5. Схема определения разрешающей способности

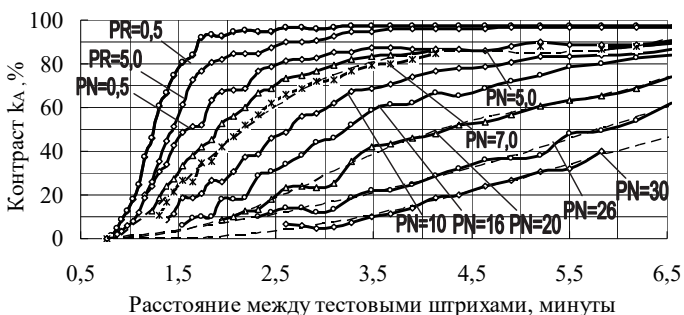
(США) призматическим действием от 7,0 Δ до 25,0 Δ. Результаты измерений контрастности k_A для этих микропризм приведены на рис. 6, 7.

Рис. 6. Контрастность изображений тестовых штрихов миры МЗ–М5 для микропризм «ЗМ» (США)



Далее из полученных зависимостей $k_A = f(M_H)$ для уровня контраста $k_A = 20\%$ для каждой из исследованных призм рассчитывались значения R_A , которые на конечном этапе использовались для расчетов относительной разрешающей способности $V_A = R_A/R_{A0}$. Эти значения и отождествлялись с остротой зрения V_C .

Рис. 7. Контрастность изображений тестовых штрихов миры МЗ–М5 для микропризм ИПРИ НАН Украины



Полученные после калибровки стенда значения остроты зрения $V_A = V_C$ приведены на рис. 8 для монопризм «Gulden Ophthalmics» (США) (кривая 1), гибких пленок с микрорельефом «ЗМ» (США) (кривая 2) и микропризм ИПРИ (Украина) (кривая 3).

Приведенные данные свидетельствуют о том, что все исследованные призмы снижают остроту зрения V_C во всем диапазоне изменения их призматического действия.

Наименьшее снижение (кривая 1) получено для монопризм «Gulden Ophthalmics» (США), что и следовало ожидать. Жесткие микропризмы ИПРИ (Украина) с защищенным герметизированным микрорельефом также проявили хорошее оптическое качество (кривая 2). Наибольшее снижение остроты зрения зафиксировано для гибких пленок «ЗМ» с открытым микрорельефом (кривая 3), что также не удивительно.

На рис. 9 приведены полученные ранее методом опроса пациентов данные исследований

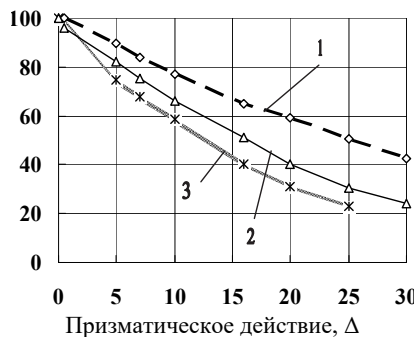


Рис. 8. Острота зрения в зависимости от призматического действия призм: 1 – монопризмы «Gulden Ophthalmics» (США); 2 – микропризмы «ЗМ» (США); 3 – микропризмы ИПРИ (Украина)



Рис. 9. Острота зрения в зависимости от призматического действия для некоторых призм

Действительно, кривая 6 представляет собой данные по минимальному снижению разрешающей способности, поскольку монопризмы «Gulden Ophthalmics» (США) являются наилучшими из всех нами исследованных. Кроме того, данные рис. 9 (кривая 6) на рис. 8 являются единственными, которые получены электронным способом с помощью фотодетектора без участия пациентов и их субъективных ощущений, которые влияют на результаты измерений остроты зрения.

Однако некоторые полученные другими авторами [1, 2] экспериментальные значения V_S (кривые 1, 2, 5) располагаются выше указанной кривой 6 (рис. 9). Это может объясняться, по крайней мере, двумя причинами:

- низкой точностью используемого указанными авторами метода определения остроты зрения путем опроса пациентов, или же наоборот;
- высокой эффективностью человеческого глаза, как детектора зрительных образов. В последнем случае кто-то из специалистов-офтальмологов в будущем должен объяснить приведенные факты.

Отметим главное в полученных нами экспериментальных данных. Впервые установлено снижение разрешающей способности или остроты зрения для призм небольшого призматического действия. Указанное снижение было установлено как для микропризм, так и для монопризм. Ранее это не было полностью очевидно.

С ростом призматического действия микропризм величина остроты зрения V_C заметно снижается. Например, снижение остроты зрения V_C для микропризмы $PD = 30,0 \Delta$ «Gulden Ophthalmics» (США) составляет почти 57 %. Этот факт является прямым следствием хроматизма, поскольку для этой монопризмы отсутствует эффект дифракции на микрорельефе, в отличие от всех других микропризм, а также отсутствуют какие-либо оптические и механические дефекты, поскольку качество этой монопризмы очень высокое. Полученные данные еще раз подтверждают то, что причиной снижения разрешающей способности для призм является именно хроматизм белого света, величина которого совершенно одинакова как для монопризм, так и для микропризм, и зависит только от силы призмы.

Для всех исследованных микропризм снижение разрешающей способности более заметно по сравнению с монопризмами, поскольку кроме хроматизма для них в полной мере действует и дифракция. Нельзя также исключать и влияние оптических дефектов материала микропризм, а также дефектов и механических повреждений открытых рабочих оптических поверхностей некоторых микропризм.

остроты зрения V_S , выполненные Верони-Тротман [1] для гибких пленок «ЗМ» (кривая 1) и для жестких призм «ЗМ» (кривая 2), Гриффитс и Коттон [3] (кривая 3), Дембским [3] (кривая 4) и Шевколенко [2] (кривая 5).

Также на рис. 9 для сопоставления приведен полученный нами график значений V_S для монопризм «Gulden Ophthalmics» (США) (кривая 6), который дублирует кривую 1 на рис. 8.

Кажется очевидным, что выше кривой 6 (рис. 9) все экспериментальные точки для других призм, полученные опросом пациентов, располагаться не должны.

Эти соображения подтверждаются также результатами исследования оптических свойств микропризм при помощи лазера. На рис. 10 показано распределение интенсивности лазерного луча с длиной волны $\lambda = 0,532$ мкм после прохождения его через некоторые призмы номиналом $PD = 10,0 \Delta$. На рис. 11 показаны аналогичные данные для призм $PD = 25,0 \Delta$.

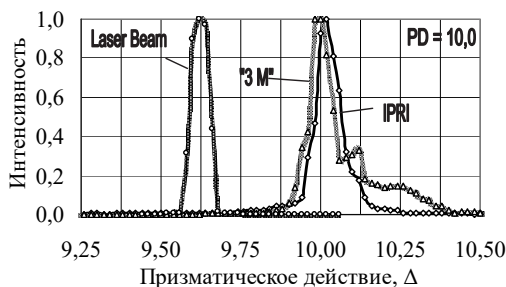


Рис. 10. Результаты прохождения лазерного луча через микропризмы $PD = 10,0 \Delta$

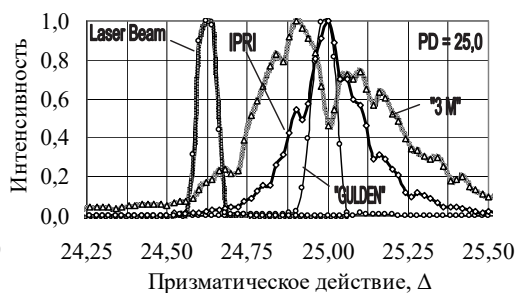


Рис. 11. Результаты прохождения лазерного луча через призмы $PD = 25,0 \Delta$

Призмы «Gulden Ophthalmics» (США) всех номиналов практически дублируют исходный профиль лазерного луча, что еще раз говорит о высоком оптическом качестве этих призм.

Микропризмы ИПРИ НАН Украины также показали достаточно высокое оптическое качество. Особенно это заметно при больших номиналах микропризм, поскольку при малых номиналах все исследованные микропризмы имеют достаточно удовлетворительное качество. Действительно, расширение лазерного пучка для исследованной микропризмы $PD = 25,0 \Delta$ ИПРИ НАН Украины составляет всего 0,5 призматических диоптрий, что полностью коррелирует с результатами наших расчетов величины зоны хроматизма.

Наибольшее расширение монохроматического пучка наблюдается для микропризм «3M» (США). Даже для призмы относительно небольшой оптической силы $PD = 10,0\Delta$ структура прошедшего луча оказывается более размытой, чем для микропризмы ИПРИ (Украина).

Расширение пучка на микропризме $PD = 25,0 \Delta$ компании «3M» (США) почти в 2 раза больше. В то же время шаг микрорельефа для этой призмы $W = 1075$ мкм существенно больше шага $W = 600$ мкм для микропризмы ИПРИ НАН Украины, что соответственно снижает влияние дифракции.

Возможно, это связано с особенностями конструкции призмы «3M» (США). Обратный угол для этой призмы составляет около $\beta = 10^\circ$, в то время как все микропризмы ИПРИ НАН Украины изготавливаются с обратным углом $\beta = (2-3)^\circ$. Меньший угол β не только снижает виньетирование, но и уменьшает долю рассеянного внутри призм проходящего света. Вышесказанное иллюстрируется рис. 12, на котором представлены фотографии профиля рельефа для указанных микропризм.

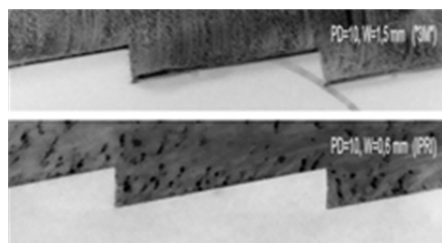


Рис. 12. Структура рельефа микропризмы $PD = 10,0 \Delta$ разных изготовителей

Отметим также, что данные о снижении остроты зрения, которые получены по разрешающей способности тестовых изображений, и данные, полученные путем обследования пациентов, разнятся, в основном, в области малых величин призматического действия. Поскольку в точности всех имеющихся сегодня в литературе данных о снижении остроты зрения сомнений ни у кого нет, этот факт еще раз говорит о высоких оптических свойствах человеческого глаза и способностях мозга различать разноцветные размытые вследствие хроматизма изображения оптотипов тестовых офтальмологических таблиц.

Фотодетектор таким свойством, конечно, не обладает. Он только регистрирует интенсивность светового потока или яркость поверхности в виде энергетических сигналов, хотя и с разной спектральной чувствительностью. Но именно вследствие этого точность предложенной электронной методики регистрации разрешающей способности гораздо выше традиционных методов исследований остроты зрения путем опроса пациентов.

Таким образом, полученные нами данные о снижении разрешающей способности высококонтрастных тестовых изображений для разных призм различных изготовителей особенно важны потому, что впервые они получены в одной серии измерений по единой новой методике, точность которой гораздо выше ранее применяемого метода с использованием тестовых офтальмологических таблиц.

Главный итог проведенных исследований состоит в выделении из общего снижения остроты зрения той ее части, которая обусловлена влиянием именно микропризм. Различие полученных величин снижения разрешающей способности микропризм и уменьшения остроты зрения пациентов, по-видимому, обусловлено уникальными оптическими свойствами человеческого глаза.

Целесообразно продолжить аналогичные исследования для низкоконтрастных тестовых оптотипов $k_A = (15-25) \%$. Для таких объектов, как и для высококонтрастных тестов, необходимо выделить долю снижения остроты зрения, за которую ответственны именно микропризмы вследствие хроматизма и дифракции световых лучей на микрорельефе.

ВЫВОДЫ

Предложен метод измерений разрешающей способности изображений с тестовыми штриховыми мирами. Преимуществом метода является возможность получения количественных характеристик оптического качества призм. Метод, несомненно, является более точным по сравнению с наблюдениями тестовых офтальмологических таблиц и не зависит от субъективных впечатлений исследуемых пациентов.

В интегральном снижении остроты зрения, которое регистрируется при традиционных исследованиях с помощью офтальмологических таблиц, впервые определена та ее часть, которая обусловлена свойствами собственно призм.

Вследствие высокой точности метода оказалось возможным исследовать эффект снижения разрешающей способности высококонтрастных тестовых изображений для призм малого призматического действия $PD = (0,5-10,0)\Delta$. Ранее считалось, что такие призмы практически не снижают остроту зрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Veronneau-Troutman S.* Fresnel Prisms and Their Effects on Visual Acuity and Binocularity / S. Veronneau-Troutman // *Trans. Am. Ophthalmol. Soc.* 1978. Vol. 78. P. 610–653.
2. *Шевколенко М.В.* Діагностика та планування хірургічного лікування співдружної ізотропії з малими кутами: автореф. дис. на здобуття ступеня канд. мед. наук / М.В. Шевколенко. К., 2011. 21 с.
3. *Дембський Л.К.* Сферопризматическая коррекция зрения, как фактор профилактики конвергентной осевой деформации и гипертензии глаза [Электронный ресурс] / Л.К. Дембський. – Режим доступа: <http://www.eyecenter.com.ua/>
4. *Griffiths H.J.* A Comparison of the effect of 3M fresnel prisms and trusetal prism foil on visual function / H.J. Griffiths, S.H. Cotton // *British and Irish Orthoptic Journal.* 2010. Vol. 7. P. 45–48.
5. *Антонов Є.Є.* Роздільна здатність і призматична дія мікропризмових елементів Френеля / Є.Є. Антонов // *Реєстрація, зберігання і оброб. даних.* 2013. Т. 15, № 2. С. 3–16.
6. *Лещенко И.А.* О системах и правилах определения остроты зрения / И.А. Лещенко // *Вестник оптометрии.* 2009. № 3. С. 54–58.
7. *Ландсберг Г.С.* Оптика / Г.С. Ландсберг. М.: Наука, 1976. 928 с.
8. *Современная офтальмология: Руководство*; под ред. В.Ф. Даниличева. [2-е изд.]. Санкт-Петербург: Изд-во «Питер», 2009. 688 с.
9. *US Patent 7,354,155*, МКИ А61В 03/02. Astigmatic Axis Independent Spatial Frequency and Contrast Sensitivity Target and Method / J.T. Holladay; заявл. 27.04.2003; опубл. 08.04.2008.
10. *Зрительные функции и их коррекция у детей: Руководство для врачей*; под ред. С.Э. Аветисова, Т.П. Кашенко, А.М. Шамшиновой. М.: Изд-во ОАО «Медицина», 2005. 872 с.

Design and Fabrication of Rigid Fresnel Prisms for Complex Treatment of Children Strabismus

Fu Ming-lei, Hu Wei-jie, Le Zi-chun, Manko D. Y., Antonov E. E., Kryuchyn A. A., Petrov V. V.

Acta Photonica Sinica. 2017. V. 46, N. 11. #1123003.

Abstract: Using of Fresnel prism technique have become important medical mean in strabismus treatment in children at home and abroad. However, related works concerning design, fabrication and testing for the Fresnel prisms were rarely reported in China. In this paper, the designing theory of the prisms was studied and the theory of calculating the transmittance of the rigid Fresnel prisms was derived. The transmittance of the prisms with different kinds of materials and different prism strength, measured in prism diopters (PD) units were numerically simulated. Simulation results showed that polymethylmethacrylate (PMMA) material had larger Abbe coefficient and lower material absorption rate compared with PolyVinylChloride (PVC). Then, based on the theoretical study, the stamps for the prisms were machined by diamond cutting method. It was verified that low-cost prisms can be fabricated from PMMA material and hot pressing method. At last, in order to test the PD of the Fresnel prisms samples, a PD testing system was constructed. Experimental results showed that the deviation between the tested PD and the theoretical PD of the low PD(10 Δ) prisms, medium PD (20 Δ) prisms and high PD (30 Δ) prisms were 0.013 Δ , 0.041 Δ and 0.014 Δ , respectively. The PD' deviations of samples were all within the national standard for the tolerance of medical prism. Hence, it was verified that the rigid prisms fabricated in this study had high precision to reflect the light and it provided a high-quality and low-cost product solution to compensate children's strabismus.

Keywords: rigid Fresnel prisms; strabismus; transmittance; prism diopters

INTRODUCTION

Strabismus is a common eye disease among children, and according to a survey, the incidence rate of strabismus in children reaches 5% [1]. Strabismus affects the physical and mental health of children seriously, so early treatment of it is very important [2]. Eyeglasses with rigid Fresnel prisms are prescribed in children aged at least two years, when, according to current theories, the active development of the visual system (including that of binocular interactions) takes place, which promotes the early formation of normal binocular connections long before the surgical intervention at adult age [3]. Some patients with strabismus are not suitable for surgical treatment due to medical reasons [4]. Therefore, it is a good medical solution for these cases to wear glass made of rigid or press-on Fresnel prisms for complex medical treatment in combination with another methods [4,5].

Compared to the traditional prisms, Fresnel press-on prisms have many advantages, such as light weight and easy to use [6,7]. There are two famous brands of Fresnel press-on prisms, namely "3M".USA) prisms and "Trusetal" prisms (Germany) [8]. 3M press-on prisms was made of PVC material [6,9]. PVC has a high refractive index, but it has small value of Abbe coefficient ($k_{AB} = 34$) [10], which means the dispersion phenomenon of PVC is relatively obvious. And the dispersion phenomenon will result in patient's acuity stepping down while wearing prism eyeglasses [6, 7, 11].

Institute for Information Recording, NAS of Ukraine firstly produced the rigid Fresnel prisms made of PMMA in 2009 [7]. Compared with PVC, PMMA has higher value of Abbe coefficient ($k_{AB} = 57.53$) and better transmittance in visible light [10]. Research group of Zhejiang University of Technology in collaboration with Institute for Information Recording, NAS of Ukraine have jointly studied and promoted the key techniques of rigid Fresnel prisms in China since 2014 [6, 10, 11]. Hence, we reported the research progress about the design, fabrication and testing for the prisms in China.

1 DESIGN AND NUMERICAL SIMULATION OF RIGID FRESNEL PRISMS

1.1 Device design

As shown in Fig.1 (a), a rigid Fresnel prism can be demonstrated as a disc, whose surface has a series of grooves. Fig.1 (b) shows the one dimensional structure of a rigid prism designed in the principle of Fresnel. It is completely determined by following parameters: refractive angle α , reverse angle β and relief pitch W . The value of angle α has determines the PD of a rigid Fresnel prism. The relationship of PD with α and the refractive index n of the material are given in section 1.2. Angle β impacts on the transmittance of the prisms and the optimal value of β is 2-3 degree [7]. There is diffraction phenomenon in the prisms and it is mainly caused by the small relief pitch W [8, 11], so the value of W could not be too small and the best value range is 600-800 μm [11].

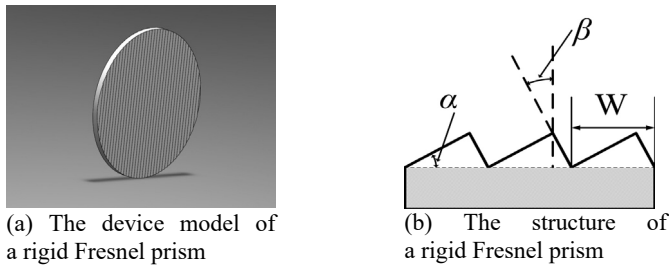


Fig. 1. The device model and the structure of a rigid Fresnel prism

1.2 Theoretical model of prism degree

There were two ways of wearing rigid Fresnel prisms, as Fig.2 shows, which were called OPS (Outward Prism Serrations, in Fig.2 (a)) and EPS (Eyeward Prism Serrations, in Fig.2 (b)) [12]. When light beam pass through OPS prism, it is deflected, and the relationship between the PD and angle α of prisms determined by Snell's law, which can be written as formulas (1) [12]:

$$PD_{OPS} = 100 * \tan(\sin^{-1}(n * \sin(\alpha - \sin(\frac{\sin(\alpha)}{n})))) \quad (1)$$

Similarly, for EPS prisms, the relationship between the PD and angle α of prisms can be written as formulas (2):

$$PD_{EPS} = 100 * \tan(\sin^{-1}(n * \sin \alpha) - \alpha) \quad (2)$$

PMMA was chosen as the material of rigid Fresnel prisms, so here n which is in the formula (1) is within the range of 1.48-1.50 for visible light [13]. When calculating, n usually equals 1.492[10]. Fig.3 demonstrates the relationship between the angle α and the PD of

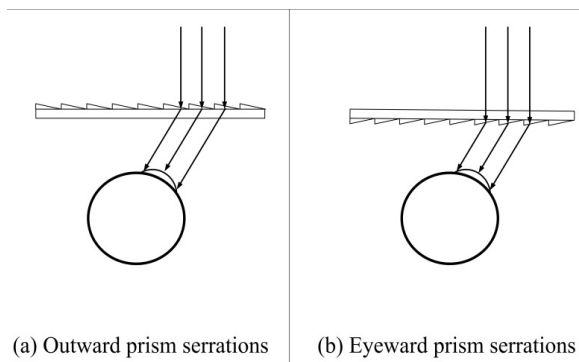


Fig.2 The way of wearing rigid Fresnel prism

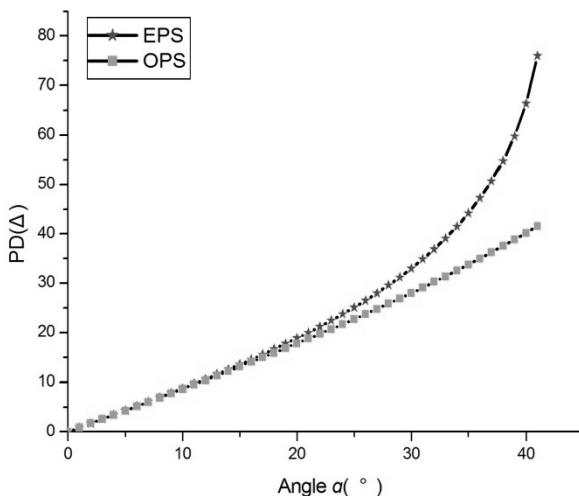


Fig.3 Relationship of PD versus the angle α for rigid Fresnel prisms

OPS and EPS. As shown in Fig.3, the PDs calculated in OPS way and in EPS way have obviously difference when the angle α is larger than 25° for the prisms made of PMMA.

Considering that high-prism-degree rigid Fresnel prisms in EPS way have obvious visual field loss [14], only the prisms in OPS was discussed in this paper. The values of angle α of OPS prisms for different PDs were calculated, as shown in Table 1.

Table 1: Angle α for different PDs of OPS rigid Fresnel prisms

OPS PD(Δ)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Angle α (gl)	2.33	4.65	6.96	9.25	11.51	13.74	15.94	18.09	20.20	22.26	24.27	26.23	28.13	29.98	31.77

1.3 Theoretical model of Transmittance

Transmittance is an important parameter of the rigid Fresnel prisms, and it is directly related to the loss of light, when light pass through the prisms. The loss of light can be divided

into two categories, which are the absorption and reflection of light by the surface of the prisms. Thickness of rigid Fresnel prisms is about 2.4 mm, and the absorption is ignored when considering the light loss due to low absorption coefficient equal to 0.02 cm⁻¹ in visible light spectral region [15].

Reflection of light by the surface of rigid Fresnel prisms can be divided into three parts.

The first part is caused by the reflection of face AB, as shown in Fig 4(b), and the loss rate of light in this case is characterized by k_1 . By using the Fresnel formulas, k_1 can be determined by the formula (3):

$$k_1 = 0.5 * (\tan^2(\theta) / \tan^2(2\alpha - \theta) + \sin^2(\alpha) / \sin^2(2\alpha - \theta)) \quad (3)$$

Where θ denoted the first deflection angle and α is the parameter of rigid Fresnel prisms, as shown in Fig 4(a).

The second part is caused by the reflection of face AC, as shown in Fig 4(c), and the loss rate of light in this case is characterized by k_2 . Similarly, k_2 can be written as follow:

$$k_2 = 0.5 * (\tan^2(\gamma - \theta) / \tan^2(\gamma + \theta) + \sin^2(\gamma - \theta) / \sin^2(\gamma + \theta)) \quad (4)$$

where γ denoted the second deflection angle, as shown in Fig 4(a).

The third reason of reflection is caused by the reflection or transmission of face BC. As shown in Fig 4(d), the light in the area BE did not contribute to the useful imaging. What's more, for rigid Fresnel prisms with high PD, the light reflected by face BC would cause the monocular visual confusion [10]. Therefore, the reflection or transmission of face BC also would cause light loss and the loss rate of light in this case can be characterized by k_3 and k_3 can be written as follow:

$$k_3 = (\tan \alpha * \tan \theta)(1 + \tan \alpha * \tan \theta) \quad (5)$$

Therefore, the transmittance of the prisms can be written as follows [9].

$$T = (1 - k_1)(1 - k_2)(1 - k_3) \quad (6)$$

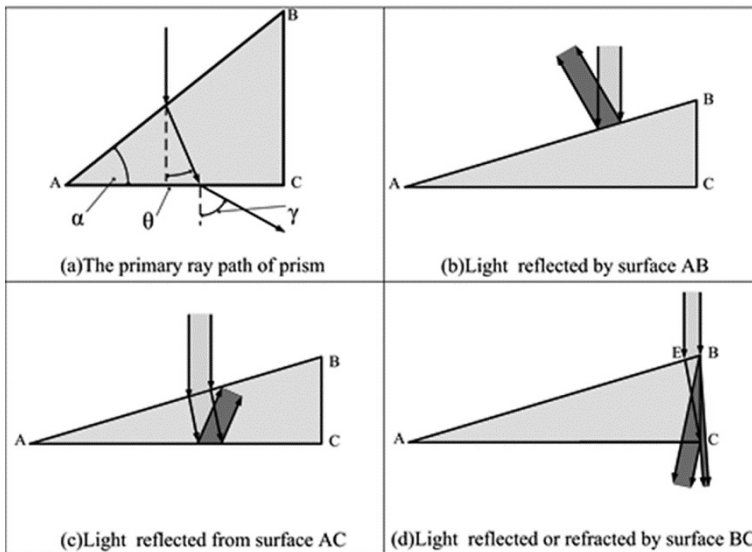
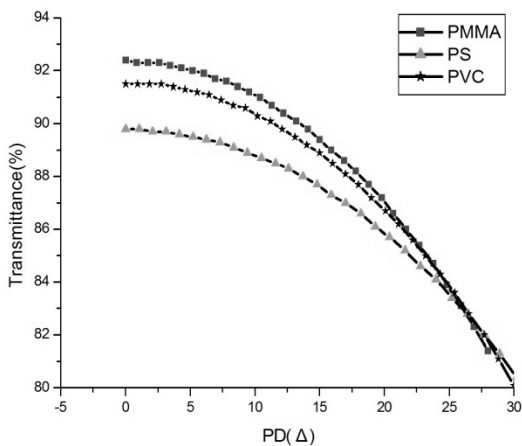


Fig.4. The beam path and the loss of light for relief of rigid Fresnel prisms



According to the formulas 3-6, the relationship between the transmittance and the PD can be calculated. As shown in Fig.5, as the value of PD increases, the transmittance of the prisms drops. In addition, the rigid Fresnel prisms made of PMMA have a higher transmittance compared with PVC and polystyrene (PS) material, when PD is not larger than 25Δ .

Fig.5 Relationship of transmittance with PD for rigid Fresnel prisms made of different materials

2. FABRICATION AND TESTING OF RIGID FRESNEL PRISMS

2.1. Fabrication the samples of rigid Fresnel prisms

A series of stamps for producing different PD rigid Fresnel prisms were fabricated. 7075 aluminum alloy was chosen as the material of stamps because of its appropriate mechanical properties and high thermal conductivity. The stamps were used to fulfill hot pressing of blank PMMA discs with small surface roughness. Therefore, ultra-precision machining (UPM) was applied to stamp machining. In UPM, diamond cutting has been proved to be an effective method because of its advantages such as high rigidity, high capability up to a few seconds of arc tool cutting edge, high thermal conductivity, low friction, and high wear resistance [16].

Fig.6 demonstrates way of fabrication the rigid Fresnel prisms. At first stage (Fig.6 (a)), the prepared PMMA blank disc is fixed on the base, which has mirror surface. At the second stage, as shown in Fig.6 (b), the surface of the PMMA blank disc is formed a series of grooves via thermal treatment at $T=180^{\circ}\text{C}$ and pressing ($P\sim 130\text{ kg/cm}^2$) at the same time. Demolding temperature of PMMA substrate is usually $50\text{--}60^{\circ}\text{C}$, but not more than 80°C [17], therefore, in the third stage, as shown in Fig.6 (c), when the temperature is gone down to 70°C , PMMA substrate is separated from the stamp. Finally, in the fourth stage, the sample of rigid Fresnel prism is ready, as shown in Fig.6 (d).

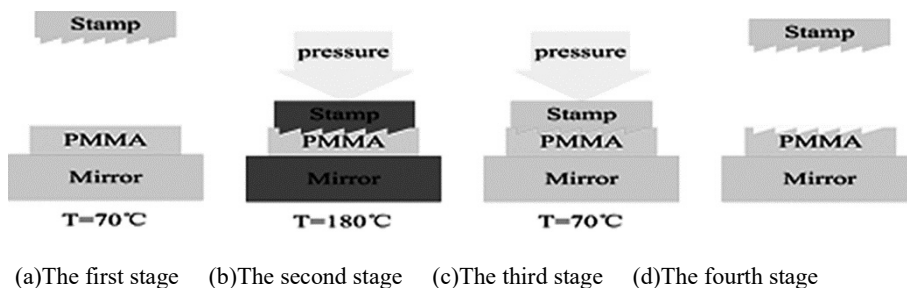
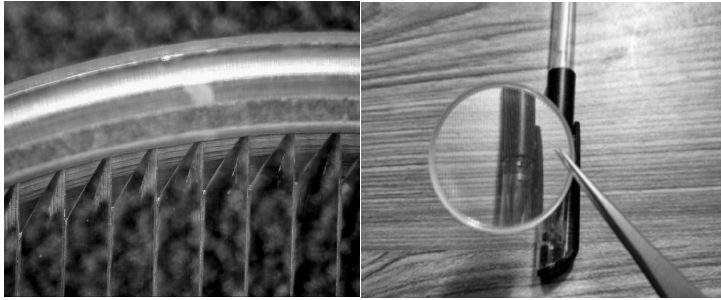


Fig.6. Working flow of fabricating the samples of the rigid Fresnel prisms by hot pressing

Fig.7 (a) is a partial magnification of the rigid Fresnel prisms. The prismatic action of a rigid Fresnel prisms is shown in Fig.7 (b). The sample demonstrates a good image shifting effect.



(a) partial magnification of the sample (b) the image shifting effect of the sample
 Fig.7 Sample of rigid Fresnel prism

2.2. Prism degree test system

To test the PD of samples, the testing platform was designed [18]. Fig.8 shows the schematic diagram of the testing platform, and Fig.9 is a picture of the testing platform that has been setup in the lab.

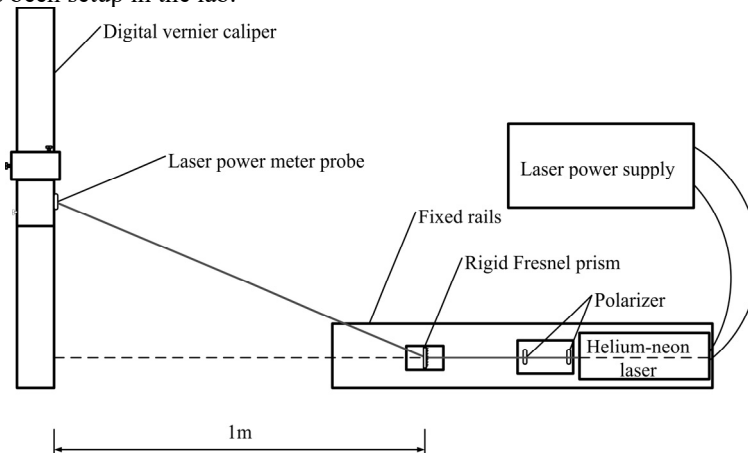


Fig.8 The model of the test system

The testing platform consists of six parts. Helium-neon laser (wavelength $\lambda=632.8$ nm) and two polarizers are set for weakening the laser beam, then it's necessary for adjusting procedure of the testing platform. The sample of a rigid Fresnel prisms is fixed at the sample holder. When laser beam passes through the prism, it is deflected. According to the definition of PD, the distance between digital vernier caliper and the rigid Fresnel prisms must be

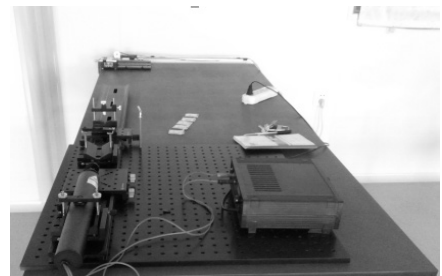


Fig.9 The picture of the test system

strictly equal to 1m. A receiving photodiode is fixed on the slider of the digital vernier caliper. When testing the samples, an operator can slid the slider and the photodiode will move. The slider stops when the value of signal from the photodiode reaches the maximum value. It means that the deflected laser beam has been detected by the photodiode. Then, the operator can read the measured value on the screen of the digital vernier caliper (in cm) with accuracy of ± 0.001 cm. The measure value is just equal to the PD of the tested sample.

2.3 Testing results of prism degree of the samples

The PDs of three groups of samples were tested. Each group included 8 pieces of samples which were numbered from 1 to 8. The samples of the three groups had the theoretical PD of 10Δ , 20Δ , 30Δ , which represented the low, middle and high value of PDs. The testing results of the first group of samples were shown in Table 2, and the average deviation between theoretical and testing value was 0.013Δ . The testing results of the second group of samples were shown in Table 3, and the average deviation between theoretical and testing value was 0.041Δ . The testing results of the third group of samples were shown in Table 4, and the average deviation between theoretical and testing value was 0.014Δ . It is reported that the tolerance of the medical prism PD is 0.25Δ [19]. The PD' deviations of samples were all within the national standard for the tolerance of medical prism. So the testing results verified that the samples of the prisms have high quality and high precision to reflect the light.

Table 2. Testing results for samples of rigid Fresnel prisms PD = 10.0 Δ

Sample No.	1	2	3	4	5	6	7	8	AVG
PD(Δ)	9.945	9.992	9.966	10.015	9.997	9.996	10.010	9.978	9.987
Deviation(Δ)	-0.055	-0.008	-0.034	+0.015	-0.003	-0.004	+0.010	-0.022	-0.013

Table 3. Testing results for samples of rigid Fresnel prisms PD = 20.0 Δ

Sample No.	1	2	3	4	5	6	7	8	AVG
PD(Δ)	19.966	19.985	19.962	19.973	19.964	19.955	19.946	19.921	19.959
Deviation(Δ)	-0.034	-0.015	-0.038	-0.027	-0.036	-0.045	0.054	-0.079	-0.041

Table 4. Testing results for samples of rigid Fresnel prisms PD = 30.0 Δ

Sample No.	1	2	3	4	5	6	7	8	AVG
PD(Δ)	30.007	30.038	29.994	30.084	29.993	30.024	29.961	30.016	30.014
Deviation(Δ)	+0.007	0.038	-0.006	+0.084	-0.007	+0.024	-0.039	+0.016	+0.014

3. CONCLUSIONS

In this paper, we designed the structure of the rigid Fresnel prisms, and the relationship between the PD and the angle α is analyzed. The method of calculating the transmittance of rigid Fresnel prisms in theory is proposed, and the numerical simulation results showed that PMMA rigid Fresnel prisms have a higher transmittance. Based on these jobs, we actually made some stamps by diamond cutting and manufactured some samples of rigid Fresnel prisms by hot pressing, and tested the PD of them. The results showed that the PD' deviation of these samples are all within the national standard' tolerance for medical prism. However, there are still many technical challenges to improve the quality of the prisms. In a future, we may choose new kinds of material, such as nickel alloy, to machine the stamps. And we also need to optimize the process parameters such as temperature, pressure and time during hot pressing.

REFERENCES

1. FU Jing, LI Shi-ming, LIU Luo-ru, et al. Prevalence of amblyopia and strabismus in a population of 7th-grade junior high school students in central China: the anyang childhood eye study(ACES)[J]. *Ophthalmic Epidemiology*, 2014, 21(3):197-203.
2. ZHU Hui, LUI Hu. Recent advances in psychosocial effects of strabismus[J]. *Recent Advances in Ophthalmology*, 2015, 35(12): 1188-1192.(in Chinese)
3. RYKOV S O, MELLINA V B. Effect of microprismatic eyeglasses on the character of binocular vision in children with strabismic amblyopia over treatment time[J]. *Clinical Ophthalmology(Ukraine)*, 2016, 0(6):12-18.
4. LI Ping-hui, YANG Wen. The clinical application and the therapeutic effect of the Fresnel press-on prism[J]. *Chinese Journal of Strabismus & Pediatric ophthalmology*, 2007, 15(4):157-159.(in Chinese)
5. STANGLER-ZUSCHROTT E. Prisms in the treatment of infantile strabismus[J]. *Spektrum der Augenheilkunde*, 2012, 26(5):230-235.
6. FU Ming-lei, WANG Weiren, ZHANG Xing-nan, et al. Micro structure press-on prism for children strabismus compensation[J]. *Optical Instruments*, 2015, 37(3):233-237.(in Chinese)
7. PETROV V, KRYUCHYN A, ANTONOV E, et al. Optical phenomena in microprism diagnostic set KK-42[C]. *SPIE-INT SOC OPTICAL ENGINEERING, 1000 20TH ST, PO BOX 10, BELLINGHAM, WA 98227-0010 USA*, 2011, 8011:80119A.
8. GRIFFITHS H J, COTTON S. A comparison of the effect of 3M Fresnel prisms and Trusetal prism foils on visual function[J]. *British and Irish Orthoptic Journal*, 2010, 7: 45-48.
9. CAO Wen-hong, YU Gang, WU Qian, et al. The clinical application of the Fresnel press-on prism to children ocular torticollis[J]. *Department of ophthalmology*, 2009, 18(5):301-304.
10. ANTONOV E.E. Microprisms: optical parameters and monitoring[M]. KRYUCHYN A.A., Fu Ming-lei, PETROV V, et al. Ukraine:Institute for Information Recording, 2015.
11. FU Ming-lei, ZHANG Xiang-nan, LE Zi-chun, et al. Compensation of chromatic aberrations for microstructure press-on prisms[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2015, 23(10):98-103.(in Chinese).
12. JUNG J H, PELI E. Impact of high power and angle of incidence on prism corrections for visual field loss.[J]. *Optical Engineering*, 2014, 53(53):167-174.
13. SULTANOVA N, KASAROVA S, NIKOLOV I. Dispersion Properties of Optical Polymers[J]. *Acta Physica Polonica*, 2009, 116(4):585-587.
14. JUNG J H. Distortions to visual field expansion with high-power Fresnel prisms[J/OL]. *SPIE Newsroom*, 2012-3-11. (2012-3-11) [2017-04-17]. <http://spie.org/newsroom/5350-distortions-to-visual-field-expansion-with-high-power-fresnel-prisms>.
15. PROGELHOF R C, FRANEY J, HAAS T W. Absorption coefficient of unpigmented poly(methyl methacrylate), polystyrene, polycarbonate, and poly(4-methylpentene-1) sheets[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 1971, 15(7):1803-1807.
16. ZHANG Shao-jian, SANDY T, Zhang G Q. Diamond tool wear in ultra-precision machining[J]. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2017, 88(1-4):613-641.
17. HE Yong, FU Jian-zhong, CHEN Zi-chen. Demolding Defects and Design of Demolding Device in Micro Hot Embossing Process[J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2008, 44(11):53-58.(in Chinese).
18. FU Ming-lei, LE Zi-chun, ZHANG Xiang-nan, et al. A dura mater overlays prism lens prism degree detection system: China, CN201510782777.2[P]. 2016-03-30.
19. GB 11417.2-2012, Ophthalmic opticsng-nan, et al. A dura :Rigid contact lenses specification[S].

Investigation of optical characteristics of rigid protected and traditional elastic Fresnel microprisms electronic method for measuring visual acuity

Viacheslav Petrov, Eugene Antonov, Minglei Fu, Weijie Hu,
Andriy Kryuchyn, Dmytro Manko, Zichun Le, Semen Shanoilo

Optics and Laser Technologies. 2018. V. 107. PP. 15–23.

Abstract: A method for determining resolution of images through prisms using test patterns is proposed. This technique is more precise than the traditional method for measuring visual acuity, which involve ophthalmologic test charts and questioning patients. An experimental setup allowing the measurement of image resolution was developed. Comparative characteristics were obtained for "Gulden Ophthalmics" (USA) monoprisms, for "3MTMPress-OnTM" (USA) elastic films with microrelief and for new rigid protected Fresnel microprisms developed at the Institute for Information Recording (Ukraine). The reasons for the decrease in image resolution and visual acuity are discussed for all of the investigated ophthalmic monoprisms and microprisms.

Highlights: A new rigid Fresnel prisms for strabismus diagnostics were devised. And a novel algorithm for visual acuity measuring strabismus based on the resolution of test stroke images through microprisms is proposed.

Keywords: rigid Fresnel prisms, microprisms, visual acuity

1. INTRODUCTION

The application of Fresnel microprisms in ophthalmology always reduces the resolution of the formed optical images. Many studies have reported the deterioration of the visual acuity for patients by the application of a prism [1–4]. However, their method of investigation was traditional, involving the subjective impressions of patients who observed ophthalmic test charts with and without prisms.

At the same time, it is possible to evaluate the deterioration of the visual acuity quantitatively using known methods of spectroscopy [5]. Such methods are widely used in physics, e.g. for measuring the resolution of narrow spectral lines. Herein, we focus on the investigation of some known prisms using these physical techniques which were adjusted for ophthalmology applications [6].

Studies of microprisms with low prismatic strengths $PD < 10.0 \Delta$ are of particular interest. Previous researchers [1–4, 7–8] reported that patients hardly noticed the influence of prisms on their visual acuity for these low-strength microprisms. However, such influences are certainly present because of the diffraction and chromaticity of the white light.

The main objective of the present research was to obtain the optical characteristics of monoprisms and microprisms made by different manufacturers by electronically registering visual image signals without patients and their impressions. It was necessary to distinguish the effect of prisms in total decrease of visual acuity and so to separate the influence of prism with the blurred visual, which is very important for diagnostics at the initial stage of eye diseases [9-10].

Comparative optical characteristics were obtained over a wide range of prismatic strengths for monoprisms manufactured by "Gulden Ophthalmics" (USA), "3MTMPress-OnTM" elastic films with microrelief manufactured by "3M" Company (USA), and new rigid

microprisms [11] developed and manufactured by the Institute for Information Recording of National Academy of Sciences of Ukraine (IIR, Ukraine). Currently, the latter are widely used in Ukraine for the diagnostics and treatment of strabismus in children.

2. OPTICAL PARAMETERS OF NEW RIGID FRESNEL MICROPRISMS

The basic view and the scheme of the new rigid microprism are shown in Fig. 1. At the first stage of its manufacturing the necessary microrelief is formed at the flat metal surface by diamond cutting method [12]. The matrix-origin made in such way is used at the next stage for formatting microprismatic relief by thermo-pressing method [12] on the surface of a billets made from the transparent rigid optical plastics. The diagnostic embodiment of such a microprism comprises a flat transparent microrelief plate 32 mm in diameter made of polymethylmethacrylate (PMMA). The microprismatic relief is sealed by a protective flat transparent plate made of polycarbonate (PC) 0.6 mm in thickness. The holder, having a diameter of 37.5 mm, is also made of PC. The prismatic strength Δ and the direction of prismatic action (triangle) are shown at the holder. All of these elements are hermetically connected by ultrasonic welding in a common optical unit called the "microprism compensator for strabismus".

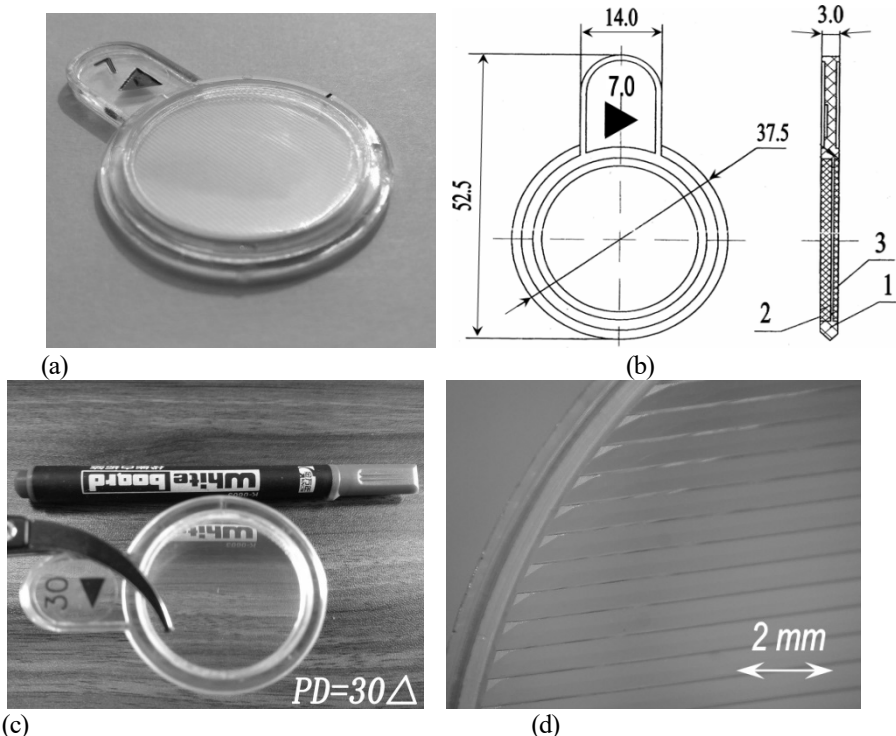


Fig. 1. IIR (Ukraine) new rigid microprism (a) General view; (b) Scheme: (1) PC holder; (2) PMMA microprism relief; (3) Protective PC plate; (c) Image-shifting effect; (d) Magnification of microprism.

The main difference between above rigid microprisms, the traditional 3M flexible films and all other known microprisms is that the microrelief of new devices is protected from mechanical damages and contaminations by a special plate; therefore the optical properties of these microprisms do not change, even during prolonged usage.

Microprism compensators of different denominations comprise the diagnostic set *KK-42* [11], which is registered in Ukraine for usage in medical practice. The total number of microprisms in this set is 42, and the prism denominations are 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0, 12.0, 14.0, 16.0, 18.0, 20.0, 22.0, 24.0, 26.0, 28.0, and 30.0 prismatic diopters (Δ). There are two similar sets of 21 microprisms denominations for both eyes.

For the convenience of strabismus diagnostics, a set of diagnostic microprism bars *DNSK-01* [11] was also manufactured by IIR (Ukraine). The prism denominations in this set are 1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0, 12.0, 14.0, 16.0, 18.0, 20.0, 25.0, 30.0, 35.0, 40.0, 45.0, and 50.0 Δ . The denominations of the microprisms in each *DNSK-01* bar are formed by two identical rigid microprisms having the same prismatic strength. Pairs of microprisms in such a "symmetrical" strabismus compensator are hermetically coupled by ultrasonic welding. The microrelief is placed inside the device and does not contact the external environment. Thus, the relief is protected from contaminations and damages even during the prolonged operation of the bars. Basic images of the diagnostic sets *KK-42* and *DNSK-01* are shown in Figs. 2(a) and (b), respectively.

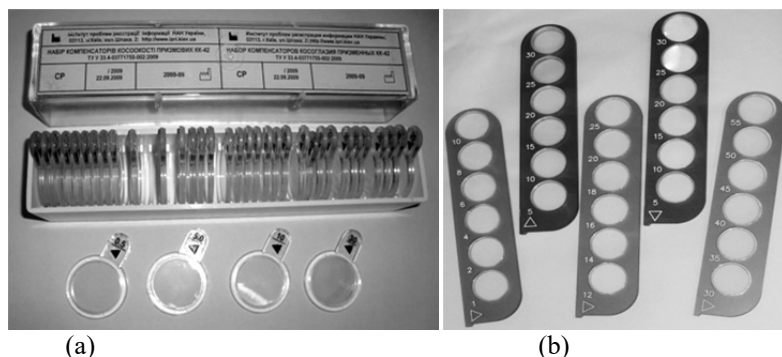


Fig. 2. Diagnostic sets (a) *KK-42* and (b) *DNSK-01*.

Calculations [12] of the prism refraction angles according to Snell's law [5] showed that the change in the prismatic strength during the turn of such a "symmetric" prism along its axis is almost four times smaller than that in the case where the value of prismatic action of an optical compensator is created by a single microprism. Thus, diagnostic bars with symmetrical compensators yield more accurate measurements of the strabismus angles. Therefore, *DNSK-1* diagnostic microprism bars are currently manufactured only with symmetrical compensators.

When the new rigid microprisms are used in complex prism-refractive eye-glasses [11], the flat microprism element is hermetically connected to the inner surface of the refractive lens by ultrasonic welding technology that is specially developed for this case.

The properties of the new rigid microprisms, diagnostic sets of prisms, and complex eye-glasses with prisms are described in detail in our monograph [12].

3. CHARACTERISTICS OF EXPERIMENTAL SETUP

The main objective of our research was to determine the optical characteristics of different microprisms in one set of measurements using a new more precise electronic method.

In all previous studies [1–4, 7–8] visual acuity was measured by the method of questioning patients, which is a typical procedure for ophthalmologists. We attempted [12] to correlate the psychophysical definition "visual acuity" attributed to human subject with physical

quantity "optical resolution". This will provide quantitative evaluation criteria for the resolution of the visual images through micropisms. Such data are necessary for separating prism effect in total decrease of visual acuity noticed by patients that always was recorded in all ophthalmology human subject measurements [1–4, 7–8].

In physics, the resolution of optical devices is determined by the number of lines per millimeter (mm) for test images with these devices. The resolution is limited usually by the diffraction at the lens: visible light points are actually the diffraction spots [5]. Two neighboring points are separated, if the intensity minimum between them is sufficient.

The empirical criterion for resolution was introduced by Raleigh [5] and it gives the appropriate minimum angular distance between two separated points as:

$$\sin \theta = 1.22 (\lambda / D), \quad (1)$$

where θ is the angular resolution (minimum distance), λ is the wavelength, and D is the diameter of the entrance aperture of the optical system, which usually coincides with the diameter of the lens.

According to Eq. (1), two neighboring spectral lines are resolved if the maximum of certain line coincides with the minimum of the other one. The size of the dip between the lines or so called "nominal contrast of images" k_A in this case is $\sim 20\%$ of the maximum intensity [5] for the Gaussian spectral lines shape.

The resolution of any optical system can be experimentally investigated by the observation of special stroke test object called *Mira* [6]. The linear R_A or angular γ_A distance between neighbor *Mira* strokes for $k_A = 20\%$ we will denote by the term "resolution". When applying prisms the sharpness of images decreases and for receiving the same dip $k_A = 20\%$ it is necessary to enlarge the distance R_A using the larger test strokes. The obtained enlargement in R_A values just characterize quantitatively the decrease of resolution. This is the essence of our method.

A special experimental setup was designed for the investigation of the resolution of the test images with prisms. This setup was described in detail in monograph [12]; the scheme of this setup is shown in Fig.3.

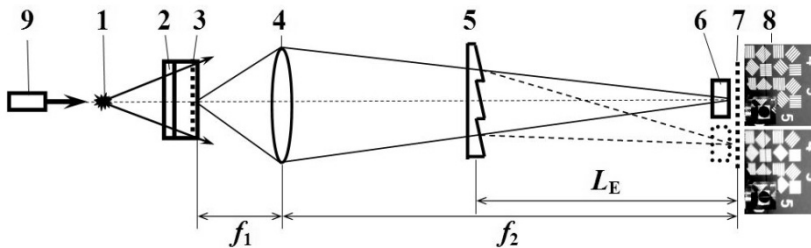


Fig. 3. The scheme of experimental setup: (1) filament lamp; (2) frosted glass; (3) stroke test object *Mira*; (4) focusing lens; (5) tested prism; (6) photodetector; (7) screen; (8) test images on the screen; (9) aligning laser.

A standard type-A filament lamp (1) with a brightness temperature of $T_a = 2854$ K, which is used in traditional spectroscopic measurements [6], was chosen as a radiation source. A frosted glass (2) and bar (3) of stroke test objects *Mira* # (2–5), hereinafter denoted as (*M2–M5*) was used for forming test strokes (8) on the screen (7). The test images were formed on the screen by a precise projection lens (4) with a focal length of $F = 90$ mm and a

diameter of $D = 50$ mm. A silicon photodiode *FD288A* [12] with a slit diaphragm having a width of $S_p = 0,45$ mm was used as a photodetector (6). The diode was moved across the stroke images on the screen (8) for the linear scanning of the images with a positioning accuracy of ± 10 μm . A "green" semiconductor laser (9) with a wavelength $\lambda = 0.532$ μm was used for aligning the optical system and determining the required positions of the tested prisms. Then applying prisms the sensor unit (6-7) is slightly turned and moved, so the distance L_E is fixed and the deviated light beam always is perpendicular to the plane of the photodetector (6).

A typical images of a test object *Mira M4* at the slit of the photodetector is shown in Fig. 4(a). The spacing d_M for *Mira M4* strokes for the largest element *H1* at the *Mira* surface is 160 μm , for the smallest element *H25* the spacing $d_M = 40$ μm . The magnification of optical system (f_2 / f_1) ≈ 20 , so for the element *H4*, shown in this figure, the spacing of the images on the screen $d_A \approx 2,69$ mm, for element *H5* the spacing $d_A \approx 2,54$ mm.

Above images correspond to the billet made from optical plastic "Plexiglas XT" (Rohm Degussa, FRG). Usually IIR (Ukraine) manufactures microprisms by thermo-pressing technology [11] using just this PMMA.

The image shown in Fig. 4(b) illustrates the same billet after it underwent the standard process of thermo-pressing even without the formation of any microprismatic relief. Differences are obvious; this fact illustrates the high precision of proposed research method. The biggest resolution loss is noted for the strokes perpendicular to the direction of prismatic strength where a chromatic aberrations are maximum.

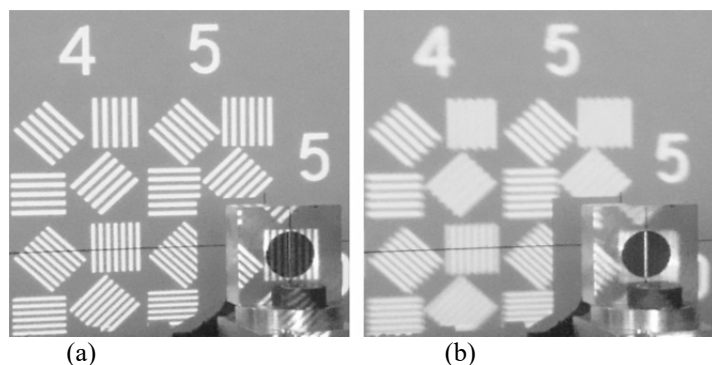


Fig. 4. Images of test *Mira M4* strokes on the screen: (a) billet before thermo-pressing, (b) billet after thermo-pressing

Particular attention was paid to the maximum identity of the optical parameters of the experimental setup with the conditions of conventional studies on the visual acuity in human subject measurements with ophthalmic charts. The main problem arises from the difference in the spectral sensitivity of the human eye and the luminous efficiency of the photodiode *FD288A*. The human eye sees a picture different from that observed by the photodetector. The images for different wavelengths blur and overlap due to the chromaticity of the white light. The human eye perceives images because they have a different color, whereas the detector registers multi-colored images as the same ones but with different spectral sensitivity. Fig. 5(a) shows an image of the stroke test object *M4H10* on the surface of the photodetector as seen through a microprism of $PD = 20.0$ Δ . Fig. 5(b) shows a scan of this image obtained with a photodiode slit diaphragm.

The photodiode *FD288A* clearly detected the luminous background and the dark image of the test strokes. However, the colored red and blue stroke images are indicated only by the common intensity maxima. Thus, special color filters combination (ZS-8+JZS-18) [12] were used in our research for matching the spectral sensitivity of the photodetector with the averaged response of the human eye.

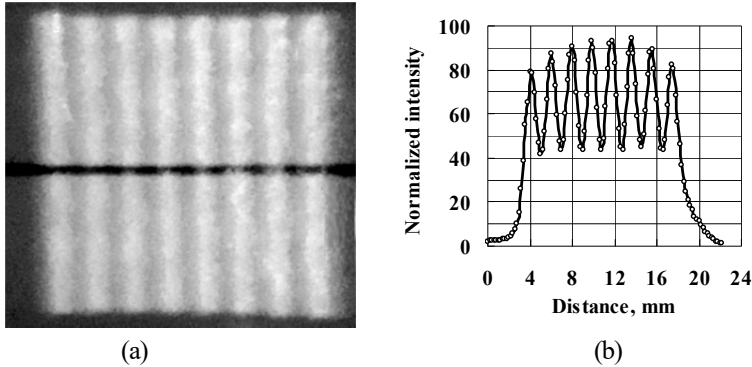


Fig. 5. (a) Image of test element *M4H10* through microprism of $PD=20.0 \Delta$ at photodiode; (b) Scan of this image by photodiode

Another important characteristic for the determination of the resolution R_A for the test charts is the contrast of the images k_A :

$$k_A = (I_F - I_A)/(I_F + I_A) 100\% \quad (2)$$

where I_F is the intensity of the background of the test chart, I_A is the intensity of a certain optotype. The value of k_A depends on the brightness of the chart F_T . It was reported [13] that the chart brightness value F_T for obtaining visual acuity V_C should be at least 160 cd/m^2 , which corresponds to the illumination of $E_T = 150\text{--}300 \text{ lx}$. The last value depends on the reflectance of the light from the background of the chart. It is believed that the subsequent increase of the value of F_T above 160 cd/m^2 does not affect the image contrast or visual acuity [13]. The standard contrast value k_A of test charts is (95–97)%. So, for similarity our measurements were performed using high-contrast test stroke objects [12] with an initial contrast of $k_A = (96\text{--}98)\%$.

For measuring relative value k_A of the dip between the adjacent *Mira* test optotypes we used the linear dependence [13] for convenience of all approximations as follows:

$$k_A = (I_F - I_A)/I_F 100\% \quad (3)$$

where I_F is the maximal intensity in the zone of the dip, I_A is the intensity of a certain test stroke.

The capabilities of the constructed experimental setup are indicated by Fig. 6, which shows the intensity distribution of the images on the screen for various elements of *Mira M4* for transparent PMMA plate without any microrelief. The tested objects were placed at a distance of $L_E = 36 \text{ cm}$ from the screen. For this optical scheme with magnification $f_2/f_1 \approx 20$ the linear resolution (spacing) d_A on the screen between test strokes of element *H24* of *Mira M4* is 0.844 mm . This value exactly corresponds to the angular distance between test strokes $\gamma_A = 1.0'$, i.e. matches to the stated angle of observation for ophthalmic test charts for the "normal" eye [13].

Using calibration data, similar to shown in Fig. 6, two important parameters for the experimental setup can be determined. The first parameter is the hardware resolution function

of the setup R_{A0} or γ_{A0} . The second necessary parameter is the dip or variable contrast of the test images k_{AV} .

We determine the first parameter using the minimum angular distance γ_{A0} on the screen between the images of the strokes, which are still clearly visible for a certain *Mira* element. For our optical system the maximum angular resolution on the screen γ_A is $0.7734'$. This value corresponds to the element *H24* of *Mira M3*. For this element the spacing between the adjacent strokes at the *Mira* surface is $d_M = 21.2 \mu\text{m}$, which corresponds to its angular resolution of $\gamma_0 \approx 0.7733'$. This calculated value γ_0 is almost equal to above measured value γ_A and represents the ultimate resolution of our optical system.

The variable contrast k_{AV} can be determined by Eq. (3), where I_F and I_A are the intensities of the images of the strokes for the test object *Mira* at the slit of the photodetector. The data necessary for the determination of the contrast k_{AV} are similar to shown in Fig. 6.

Mathematically, the procedure for determining the change in the image resolution is similar to the description of its contrast. However, in the first case, Eq. (2) is used for an actual comparison of the intensities of the black and white strokes of different elements of the *Mira* test objects. In this case, Eq. (3) characterizes only the degree of the overlap of the stroke image intensities due to the blurring of the images. The real contrast k_A , which corresponds to sufficiently large test images is $\sim 98\%$ (Fig. 6, elements *M4H10–M4H01*).

The decrease in the size of the *Mira* strokes diminishes the measured value defined by Eq. (3). This is mainly explained by the blurring of the registered images due to the defects of the optics, another reason is the diffraction and chromaticity of the white light.

We call the value of the corresponding dip between the maximum and minimum intensities of the images as "contrast" as well. However, this value only characterizes the images overlapping due to various factors, particularly the diffraction at the microrelief and the defects of the optical surfaces.

To determine the influence of the microprisms, the images of various *Mira* elements on a screen obtained with and without microprisms were compared. A method for determining the relative resolution $V_A = R_{A0}/R_A$ is shown in Fig. 7 and described as follows.

The selected test *Mira* (*M3–M5*) object was placed at the focus of the optical system and the initial contrast k_0 was determined for the image of this object on the screen (Fig. 7, points *k01–k02*). This value k_0 should be at least (95–97) %, which indicates (1) the good focusing of the images, and (2) the proper adjustment of the slit diaphragm of the photodetector. This slit diaphragm should be placed strictly parallel to the images of the test strokes displayed on the screen.

The reference prism was placed at the axis of the optical system and by changing the *Mira* elements H_i the contrast curve k_A was recorded. From the resulting curve $k_A = f(H_i)$ for a

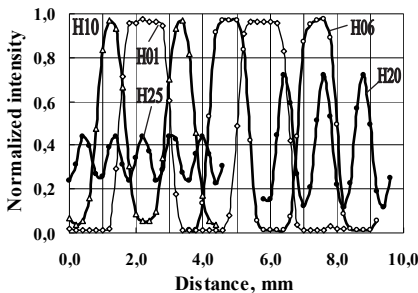


Fig. 6. Typical picture of intensity distribution on the screen for some elements H_i of *Mira M4* for PMMA plate without microrelief

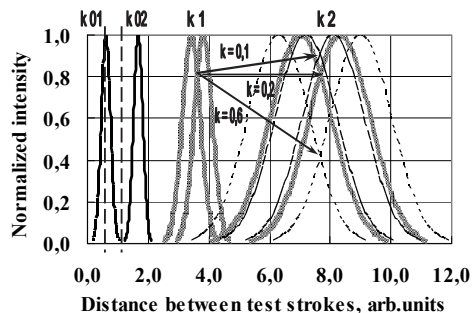


Fig. 7. Scheme for determining the resolution ability

contrast level of $k_A = 20\%$, the angular or linear resolution for the image of the test stroke R_{A0} was determined for the aforementioned reference prism (Fig. 7, point k1).

Then, the prism to be examined was placed at the optical axis of the setup. As before, similar curves of the contrast $k_A = f(H_i)$ were recorded for this prism, and the test *Mira* element H_k having the same contrast of $k_A = 20\%$ was selected. The magnitude of the linear resolution R_A for this element H_k (Fig. 7, point k2) was used to calculate the relative resolution $V_A = R_{A0}/R_A$ for this prism.

The most important question here is the similarity of electronically obtained decrease of resolution $V_A = R_{A0}/R_A$ with the data for visual acuity human subject values V_C obtained in investigations [1-4, 7-8].

We propose to match above data by stating for our relative values of V_A the reference point for which the absolute value of $V_C = 100\%$.

We used a diagnostic set of monoprisms with very high optical quality manufactured by "Gulden Ophthalmics"; therefore, the selection of this reference point was easy. A "Gulden Ophthalmics" prism with the strength of $PD = 0.5 \Delta$ was chosen as the reference one. This monoprism is considered to have a visual acuity of $V_C = 100\%$, as it is usually detected by patients in conventional human subject ophthalmic researches. All our data on V_A were matched with this visual acuity V_C .

It should be noted that for small strengths of $PD = (0.5-1.0) \Delta$, the decrease in the image resolution of the test strokes $V_A = R_{A0}/R_A$ was very small for both the Gulden Ophthalmics monoprisms and the IIR rigid micropisms. Therefore, the choice of a reference prism with a small strength has practically no effect on the data of the image resolution for large prism strengths.

Another important question is the similarity criterion for resolution V_A data and visual acuity V_C values. In other words, the scale of data comparison is necessary. We suppose that such criterion should be the equality of relative resolution $\Delta V_A/V_A$ with $\Delta V_C/V_C$ for the same prisms, where ΔV_A and ΔV_C are the decrease of resolution on the screen and acuity with the charts, respectively. This similarity procedure is illustrated by Fig. 8.

For the normal human eye by Gullstrand [14] the averaged angular resolution γ_C is near 1.0 angular minute. The patient clearly distinguishes ophthalmic chart optotypes for certain micropism, while the size of the optotypes on the retina of the eye γ_C exceeds the chromatic aberration zone $\Delta\gamma_C$ for this prism on the retina. With the growth of prism strength the magnitude of $\Delta\gamma_C$ increases approaching γ_C size. The contrast k_A begins to decrease and the patients, accordingly, begin to notice the blurring of the optotypes.

Usually prisms are placed under the eye investigations into the probe ophthalmic frame at the measuring distance of $\tilde{D}_A \sim 20$ mm from the cornea. For this distance for the normal eye with $V_C = 1.0$ the value $\Delta\gamma_C/\gamma_C = 1.0$ is realized for prism strength of $PD \approx 20 \Delta$. For measuring distance of $\tilde{D}_A \sim 25$ mm the value $\Delta\gamma_C/\gamma_C = 1.0$ for prism of $PD \approx 15 \Delta$.

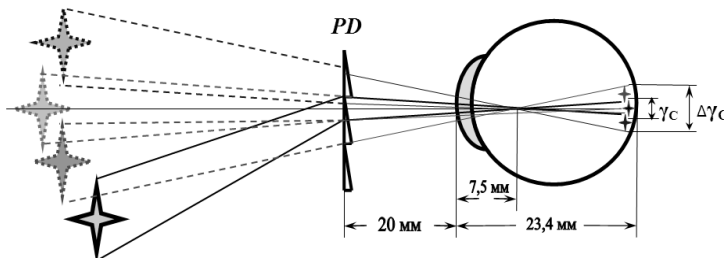


Fig. 8. Scheme for chromatic aberrations and for similarity criterion

By the way, the differences in visual data V_C for small prisms [1-4, 7-8] can be explained by variation of D_A value in above investigations: the larger the value of D_A , the larger the decrease of the obtained visual acuity value V_C for the same prism.

For above microprism of $PD = 20.0 \Delta$, the calculated [12] chromatic zone $\Delta\varphi_A \approx 32'$, so for obtaining the value $\Delta\gamma_A/\gamma_A = 1.0 = \Delta\gamma_C/\gamma_C = 1.0$ this prism should be placed at the optical axis of our setup at the distance $L_E = 51$ cm from the screen. So, the final series of intensity measurements for all of the examined prisms were performed for viewing distance $L_E = 51$ cm which corresponds to above similarity criterion.

Thus, after the proposed calibration of our experimental data, the change in the relative resolution of the test images V_A can be identified with the absolute value of visual acuity V_C .

4. EXPERIMENTAL RESULTS

At the first stage of our final measurements, the "Gulden Ophthalmics" monoprisms were examined in detail. The curves of the image contrast k_A for these monoprisms in the range of $PD = 0.5-30.0 \Delta$ are shown in Fig. 9. Data similar to those shown in Fig. 6 were used as the initial optical characteristics for obtaining the resolution values R_A and relative resolution ability $V_A = R_{A0}/R_A$. These values under similarity criterion correspond to the visual acuity V_C when our data are compared with those of other researches [1-4, 7-8].

It is useful to compare the image resolutions R_A for a predetermined contrast value exceeding 20%, e.g., for the values $k_A = 40-70\%$, which significantly increases the accuracy of our method [6]. However, the basic measurement of the resolution for the test images were performed at a contrast value $k_A = 20\%$. This was done to maximize the similarity between our resolution values V_A obtained electronically and the visual acuity values V_C previously obtained [1-4, 7-8] from ophthalmic test charts

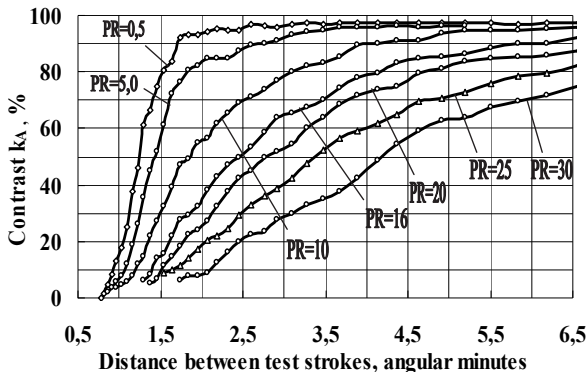


Fig. 9. Contrast of images for the Mira M3-M5 test strokes for monoprisms manufactured by "Gulden Ophthalmics"

All microprisms with prismatic strengths in the range of $(0.5-30.0) \Delta$ from the updated diagnostic set *KK-42* manufactured by IIR (#021, manufacture date: February 2013) were investigated by this method, along with all available 3MTMPress-OnTM flexible microprisms with prismatic strengths of 7.0, 10.0, 15.0, 20.0, and 25.0 Δ . The results of the contrast k_A measurements for these microprisms are shown in Figs. 10 and 11.

Using the obtained dependences of $k_A = f(H_i)$ for level $k_A = 20\%$ the resolutions R_A were calculated for each of the examined prisms. After that these values R_A were used for calculating the visual acuity decrease $V_A = R_{A0}/R_A$. A Gulden Ophthalmics monoprism with a strength of $PD = 0.5 \Delta$ was used as the reference prism in all of the final experiments.

Fig. 10. Contrast of images for Mira M3–M5 test strokes for 3M™ Press-On™ flexible microprisms (PD curves) and for "Gulden Ophthalmics" monoprisms (PR curves).

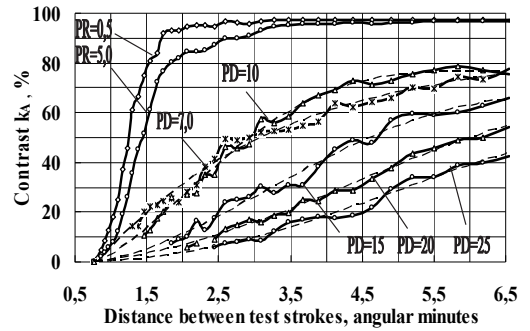
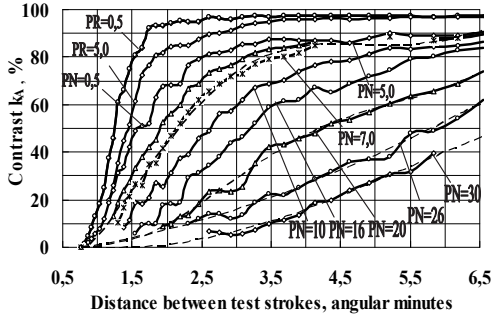


Fig. 11. Contrast of images for Mira M3–M5 test strokes for microprisms manufactured by IIR (PN curves) and for "Gulden Ophthalmics" monoprisms (PR curves).

The values of the resolution $V_A = R_{A0}/R_A$ that may be identified with the visual acuity V_C according to similarity criterion are shown in Fig. 12 for Gulden Ophthalmics acrylic monoprisms (curve 1), IIR rigid microprisms (curve 2), and 3M™ Press-On™ flexible films with a microrelief (curve 3).

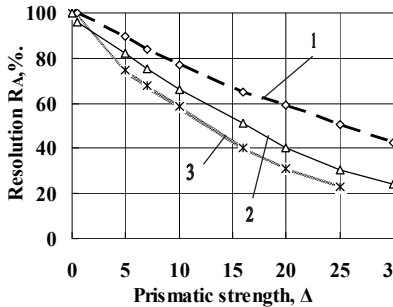


Fig. 12. Images resolution for various prisms: (1) Gulden Ophthalmics monoprisms; (2) IIR rigid microprisms; and (3) 3M™ Press-On™ flexible films with microrelief

The obtained data indicate that all of the investigated prisms reduced the visual acuity V_C over the entire tested range of prismatic strengths. As expected, the smallest decrease (Fig. 12, curve 1) was exhibited by the Gulden Ophthalmics monoprisms. The IIR rigid microprisms with a protected hermetically sealed microrelief also exhibited good optical quality (Fig. 12, curve 2). The largest decrease in the visual acuity was exhibited by the flexible films with open microrelief 3M™ Press-On™ (Fig. 12, curve 3).

5. DISCUSSIONS

The visual acuity of the images depends on many factors: on the optical quality of the microprism material, defects inside the material, contaminations at the surface of the microprism, and internal tensions leading to local changes in the material refractive index. However, there are also purely physical factors: (1) the diffraction at the microrelief, and (2) the chromatic effects due to the dispersion of the white light. The influence of the chromaticity and diffraction on the image resolution is treated in detail in our monograph [12]. As we

reported, this effect can be very significant for microprisms with a prismatic strengths PD greater than $(20.0-30.0) \Delta$.

Previously received data on visual acuity V_C [2-4, 7-8] are shown in Fig. 13 (curves 1-6). Our latest electronic data of V_A which can be identified with V_C also are shown (curves 7-9).

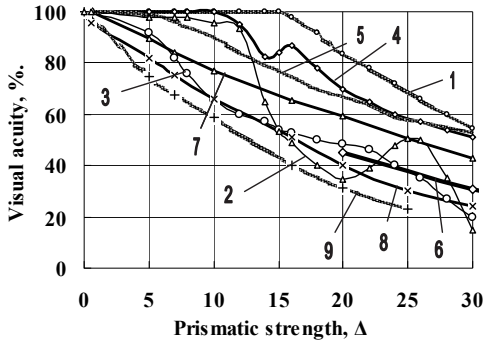


Fig. 13. Visual acuity data for various prisms: (1) and (2) Veroneau-Troutman [2]; (3) Griffiths and Cotton [4]; (4) Shevkolenko [7]; (5) Mellina [8]; (6) Katz [3]; (7) Gulden Ophthalmics (our data); (8) IIR (our data); (9) 3M (our data)

The values of visual acuity V_C decreased noticeably as the microprism prismatic strength PD increased. For example, the IIR microprism with strength of $PD = 30.0 \Delta$ exhibited a reduction of 74% (Fig. 13, curve 8). This value is similar to the value V_C of Shevkolenko [7] reported V_C of 50% (Fig. 13, curve 4) for a microprism with strength of $PD = 30.0 \Delta$ for patients with initial visual acuity of $V_C = 1.0$.

Data of Katz [3] practically coincide with Griffiths-Cotton data [4] for 3M Fresnel microprisms with strengths $PD = (20-30) \Delta$ and are very similar to our data for IIR microprisms.

Differences in curves (6) and (9) that are both referred to microprism film 3MTMPress-OnTM, can be explained by poor quality of tested electronically specific available samples of 3M microprisms which were manufactured in 90-x. This fact again points to the disadvantages of microprisms with open relief and to the noticeable degradation of optical quality for such prisms (appearance of burrs, scratches, other mechanical defects and pollutions at the surface) with time.

The results of Veroneau-Troutman [2] for 3M microprism film (Fig.13, curve 2) are rather contradictory considering that the reported value $V_C = 34.6\%$ for a microprism of $PD = 20.0 \Delta$ in the author's [2] conclusion is underestimated because of the poor manufacturing quality of this microprism. The visual acuity value $V_C = 15.0\%$ for the microprism strength of $PD = 30.0 \Delta$ (Fig. 13, curve 2) also seems to be underestimated.

The decrease in visual acuity V_C for the Gulden Ophthalmics monoprisms with a prismatic strength of $PD = 30.0 \Delta$ is nearly 57% (Fig. 13, curve 7). This fact is a direct consequence of the chromaticity; because for these monoprisms the influence of the diffraction is completely absent. Furthermore, there are also no optical or mechanical defects reducing the visual acuity, because the quality of these monoprisms is very high.

Clearly, none of the experimental points for the microprisms, that were obtained by questioning the patients, should be located above the reference graph (7). Indeed, curve (7) regarding the minimum reduction of the resolution ability by the prisms, as the Gulden Ophthalmics monoprisms were the best among all of the investigated prisms. There were no diffraction phenomena for these prisms. In addition, the data (7-9) shown in Fig. 13 are the only ones that were obtained electronically by a photodetector without the patients and their subjective feelings.

However, some experimental values of V_C by the authors [2, 7-8] are located above the graph 7 (curves 1-2, 4-5). This can be attributed to at least two factors: (1) the low accuracy of the method of interviewing patients used by these authors for measuring the visual acuity, and (2) the high efficiency of the human eye, as a detector of visual images, which can distinguish between different blurred optotypes because they have a different color due to the chromaticity. One more reason of certain differences in above data can be the difference in distance D_A of placing prisms in probe ophthalmic frame (Fig. 8) during human subject measurements.

The most important factor in the data obtained in our research is as follows. Firstly, the decrease in the resolution for the microprisms with small prismatic strengths was clearly established. This decrease observed for both microprisms and monoprisms was not previously definitely evident. The dependence of visual acuity V_C on the prism strength PD correlates strongly with the theoretical data for the chromaticity zone depending on prismatic strength [12]. This also confirms the importance of the dispersion of white light in the reduction of the visual acuity.

Compared with the monoprisms, the decrease in the resolution ability for the investigated microprisms was more noticeable, as it is affected by the diffraction in addition to the chromaticity. The influence of the optical defects in the material of the microprisms and the mechanical damage to the open optical surfaces of the tested 3MTM Press-OnTM microprisms should also be considered.

The aforementioned considerations were also confirmed by investigating the optical properties of the microprisms using a laser. Fig. 14 shows the intensity distribution of a laser beam with a wavelength of $\lambda = 0.532 \mu\text{m}$ after the beam passed through a prism of $PD = 25.0 \Delta$.

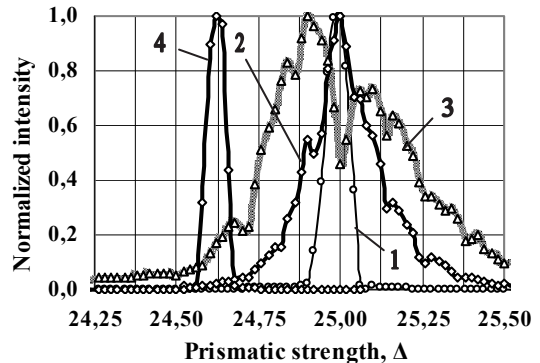


Fig. 14. Laser beam passing through microprism with $PD = 25.0 \Delta$: (1) Gulden Ophthalmics monoprism; (2) IIR rigid microprism; (3) 3MTMPress-OnTM flexible microprism; and (4) laser beam without prisms

The Gulden Ophthalmics acrylic prisms for all denominations practically duplicated the initial profile of the laser beam, confirming the high optical quality of these prisms. The IIR microprisms also exhibited high enough optical quality. This was especially noticeable for large denominations of microprisms, because all of the investigated microprisms with small denominations had a satisfactory optical quality. Indeed, the expansion of the laser beam for the IIR microprism with strength $PD = 25.0 \Delta$ was only 0.5 prism diopters, which agrees with the results of our calculations of the chromaticity zone [12].

The largest expansion of the monochromatic laser beam was exhibited by the 3MTM Press-OnTM microprisms. Even for a prism with a relatively small strength $PD = 10.0 \Delta$ (Fig. 14, curve 3) the structure of the transmitted beam is more blurred than for the similar IIR microprism (Fig. 14, curve 2). Perhaps this arises from the construction details of the 3M films: the reverse angle β for these microprisms was $\sim 10^\circ$, whereas all the IIR micro-

prisms were manufactured with a reverse angle $\beta = 2-3^\circ$. The smaller angle β not only diminished the vignetting but it also reduced the proportion of transmitted light that was scattered inside the prism. This consideration is illustrated by Fig. 15, which shows a microrelief profile for microprisms with a strength of $PD = 10.0 \Delta$ manufactured by 3M and by IIR.

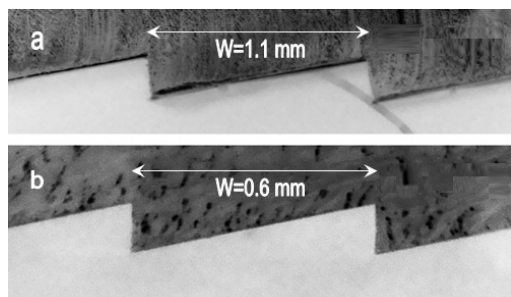


Fig. 15. Relief for microprisms of $PD = 10.0 \Delta$ from different manufacturers: (a) 3M ($W = 1.1$ mm) and (b) IIR ($W = 0.6$ mm)

Note that the microrelief pitch for the investigated 3MTMPress-OnTM microprism ($W = 1.075$ mm) was substantially larger than the pitch for IIR microprism ($W = 0.6$ mm). Thus, the influence of the diffraction for the 3M prisms was smaller. However, the relief pitch for IIR microprisms $W = 0.6$ mm is sufficiently large for the significant diffraction expansion of the refracted light beams [6]. Furthermore, the microrelief of $W < 0.6$ mm is practically invisible, which is a grate advantage for eye-glasses with microprisms.

The data on the decrease of the visual acuity obtained from the resolution of the high-contrast test images, and those obtained through the examination of patients generally differ for small values of prismatic strengths. All of the currently available such data [1–4, 7–8] are sufficiently accurate, which confirms the ability of human eye to distinguish the colored images of optotypes of ophthalmic test charts that are blurred because of the chromaticity [12].

The photodetector certainly does not have these properties. It registers the light intensity or brightness of the surface in the form of energy signals, but with the different spectral sensitivities. However, just because of this its feature the proposed electronic technique for determining the resolution ability is far more accurate than the traditional methods for investigating the visual acuity involving observations with ophthalmic test charts. The electronic method does not depend on the subjective impressions of questioned patients. Thus, the proposed measurement technique provides quantitative criteria for the evaluation of the optical quality of prisms.

Data on the decrease of the resolution of the high-contrast test images that are obtained for prisms from different manufacturers can be very useful because they are obtained firstly in a single series of measurements. However, the proposed method of resolution investigation using test stroke objects in the present embodiment is apparently not useful for the practical examination of patients in ophthalmology clinics. Incidentally, our method is not intended for such applications.

However, such data are necessary for precise diagnostics of eye diseases for separating prism effect in total decrease of visual acuity of patients which always was recorded in all ophthalmology human subject measurements [1–4, 7–8]. It is necessary to distinguish the influence of prism with the blurred visual, which is very important for diagnostics at the initial stage of eye diseases [9–10, 14–15].

6. CONCLUSIONS

We proposed a electronic method for the measuring visual acuity based on the resolution of test stroke images through micropisms. An appropriate experimental setup for measuring the resolution was constructed. The similarity criterion was proposed for matching the test image resolution with the visual acuity obtained by traditional human subject investigations using ophthalmic test charts. The comparative optical quality was defined for IIR rigid micropisms, traditional 3M™ Press-On™ elastic films with microrelief, and Gulden Ophthalmics acrylic monoprisms.

Data on the resolution were obtained in the wide range of prismatic strength $PD = 0.5-30\Delta$. Firstly, the resolution for the micropisms with small prismatic strengths was clearly established. Owing to the high accuracy of the proposed method, the decrease in the visual acuity for low prismatic strengths $PD < 10.0\Delta$ was investigated. The component, which is related to the influence of micropisms, was separated in the total decrease of the visual acuity. Previously this decrease was not evident in traditional eyesight investigations employing questioning the patients. Until now, such prisms were not considered to reduce the visual acuity. Obtained data are necessary for a precise diagnostics at the initial stage of some eye diseases.

Acknowledgments. We thank the Joint International Research Laboratory of Optoelectronics & Information Technology of Zhejiang Province (Yiwu city, China) for the use of their equipment.

Funding. This work was supported by the special funding of "the Belt and Road" International Cooperation of Zhejiang Province [grant numbers 2015C04005]; National Science Foundation of China [grant numbers 61571399].

REFERENES

1. Jose RT, Smith AJ. Increasing Peripheral Field Awareness with Fresnel Prisms. *Opt. J. Rev. Optom.* 1976; 113 (12): 33–37.
2. Veronneau-Troutman S. Fresnel Prisms and Their Effects on Visual Acuity and Binocularity. *Trans. Am. Ophthalmol. Soc.* 1978; 76: 610–653.
3. Katz M. Visual Acuity through Fresnel, Refractive and Hybrid Diffractive/Refractive Prisms. *Optometry-Journal of the American Optometric Association* 2004; 75(8): 503-508.
4. Griffiths HJ, Cotton SH. A Comparison of the Effect of 3M Fresnel Prisms and Trusetal Prism Foil on Visual Function. *British and Irish Orthoptic Journal* 2010; 7: 45-48.
5. Born M, Wolf E. Principle of Optics. Pergamon Press; 1989.
6. Antonov EE. Resolution Ability and Prismatic Stregnth of Micropismatic Elements. *Data Recording, Storage and Processing* 2013; 15 (2): 3-16. [in Ukrainian].
7. Shevkolenko MV, Akimenko EV. Results of surgical treatment of patients with concomitant esotropy with small deviation angles, planed using KK-42 set of strabismus compensators. *Ukrainian medical almanac* 2011; 14 (6): 17-21.
8. Mellina VB. Effect of Modified Fresnel Prisms on visual acuity and contrast sensitivity in children. *Archive of Ukrainian Ophthalmology* 2016; 4 (1): 36-39. [in Ukrainian].
9. Jivraj I, Patel V. Treatment of Ocular Motor Palsies. *Curr Treat Options in Neurol* 2015; 17 (3):1-15.
10. Choi K, Chung S, Lee K. The Prismatic Effect on Stereoacuity in Intermittent Exotropia. *Yonsei Medical Journal* 2010; 51 (1): 117-120.
11. Petrov V, Sergienko N, Rykov S, Antonov E, Shanoilo S, Shevkolenko M. Technology of Manufacturing and Method of Ophthalmology Application of Microprism Fresnel Elements. *Data Recording, Storage and Processing* 2008; 10 (3): 5-17. [in Russian].
12. Antonov EE, et al. Micropisms: optical parameters and monitoring. Kyiv: Akademperiodyka; 2015, p146.
13. Leshchenko IA. Systems and rules for visual acuity determination. *Optometry* 2009; 3:54–58.
14. Denniston A., Murray P. Oxford Handbook of Ophthalmology. *Oxford Medical Handbooks*. OUP Oxford, 2014, 1104 p.15.
- Özkan SB. Restrictive problems related to strabismus surgery. *Taiwan Journal of Ophthalmology* 2016, 6 (3): 102-107.

Спосіб виготовлення скелець Баголіні

Петров В. В., Алєєва Н. М., Антонов Є. Є., Бутенко Л. В.,
Крючин А. А., Сенякіна А. С., Риков С. О.,
Шанойло С. М., Шевколенко М. В.

Патент України № 133832. Бюлетень № 8, 25.04.2019. МПК А 61 В 3/08

Формула корисної моделі:

Спосіб виготовлення лінз Баголіні у вигляді розміщення на прозорому полімерному матеріалі з кроком 0,9–1,0 мм смуг тонких паралельних ліній шириною 0,009–0,010 мм, який відрізняється тим, що включає нанесення твердосплавним різцем смуг паралельних світлорозсіюючих ліній з кроком 4–5 мкм і шириною 2–3 мкм на поліровану металеву підкладку, яка в подальшому використовується в якості штампуну для виготовлення методом термопресування рельєфної мікроструктури у вигляді світлорозсіюючих виступів на оптично прозорому полімерному матеріалі.

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

Корисна модель відноситься до області медицини, а саме до офтальмології, і може бути використаний для визначення наявності фузії та стану бінокулярного зору у дорослих та дітей.

Для досліджень бінокулярного зору використовується тест Баголіні, який проводиться з використанням спеціальних скелець Баголіні [1]. Скельця або лінзи Баголіні – це растрові пластинки, виконані з прозорого полімерного матеріалу, на поверхню якого нанесено тонкі паралельні непрозорі штрихові лінії. При погляді через лінзи Баголіні на точкове джерело світла спостерігається вузька світлова лінія, яка виникає в напрямку, перпендикулярному штрихам на лінзі. Наявність такої лінії практично не порушує нормального зорового відчуття пацієнта. Для відомих лінз Баголіні [1] ширина кожного з штрихів становить 0,004–0,005 мм, штрихи формуються у смугах шириною 0,020–0,025 мм. Смуги розміщуються на утворюючій поверхні з кроком 0,020–0,025 мм. Лінзи Баголіні мають діаметр 35–37 мм і вставляються до тестової офтальмологічної оправи.

Дослідження зору в використанні лінз Баголіні засноване на тому факті, що при спостереженні різними очима двох подібних картинок, в кожній з яких немає будь-якої деталі, мозку при наявності нормальної фузії вдається злити їх воедино та сформувати одну єдину картинку. При діагностиці, зазвичай, скельця Баголіні використовуються одночасно на обох очах – для одного ока лінзи розміщуються з нахилом штрихових смуг 45°, для другого ока – 135°, тому світлові лінії, що виникають на кожній лінзі, розміщуються в полі зору пацієнта перпендикулярно одна одній. Мозок людини перетворює дві світові смуги, які розташовані під прямим кутом відносно один одного, в одну картинку в вигляді хреста. Таким чином можна оцінити стан фузійної здатності ока. Дослідження за допомогою тесту Баголіні полягає в розгляданні точкового джерела світла діаметром 1 см з різних відстаней, найчастіше 5 м та 33 см. Для забезпечення ефективної діагностики необхідно забезпечити високу яскравість світлової лінії.

Відомо багато способів виготовлення лінз Баголіні, серед яких за сукупністю суттєвих ознак найближчими є наступні. У відомому способі [2] виготовлення лінз Баголіні здійснюється шляхом нанесення смуг паралельних ліній з різним кроком та різної ширини методом травлення матеріалу підкладки. Загальний вигляд лінзи Баголіні, що сформована способом [2], наведено на рис. 1. Скельця Баголіні, сформовані таким способом [2], мають період $\sim 1,3$ мм, ширини штрихових та прозорих смуг приблизно однакові і становлять близько 0,6 та 0,9 мм відповідно.

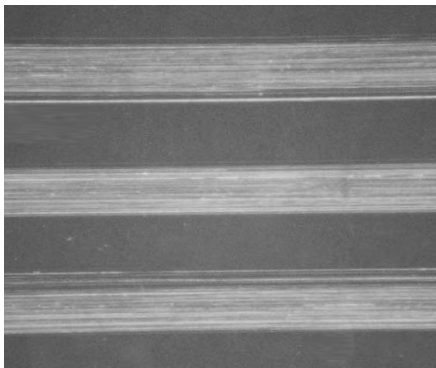
Недоліком запропонованого способу є те, що отримані штрихові лінії на поверхні прозорого матеріалу мають майже дзеркальну поверхню і отримана яскравість світлової лінії у процесі діагностики виявляється низькою. Низька яскравість світлової лінії ускладнює проведення діагностики, особливо у дітей.

Частково зазначені недоліки усунені у відомому способі виготовлення лінз Баголіні [3], який полягає у нанесенні паралельних ліній методом прямого лазерного запису на фоторезисті з наступним травленням матеріалу підкладки. Це дозволяє отримувати лінії точно визначеної ширини. Недоліком зазначеного способу [3] є складність отримання лінз з високою дифракційною ефективністю, тобто з високою яскравістю світлової лінії.

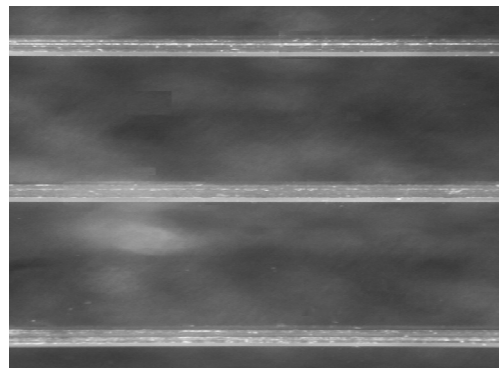
В основу винаходу поставлене завдання забезпечення високої дифракційної ефективності зображення, отриманого з використанням тонких паралельних непрозорих ліній на поверхні полімерного матеріалу.

Поставлене завдання вирішується таким чином, що спосіб виготовлення лінз Баголіні у вигляді смуг тонких паралельних ліній на поверхні прозорого полімерного матеріалу, відповідно до винаходу, включає нанесення твердосплавним різцем паралельних ліній з кроком мікропризмового рельєфу 4–5 мкм і шириною 2–3 мкм на поліровану металеву підкладку, яка подальше використовується в якості штамп для формування методом термопресування рельєфної мікроструктури у вигляді світлорозсіючих виступів на оптично прозорому полімерному матеріалі.

Між сукупністю суттєвих ознак винаходу та технічним результатом, який досягається, існує причинно-наслідковий зв'язок. Наявність високоякісних регулярних світлорозсіючих паралельних ліній мікропризмового рельєфу на поверхні оптично прозорого полімерного матеріалу дозволяє суттєво підвищити дифракційну ефективність лінз, тобто отримати високу яскравість світлової лінії у процесі діагностики бінокулярного зору.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

Приклад 1. Відповідно до запропонованого способу були виготовлені лінзи Баголіні шляхом нанесення рельєфної мікроструктури на підкладку з алюмінієвого сплаву В95 алмазним різцем з кутом при вершині 90° з наступним формуванням методом термопресування на підкладці з полікарбонату рельєфної мікроструктури. Рельєфна структура складалась зі смуг паралельних мікропризмових світлорозсіючих штрихових ліній шириною 3 мкм, які розміщувались з кроком 5 мкм. Смуги мали ширину 0,1 мм були розташовані з кроком 1 мм на круглій підкладці діаметром 35 мм. На рис. 2 наведено зображення світлорозсіючої поверхні, сформованої на поверхні підкладки з полікарбонату, а на рис. 3 – структура отриманої світлової лінії.

ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. *Сомов Е.Е.* Введение в клиническую офтальмологию. СПб., Изд. ПМИ, 1991.
2. *Desmond Cheng, George C. Woo, Elizabeth L. Irving, W. Neil Charman and Ian J. Murray* Scattering properties of Bagolini lenses and their effects on spatial vision *Ophthal. Physiol. Opt.* Vol. 18, No. 5, pp. 438-445, 1998.
3. *D. Nieto, S. Perches, M.V. Collados, J. Ares and M.T. Flores-Arias* “Bagolini lens fabrication by direct laser writing”. International Commission for Optics (ICO) Santiago de Compostela (Spain).

Розділ 8

ПУБЛІКАЦІЇ У ПРЕСІ

Наукові дослідження Інституту проблем реєстрації інформації НАН України на чолі з директором інституту академіком НАН України В. В. Петровим на всіх етапах розвитку наукових досліджень привертали увагу засобів масової інформації. У роботах інституту завжди реалізовувалися нові оригінальні ідеї, спрямовані на вирішення нагальних проблем суспільства та країни.

Зацікавленість була виявлена до створення в інституті систем оптичного запису інформації, оригінальних малогабаритних циліндричних оптичних носіїв інформації, технологія виготовлення яких була захищена десятками патентів провідних країн світу в галузі інформатики. Ліцензії на виготовлення таких носіїв придбала компанія Самсунг (республіка Корея).

Широку зацікавленість громадськості та засобів масової інформації викликала запропонована В. В. Петровим технологія розповсюдження у цифровому вигляді великих масивів інформації телевізійними каналами всією територією України. Технологія була реалізована, і протягом десяти років у робочі дні десятки мегабайт інформації передавалися користувачам по всій країні. Були створені десятки редакцій, які готували інформаційні блоки актуальної інформації.

Особливу увагу засобів масової інформації привертала можливість отримання науковцями України світової наукової інформації, раніш мало доступної широкій науковій громадськості. Встановлені на той час В.В. Петровим контакти з Інститутом наукової інформації США стали основою плідної співпраці на багато років. Журналістів цікавила розробка Програми інформатизації м. Києва. У засобах масової інформації широко висвітлювалася створена під керівництвом В. В. Петрова Концепція інформатизації м. Києва і розроблена в ІІІ НАН України корпоративна комп'ютерна мережа Київської міської державної адміністрації.

Велику увагу приділяли засоби масової інформації роботам інституту по збереженню раритетних аудіозаписів, які мають світове значення. У публікаціях відзначалося, що під керівництвом і за безпосередньої участі В. В. Петрова був розроблений, створений і впроваджений принципово новий метод і комплекс прецизійного обладнання для відтворення та реставрації звуку з воскових циліндрів Едісона, визнаний міжнародними експертами найкращим у світі. Відзначалося, що обмін відтвореними унікальними колекціями звукового надбання сприяв встановленню нового рівня наукових контактів з Ізраїлем. Відтворена колекція музичного фольклору з фондів Національної бібліотеки України ім. В. І. Вернадського (колекція Береговського) занесена до Реєстру ЮНЕСКО світових культурних пам'яток «Пам'ять світу» і стала в ньому першим об'єктом від України. Фрагменти аудіозаписів з колекції Береговського були використані для оформлення експозицій у Меморіальному комплексі історії Голокосту – Яд Вашем (Ізраїль), в Єврейському музеї і центрі толерантності (Росія), декількох фільмах компанії BBC.

У засобах масової інформації широко обговорювався запропонований В. В. Петровим і М. М. Сергієнком метод виготовлення високоякісних мікро-рельєфних структур для високоефективного лікування косоокості у дітей.

Память в наружном кармане

Приоритет. № 1. 1991 г.

Магнитные запоминающие устройства пишут во всем мире на диске. Идеальным «блокнотом» их назвать нельзя. Оптические носители информации почти исключительно дисковые. По ряду показателей – плотности записи, надежности хранения они значительно превосходят магнитные диски. Большим их достоинством также является техническая преемственность. Но и дисковые оптические носители информации уступают цилиндрическим оптическим носителям по плотности записи, времени доступа, надежности хранения и другим показателям.

Вот уже в течение десяти лет фирмы пытаются освоить технологию оптических дисков. Положение с этими изделиями таково, что даже очень богатая фирма, рискни она войти «на новенького» в круг разработчиков и производителей запоминающих устройств, ей на рынок не пробиться. Данная отрасль – это крепость, цитадель, обороняемая от посторонних десятками тысяч патентов, каждая щелочка, малейший намек на возможность проникновения извне плотно перекрыты. Изучение ситуации показывает, что около 70 % этих патентов принадлежит японским авторам, остальные американцам, поделено все, и со стороны здесь никому ничего не светит.

Запоминающее устройство, имеющее форму не диска, а цилиндра, тоненькой трубочки, было сенсацией, зафиксированной не так давно в европейских патентах, патентах США и др. (в общей сложности он патентуется в 21 стране). То, что эта новость не вызвала проявлений энтузиазма среди заинтересованных специалистов и фирм, пожалуй, неудивительно, а вот полная индифферентность к ней со стороны печати, телевидения, может показаться загадочной.

Итак, изобретение накопителя с оптической иммерсионной записью информации и оптико-механического запоминающего устройства на оптических цилиндрах принадлежит обширной группе разработчиков, возглавляемой учеными и специалистами Института проблем регистрации информации Академии наук Украинской ССР.

«Трубочка» технологически и конструктивно удобнее для обработки и может обладать высокой прочностью. Сама форма носителя информации облегчает решение задач герметизации ее внутренней полости. Туда, на внутреннюю полость, наносится регистрирующая среда. Трубочка стеклянная, и через поверхность, сквозь стекло, на нее пишут. Это связано с характеристиками применяемой здесь оптики. Глубина её резкости примерно полтора микрона, толщина же стенки 0,4 мм. Благодаря этому расхождению пылинки, повреждения на наружной поверхности стекла оказываются вне фокуса и никак не влияют на качество фокусировки. Так что это очень разумно – писать на внутренней поверхности трубочки.

Путем герметизации внутренней полости носителя удастся повысить надежность хранения содержащейся на нем информации.

Размеры трубочки примерно как у авторучки: диаметр 9–14, высота 100–170 мм. Ее высота, таким образом, меньше, чем диаметр дискеты. Преимущество первой и в другом. Если дискету положить в карман, вы ее повредите; трубочку, как авторучку, можно носить в кармане спокойно.

У дисковых носителей, как у грампластинок, большой гироскопический момент, их «сносит» к краю, и это вынуждает проявлять дополнительные заботы о поддержа-

нии надежности работы. У трубочки, напротив, диаметр маленький, следовательно, и гироскопический «снос» тоже невелик.

Важной технической характеристикой такого рода устройств является «время доступа». Это среднее время перехода от одного участка записи к другому, когда необходимо вернуться к записанному ранее или к тому, что записано впереди. Время доступа составляет примерно треть максимального времени. У магнитных носителей это примерно 10–20 миллисекунд, у оптических устройств раз в десять больше. У нового оптико-механического устройства пока что этот показатель ниже – 50 миллисекунд. Но имеются реальные возможности довести его до 10–20, то есть до уровня лучших магнитных, а значит, превзойти известные винчестерские накопители. Вообще технические характеристики «трубочек» с запасом, с перспективой. Так, информационная емкость имеющихся образцов нового изделия составляет пока 200 мегабайт, то есть того же порядка, что лучших оптических дисков. Но трубчатая конструкция носителя позволяет уровень информационной емкости повысить более, чем на порядок.

Накопители информации состоят из двух частей: считывающе-записывающего устройства и носителя информации. Винчестер имеет внутри загерметизированный носитель, он несменяемый. Чтобы сменить информацию, надо снимать не сам носитель, а все то устройство, которое пишет и считывает. Это объясняется тем, что у винчестера расстояние между головкой и носителем очень маленькое, доли микрона. Чтобы туда не попадала пыль, все герметизируется и вскрывать устройство нельзя.

Сложная, тонкая технология – в СССР производство таких систем до сих пор не освоено, хотя винчестерские накопители информации изобретены около двадцати лет назад.

В персональных электронных вычислительных машинах используется совокупность различных запоминающих устройств. Внутри размещаются оперативные кристаллические запоминающие устройства и несменяемые твердые диски большой информационной емкости. Во внешних запоминающих устройствах используются главным образом сменные дискеты небольшой информационной емкости или оптические диски. В накопителях на гибких магнитных дисках головка от поверхности дискет расположена на большом расстоянии, поэтому у дискет плотность записи меньше, чем у больших дисков. Плотность записи в оптических запоминающих устройствах составляет до 50 млн. бит на квадратный сантиметр. На «трубочке» предполагается получать значительно больше. Возможностей для этого, по меньшей мере, две: 1) трубочки могут вставляться одна в другую, получится многослойная запись; 2) используется так называемая иммерсионная, т. е. погружаемая в жидкость, оптика.

В известных оптических запоминающих устройствах используются так называемые сухие головки. А в оптико-механическом запоминающем устройстве ЕС-5153, представляющем новый класс такого рода изделий, головки иммерсионные. Это оптика, в которой по разные стороны от линзы находятся среды с разными показателями преломления. По одну сторону, допустим, воздух, а по другую некая жидкость. Носитель информации в данном случае находится в жидкости, и оптика стоит на жидкости, здесь не головка перемещается, а носитель относительно нее. За счет этого получена рекордная плотность записи. В 1989 проводились испытания и были определены размеры питов записи (пит – это ямка, углубление, плотность записи зависит от диаметра пита). Ямка имела размер 0,6 микрона, шаг записи – порядка одного микрона.

Наконец, в конструкции с записью на оптических цилиндрах чрезвычайно важна возможность перезаписи информации. В настоящее время авторы патентуют четыре разных механизма стирания информации.

Таким образом, по техническим характеристикам устройство может превзойти за-

рубежные образцы. Совершен по сути дела мощный прорыв в одной из авангардных областей современной техники. Разработчики новой системы могли бы успешно выйти на международный рынок с конкурентно-способным продуктом. Но. Институт проблем регистрации информации создан два года назад, штат его невелик, в его распоряжении весьма ограниченные средства. Его могли бы заинтересовать предприятия, которые в связи с конверсией намерены перейти на производство мирной наукоемкой продукции. И чтобы у них были средства, которые они готовы вложить в нечто перспективное.

При переходе от промышленных образцов к освоению серийного производства, как это нередко случается, встретились затруднения. Нет, впрочем, худа без добра. Как говорит один из ведущих авторов этой системы, «есть эффект горы». Когда взойшли на ее вершину и оглянулись назад, обнаружили, что можно было взбираться иным маршрутом и легче достичь цели. Тем более, что вначале, когда приступали к этой работе, была задача побыстрее выдать на советский рынок изделие, очень нужное. У нас вычислительной техники очень мало, все закупали за границей, так что крайне желательно было создать свое. И поэтому было разрешено (рекомендовано) не обращать внимания на патентную защищенность, для внутреннего рынка «передирать», использовать зарубежные патенты, – лишь бы работало.

Теперь другой подход. Ставится задача выйти на внешний рынок. В 24 странах запатентованы идеи «трубочки».

Разработчики, повторяем, испытывают затруднения с финансированием. По подсчетам некоторых из них, нужны 1–1,5 миллиона на два года. Один год – на то, чтобы сделать новый опытный, образец (увиденный «с горы») и еще один – чтобы подготовить образец к государственным испытаниям. «Мы стараемся в этом изделии не использовать ничего такого, что потребовало бы слишком сложной технологии», – сообщил один из разработчиков корреспонденту «Приоритета». (Два года – это в советских условиях, когда на каждом шагу натыкаешься на препятствия).

В марте 1990 на Ежегодном собрании Академии наук СССР ее президент академик Г.Марчук посвятил в своем докладе, как обычно, каждому научному направлению абзац. Отдельный абзац был и о новой оптико-механической системе, предназначенной для использования в качестве внешнего запоминающего устройства прямого доступа – изобретению и совместной разработке Института проблем регистрации информации АН УССР и Специального конструкторского бюро оптических запоминающих устройств Министерства радиопромышленности СССР.

Весьма курьезна главная, может быть, причина, почему столь неординарную научно-техническую новинку обошла вниманием широкая пресса. По крайней мере отечественная. «Мы уже много зарубежных патентов погубили, но советских авторских свидетельств по этим изобретениям почти нет, – рассказывал нам один из авторов разработки. – Вышел казус: у нас на руках зарубежные патенты и гриф «не подлежит опубликованию» для своих.»

Мелочь, но показательная.

«Все–Всім». Від комп'ютерної газети до єдиної інформаційної системи в Україні

В. В. Петров

Національний часопис «Україна». № 11. 1992 р.

Україна стрімко рухається до ринку. Та поки що ця стрімкість позначена лише намірами і не підкріплена належним чином законодавчо; головне ж, сьогодні немає відповідної інформаційної інфраструктури, яка б взяла на себе інформаційне забезпечення ринкового механізму господарювання. Формування нового зводу законів суверенної України – процес тривалий і відповідальний. Хоч би як спішила «команда Плюща», їй знадобиться ще не менше півтора-двох років. Адже практично заново доводиться переосмислювати всю систему цивільного і кримінального кодексів. Якщо подивитися на історичні паралелі, то побачимо, наприклад, що «команді Наполеона» знадобилося понад два роки для величезної праці по створенню Цивільного кодексу Франції, який є повним зводом цивільних законів, точно класифікованих, що утверджують і регулюють систему взаємин у суспільстві. Уже перебуваючи на острові Святої Єлени, Наполеон говорив: «Моя справжня слава не в сорока битвах, виграних мною; Ватерлоо їх перекреслило. Але не буде й не може бути забутий Цивільний кодекс».

Порівняно з Францією початку XIX століття становище України трагічніше. Економіка й фінанси розладнані, сільське господарство малоефективне; назад, до централізованої союзної економіки, вороття немає, а шляхи вперед не тільки не прокладені, а й незвідані. Було б наївно сподіватися, що шляхи виходу із цього становища можна знайти під час багатогодинних засідань у високих інстанціях. Керівництво України, як досвідчений мисливець, повинно спустити з повіддя активні комерційні, наукові й технічні сили, які зможуть не тільки вивести на здобич, а й принесуть її в зубах. Та, на жаль, і тут не все так просто. Адже «комерційні хорти» дотепер вирощувалися тільки в Москві, а в Україні вони лише підрастають.

Що ж треба зробити для того, щоб прискорити процес налагодження комерційних ринкових зв'язків перш за все в межах самої України, а потім і за її кордонами, в тому числі й з країнами СНД?

Поряд з розв'язанням законодавчих питань необхідно в найкоротші строки створити всі умови для оперативного обміну комерційною, науковою, технічною, діловою та іншою інформацією між партнерами як усередині України, так і з колегами за рубежом. Якщо це завдання не розв'язати протягом кількох місяців, то процес переходу до ринкової економіки буде довгим і болісним, не уникнути великих економічних втрат через неоперативність одержання комерційної та іншої ділової інформації.

Стрімкі темпи розвитку світової економіки, її глобальний характер диктують необхідність створення сучасної інформаційної інфраструктури. Інформація стала одним з провідних міжнародних товарів та ключовим елементом глобальної економіки й політики. Рівень інформаційних технологій в кожній країні справляє визначальний вплив на конкурентоздатність і роботу економіки держави як єдиного цілого.

Та з великим жалем доводиться констатувати, що в Україні практично цілком відсутня сучасна інформаційна інфраструктура. Сьогодні багато говориться про кризу в вугільній промисловості, та все ж за рівнем видобутку вугілля Україна посідає одне

з перших місць у світі. Аналогічна ситуація з металом і хлібом. А в галузі комп'ютерних телекомунікацій становище просто катастрофічне через відсутність національної системи передачі комп'ютерної інформації та відсутність загальнодоступного виходу в світові комп'ютерні мережі. В Україні просто немає жодного загальнодоступного банку комп'ютерної інформації, в той час як у Франції їх налічується понад 8 тисяч практично на таку ж кількість населення.

Звідси й причина інформаційного голоду, від якого страждає наше суспільство. Це без перебільшення можна назвати своєрідним «тромбом», що заважає розвиткові й у бажаному нам руслі глибинним зрушенням, які пробивають собі путі в економічній, соціально-політичній, суспільній, науковій та інших сферах життя молоді незалежної держави.

Само собою зрозуміло, що, не створивши умов, за котрих будь-яка необхідна інформація стане доступною всім і кожному, ми приречені діяти практично наосліп, нерішуче уповільнено, нецілеспрямовано. В такому разі нам не уникнути й серйозних втрат, бо той, хто діє методом «спроб і помилок», як правило, програє. Доказів можна було б навести незліченно, в тому числі й найсвіжіших, з непрочахлої проминувшини.

Вчасно, а головне з мінімумом витрат видалити цей небезпечний «тромб» й уже сьогодні забезпечити максимально повне, упереджувальне задоволення попиту, який стрімко зростає, на різнобічну інформацію можда тільки на базі нових інформаційних технологій, на основі останніх досягнень технічного прогресу насамперед у таких галузях як електроніка, кібернетика, обчислювальна техніка, інформатика.

Важливим чинником і визначальною особливістю інформатизації сучасного суспільства є різке збільшення виробництва і масового поширення персональних електронно-обчислювальних машин, яких у всьому світі нині налічується понад сто мільйонів одиниць. Продуктивність їх уже сягає кількох мільйонів операцій за секунду. Сьогодні ми є свідками чергового витка технологічної революції, який спостерігається в галузі створення ПЕОМ, що дедалі більше утверджуються в якості інтелектуального терміналу користувачів. Комп'ютери стали могутнім, донедавна немислимим інструментом спілкування людини з інформаційними банками даних — цими справжніми скарбницями людського знання, образно кажучи, спілкування людини з самим життям, мовби спресованим на носіях, що читаються машиною, з життям, яке чекає допитливого користувача.

Активні зусилля до поповнення парку персональних ЕОМ, звичайно ж, докладаються і в Україні. Прогнозуючи ситуацію, можна говорити про те, що ближчим часом їх число може досягти мільйонної позначки. Що ж до інформаційних ресурсів, то вихід бачимо в тому, що паралельно із створенням власного національного банку комп'ютерної інформації, проект якого, доречно сказати, за дорученням Державного комітету України з науково-технічного прогресу розробляється нашим інститутом, необхідно підтримувати найінтенсивніший обмін із зарубіжними банками даних, хоча і тут є свої камені спотикання.

Справа в тому, що існуюча технологія обслуговування користувачів за індивідуальними запитамі і недостатньо висока швидкість передачі інформації через телефонні мережі знижують ефективність використання кінцевих персональних ЕОМ. До того ж відчутно дорожчає вартість самої інформації.

Згадаймо також, що пропускну спроможність нашої телефонної кабельної мережі не зрівняти з телефонними комунікаціями розвинутих країн, які витратили на їх створення роки й уклали багатомільярдні капітали. Чи має нині Україна в своєму розпорядженні такий час і такі кошти? Звичайно ж, ні. То чи ж є вихід із парадоксального становища? Вчені й спеціалісти нашого інституту на це питання відповідають одно-

значно: так, є! Цетвердження базується на фундаментальних науково-дослідницьких і дослідно-конструкторських роботах в галузі створення оптичних накопичувачів інформації для ЕОМ, інформаційно-обчислювальних систем зберігання, обробки й передачі великих обсягів інформації на машинозчитуваних носіях. Ця робота здійснюється колективом інституту.

Останнім часом Інститутом проблем ресстрації інформації АН України розроблений і впроваджений у практику зовсім новий принцип масового поширення інформації – принцип комп'ютерної газети. Суть його в тому, що інформація передається в цифровому вигляді по каналу телевізійного мовлення за допомогою існуючих телевізійних передавачів і через спеціальні телевізійні адаптери записується безпосередньо в пам'ять ПЕОМ.

Науково-технічна розробка інституту втілилася в життя у вигляді Української електронної комп'ютерної газети «Все – Всім», зареєстрованої 8 лютого 1991 року Держтелерадіо України як засіб масової інформації.

Віднині газета «Все – Всім», ніби чарівний птах Фенікс, який постійно оновлюється, понесе по всій території України відомості для власників персональних комп'ютерів, передаючи протягом однієї години до шести тисяч газетних полос, або, іншими словами, до 100 000 сторінок машинописного тексту найрізноманітнішої інформації, яка формується, обробляється і передається в ефір Центром комп'ютерної інформації, що діє в структурі ІПРІ АН України.

В цьому політематичному виданні охоплено практично всі сфери життя і діяльності, а також відображено інтереси кожного – від державних підприємств і установ до окремих громадян. Тут зосереджено науково-технічну інформацію обсягом 2,5 млн документів щорічно. Вона генерується ВІНІТІ, ВНТІ центром, НВО «Пошук», Волгоградським ЦНТІ та іншими провідними центрами НТІ. Через газету її абоненти можуть вільно обмінюватися між собою власною інформацією. Комерційна інформація дасть найостанніші відомості про матеріальні цінності, які реалізуються на ринку в розрізі видів продукції, регіонів тощо. Тут кожний, кому потрібно, знайде повідомлення провідних бірж, брокерських контор та інших ринкових структур.

Тексти законодавчих актів Верховної Ради України, указів Президента, постанов Кабінету міністрів країни і коментарі до них спеціалістів, безсумнівно, цікавлять сьогодні абсолютно всіх, особливо ж в умовах, коли процес розробки основ права тільки розпочався. У випусках газети огляди ділової преси, а це понад 200 джерел із біржових новин, підприємництва, цін, курсів валют і т. п.

Великий інтерес до інформації банків даних ЮНЕСКО, Всесвітньої академмережі, зарубіжної комерційної і рекламної інформації. Така трансляція розпочнеться через кілька місяців.

І, нарешті, рекламні оголошення. Абоненти Центру комп'ютерної інформації можуть передавати безкоштовно всім абонентам газети або вибірково до 2-х сторінок щодня власних повідомлень.

У рамках газети організуються асоціації спеціалістів і електронні журнали, які є оперативним засобом спілкування спеціалістів за профілями діяльності.

Якість і оперативність підготовки інформації забезпечують створені в рамках «Все – Всім» відповідні її розділам редакції.

Центр комп'ютерної інформації оснащується сучасними засобами обчислювальної техніки і комунікаційним обладнанням, в тому числі розробленим ІПРІ АН України оптичним накопичувачем інформації великої ємності (200 мегабайт). А це ціла бібліотека, що містить 500 томів книг. І весь текст буде записано променем лазера на оптичному циліндрі довжиною 100 і діаметром 14 міліметрів.

1992 року київське ВО «Електронмаш», Смілянський радіоприладний завод і ВО «Київський радіозавод» випустять 45 тисяч телевізійних адаптерів, що дозволить в найкоротший строк об'єднати в єдину інформаційну систему всі крупні й середні адміністративні, господарські й комерційні структури України і зробити рішучий крок на шляху створення інформаційної структури сучасного суспільства і ринкової економіки.

Орієнтовна вартість телевізійного адаптера разом з програмним забезпеченням становитиме близько 20 % інформаційного обслуговування. Вартість апаратури, математичного забезпечення і абонементного обслуговування невелика і доступна навіть малому підприємству.

Певна річ, було б наївно вважати, що розв'язати таке важливе завдання можна без залучення крупних виробників товарів і послуг, фінансово-комерційних, науково-виробничих та інших ключових структур будь-яких форм власності. Саме з цих позицій виходили ініціатори створення на установчій конференції 17–18 березня 1992 року, яка відбулася в нашому інституті, Консорціуму «Всеукраїнський ринок». Представники найкрупніших підприємств машинобудування, банків, бірж, акціонерних товариств і асоціацій з усіх регіонів України підтримали ідею створення єдиної інформаційної системи для становлення на її території ринкової інфраструктури.

Засновниками «Всеукраїнського ринку» виступило понад 50 підприємств і організацій.

Ухвалено статут, обрано керівні органи Консорціуму.

Діапазон поставлених перед ним завдань достатньо широкий, а саме: встановлення прямих зв'язків між виробниками і споживачами продукції з використанням комп'ютерної системи обміну інформацією і взаємних розрахунків; забезпечення координації виробничої, комерційної, зовнішньоекономічної діяльності членів Консорціуму і створення єдиної інформаційної системи на Україні на базі сучасних інформаційних технологій; підвищення прибутковості і комерційної діяльності підприємств – членів консорціуму на основі кооперації з виробниками на внутрішньому і зовнішньому ринку; розв'язання проблем зайнятості при одночасному полегшенні проблем матеріально-технічного забезпечення виробництва за рахунок створення єдиних інформаційних структур; створення Всеукраїнської електронної біржі і комп'ютерної системи взаємних розрахунків; створення вузла супутникового зв'язку для виходу всіх членів Консорціуму в міжнародні комп'ютерні мережі в режимі «On line» (безпосередній доступ); здійснення інформаційного обміну по комп'ютерних мережах одного з другим, із зарубіжними партнерами та іншими джерелами інформації; створення і підтримка банків даних законодавчої, комерційної, науково-технічної та інших видів інформації; створення інформаційних баз даних і поширення комп'ютерної інформації за допомогою комп'ютерної газети «Все – Всім».

Таким чином, двері в світ нових інформаційних технологій, які, безсумнівно, конструктивно впливатимуть на становлення ринкових стосунків на Україні, відчинено.

Пропозиції об'єднань, підприємств, установ, організацій, інших структур щодо встановлення ділового співробітництва зустрінуть з нашого боку найдоброчисливіше ставлення.

В банк... по інформацію

Інтерв'ю з В. В. Петровим. Національний ілюстрований часопис «Україна».
№ 35. 1992 р.

Вячеслав Васильович Петров – відомий фахівець у галузі інформатики, член-кореспондент АН України, академік Академії технологічних наук України. Він очолює Інститут проблем реєстрації інформації, де нині розробляють програму «Національний банк комп'ютерної інформації України».

На запрошення редакції тижневика Вячеслав Петров більш детально ознайомив із цією важливою програмою, відповів на запитання.

– Кажуть, інформація – це половина успіху. Які вони, сучасні тенденції у справі інформатики, і яка тут перспектива?

– На сьогоднішній день ситуація склалася так, що увесь світ являє собою єдиний інформаційний простір. І не потрапити в цей простір – все одно, що відстати від поїзда. Досі ми мали, та й тепер маємо труднощі з телекомунікаційною апаратурою – її не було в продажу, а тим часом технологія комп'ютерної електроніки на Заході пішла так далеко, що наздогнати її просто неможливо, створюючи власну техніку, яка могла б працювати на рівних. Але щоб підключитися до єдиного інформаційного процесу, хочеш не хочеш – таку апаратуру необхідно мати.

Скажу відверто: техніка коштує дорого. Далеко не всі фірми й підприємства можуть її купити, тож ми взяли на себе складне завдання – створити національний банк комп'ютерної інформації України, через який усі, кому потрібна оперативна інформація, в тому числі з-за кордону, могли б її одержувати. Ми розуміємо, наскільки це важливо і потрібно саме тепер, – створення єдиної господарської системи без інформаційного забезпечення просто неможливе.

Програма «Національний банк комп'ютерної інформації України» знайшла підтримку в багатьох інститутах, які вирішили об'єднати свої зусилля, щоб через півтора – два роки уже мати оригінальний український центр із власними засобами зберігання великих об'ємів інформації, з машинами для обробки текстової інформації, з оригінальним математичним забезпеченням. Але й ці півтора року не хотілося б втрачати. Й ми не гаємо часу, купуємо необхідну апаратуру, готуємо кадри.

Так, ми вже маємо супутникову систему зв'язку, яка дала можливість виходити на всі інформаційні банки світу. Тож ми вже тепер можемо домовитись, щоб, наприклад, редакція «України» могла по комп'ютерних лініях зв'язку через нас виходити на будь-яке інформаційне агентство світу. Варто лиш укласти відповідні угоди, а все інше – то вже справа техніки

Ми ведемо переговори з фірмою IBM, щоб вона поставила потужний комп'ютер, в який могли б закладати свою інформацію 20–30 провідних підприємств України.

Чому це важливо? У колишньому Радянському Союзі була певна структура, яка об'єднувала підприємства – по галузях, потім на рівні Держплану тощо. Тепер же усе це повністю зруйноване. Тому підприємства перебувають в жахливому стані – у них нема жодних інформаційних каналів, по яких би вони могли обмінюватись інформацією із споживачем. Тому, мабуть, виникають просто анекдотичні ситуації: нема автомобільних акумуляторів, зате є перевиробництво акумуляторів до тракторів.

І все – через брак інформації. А тому створення Єдиного інформаційного банку, у якому були б відомості про всі підприємства, де можна було б довідатись, хто що робить і кому що потрібне – питання для економіки надзвичайно важливе.

Чи є така інформація взагалі? Звичайно. Щомісяця кожне підприємство заповнює статистичну форму П-2 по виробництву, з якої видно, що виробляється і хто споживає продукцію. І всі ці відомості осідають десь в Міністерстві статистики, а потрібної інформації зацікавлені особи чи виробництва дістати не можуть. Така ж ситуація і в науці, і в культурі та інших галузях.

Створення такого національного банку комп'ютерної інформації, який би дав можливість інформаційно об'єднати великі й малі підприємства, з високим технологічним рівнем і не дуже високим – як на сьогодні – дуже важливий елемент становлення державності України. Без цього ми просто не зможемо побудувати сучасну державу.

Скажімо, дуже важливу роль можуть відігравати іноземні інвестиції. Так чому ж сьогодні не йдуть до нас західні партнери? Здебільшого через те, що не знають, до кого звернутись. Пробують налагодити контакт з однією, другою фірмою, де є, звісна річ, трохи активніші, але тією активністю часом і вичерпується уся вага фірми. Адже тепер дуже багато малих структур, які в своїй діяльності усе ще на рівні пошуку. Тому західні партнери сконтактуються з однією такою фірмою, другою – і на цьому зв'язки часто припиняються. Вони без належної інформації за діло братись не будуть.

– Де ми перебуваємо тепер з точки зору реалізації вашої програми, на якому рівні?

– Заради створення єдиного інформаційного простору, ми відклали багато важливих справ. Тож абсолютно реально, що уже в першому кварталі наступного року наш банк почне функціонувати.

Як тільки ми оголосили свою програму і Державний Комітет України з питань науки і технології підтримав її, до нас почали звертатися інші інститути з пропозиціями взяти участь в реалізації. Відбулася зустріч з ректором Київського політехнічного інституту, який запропонував об'єднати інститутські й наші комп'ютерні потужності. Нас, звичайно, зацікавив потужний моделюючий комплекс КПП для автоматизації проектування, й тут ми знайдемо спільні інтереси, бо в потужностях зацікавлені також.

Щоправда, у нас звикли працювати вісім годин. Мабуть, в другу зміну не трудиться жоден творчий працівник, зокрема, в нашій, науковій галузі. Але якщо такий об'єднаний потужний комплекс стане до ладу, то невже він буде діяти на добу тільки вісім годин, а решту часу стоятиме? Хіба можна допустити, щоб гуляли потужності, вартість яких оцінюється в багато мільйонів доларів? Звичайно, це марнотратство. Тому для такої системи можна поставити задачу, наприклад, обслуговування комп'ютерною інформацією національного банку. Виграш тут очевидний – і потужності завантажені, й до банку можуть звернутись зарубіжні клієнти в будь-який час.

Тож ми домовились із деякими нашими інститутами об'єднати унікальні потужності, щоб могли виконувати різні завдання – від проектування аж до фінансових операцій та взаємних розрахунків між підприємствами. А також для того, щоб мати чітке уявлення, хто що робить і виробляє, і на підставі цього зразу ж укладати комерційні угоди.

– Якщо порівняти із світовими досягненнями, то чи не вийде, то ми винаходимо велосипед?

– Думаю, не вийде. Хоча за рівнем комп'ютеризації ми дуже відстали від Америки, Японії, Німеччини, Франції. Але дещо у нас є таке, чого і в них нема. Ми, напри-

клад, завершили розробку й ведемо зараз випробування оптико-механічного запам'ятовуючого пристрою на оптичних циліндрах – електронної пам'яті, аналогів якій нема в світі. Зовні це такий собі циліндр, розміром з губну помаду, але в ньому можна записати 200 мегабайт інформації. Це приблизно 100 книг по 500 сторінок кожна. Така новинка дасть можливість повністю розв'язати проблему зберігання інформації.

Оптичні циліндри з'явилися завдяки тому, що ми пішли принципово новим шляхом у створенні запам'ятовуючих пристроїв для комп'ютерів, на що ми вже маємо патенти зі всього світу. Для того, щоб така пам'ять могла зійти із заводського конвейера, потрібні високоякісні скляні трубки-ампули. Їх у нас виготовляють для медичної промисловості. Однак та якість нас не влаштовує. Два роки морочились виробничники над удосконаленням своїх виробів, але так нічого й не домоглися. Довелось за валюту купувати скло в Японії, виготовляти з тих трубок циліндри й тільки на них записувати інформацію.

Чому я про це розповідаю? Щоб наголосити на значенні світової інтеграції у розвитку техніки. Адже нам також пропонували будувати власний завод з виготовлення трубок й тільки після того розпочинати виробництво оптичних циліндрів. Скільки б часу на це пішло – ніхто не береться сказати, але той час був би втрачений і ми могли б поступитися пріоритетом у важливій справі. Тепер же питання вирішено, й ми вже наступного року будемо мати пам'ять, яка забезпечить збереження всієї інформації, що її виробило людство протягом віків.

Можливостей прориву в галузі науки і технології на Україні більш ніж достатньо саме завдяки високому технічному потенціалу. І чим швидше ми реалізуємо таку можливість, тим швидше піднімемося до загального рівня. Адже не може країна спеціалізуватись по всіх провідних напрямках. Згадаймо: деякі країни за основу розвитку взяли виробництво сиру чи вирощування тюльпанів, й цього їм достатньо, щоб забезпечити всім необхідним свій народ. Ще раз наголосимо, що нині головне для України – знайти ті напрямки: в економіці, технології, культурі, де можливий такий прорив. Й саме їх необхідно всіляко підтримувати. Як на мене, то ми цілком можемо вижити за рахунок високого технічного рівня, якщо його розвивати й поглиблювати.

– А от недавно одна з російських газет написала, що українська академічна наука без Москви нічого не варта.

– Це абсурд. Хоча б тому, що протягом останніх тридцяти років наша наука розвивалась значною мірою в галузі прикладних досліджень. Поряд із фундаментальними, звичайно. Тривалий час нас фінансували через союзний бюджет, через Академію наук СРСР. Навіть для крупних досліджень у провідних галузях на Україну та й в інші республіки ніяких коштів не виділялось. В цій ситуації Президія Академії наук України прийняла правильне рішення: всіляко підтримувати фундаментальні науки на високому рівні, а прикладну науку розвивати за рахунок провідних галузей промисловості, – оборонної, машинобудівної. Й вийшло так, що українська наука на 75 відсотків фінансувалась за рахунок виробництва, виконуючи прикладні дослідження. Як виявилось, згодом, на сьогодні це неабиякий плюс, бо створився високий науковий потенціал, визнаний тепер у всьому світі.

Слід наголосити, що останнім часом нашу науку дуже підтримує уряд, піклується про її кадри, матеріальне забезпечення. Тому на відміну від Москви та Санкт-Петербурга наші науковці не поспішають виїздити за кордон, воліють працювати у себе вдома. Щоб увійти в наш банк даних, потрібно зовсім небагато: стандартний персональний комп'ютер, – є спеціальна модель таких машин для зв'язку по телефонному каналу, й більше нічого з технічних засобів. У наш банк даних одночасно

можуть входити 200 абонентів, хоча всього це може бути десятки тисяч. А в будь-який момент з машиною можуть працювати 200 чоловік. Вони матимуть можливість обмінюватися інформацією один з одним, працювати з базою даних. Зараз важливо укласти угоди з провідними інформаційними агенствами світу для того, щоб ми могли одержувати всю інформацію, що є в них, але тоді через нас йтиме інформація з України. Бо коли кожне підприємство добуватиме інформацію, йому це дорого обійдеться.

– Чи гарантовані будуть споживачі від небезпеки дезінформації?

– Аби уникнути цієї небезпеки, ми поставили вимогу: вся інформація має бути авторською. Тобто кожний, хто передав інформацію, відповідає за неї перед законом. Звичайно, в банку даних може бути й розділ закритої інформації, як це практикують повсюди, але то вже тема іншої розмови.

Гадаю, що наш банк даних особливо прислужиться малим підприємствам. Хоча б тому, що Україна досі відзначалась великими фабриками й заводами з великою концентрацією робочої сили, в той час же малі виробничі колективи досі залишались на узбіччі науково-технічного прогресу, а це не виправдано економічно. Згадаймо: в одній з найпередовіших країн світу Італії 90 відсотків трудящих працюють на фірмах, де колективи не перевищують сотні чоловік. На Заході давно зрозуміли: малі підприємства більш динамічні, ними легко керувати, їх можна швидко переорієнтувати. А коли й збанкрутує таке підприємство – цього економіка не відчує. Звичайно, і там є гіганти, але вони відіграють здебільшого координуючу роль, на них працюють сотні й тисячі малих фірм. Світова практика показала ефективність такої форми виробництва, тож цілком можливо, що Україна піде саме по цьому шляху. Отже, мале підприємство. Воно працюватиме в дуже вузькому напрямку, і йому, звичайно, потрібна конкретна й дуже точна інформація. Враховуючи це, ми повинні будувати свою роботу так, щоб замовник одержував у нас інформацію в інтегральному вигляді. Тільки тоді він буде в нас зацікавлений. Такі приклади уже є в світовій практиці.

Звичайно, ми не можемо тут все сліпо копіювати, у нас інші умови, та й на Заході вони змінюються. Окремі фермери тепер здебільшого об'єднуються, створюючи щось на зразок кооперативів, спеціалізуються і т. д. Плануючи співпрацю із сільським господарством у себе вдома, ми повинні враховувати не тільки окремих фермерів, яких ще дуже мало, а й колгоспи та радгоспи, у них свої потреби й вони досі є основними годувальниками України.

– Академік Глушков обстоював єдину інформаційну систему Союзу, розробляв АСУ, різні централізовані методи управління. Тепер говоримо, що такі системи управління завдали багато шкоди. Отже, концепція Глушкова не витримала іспиту на життєздатність, а де ж тоді гарантія, що ваші ідеї виявляться кращими?

– Перш за все, давайте розберемось, у чому полягає відміна того, що ми тепер реалізуємо, і того, що пропонували й розробляли 15–20 років тому академік Глушков та його учні. Наукова спадщина академіка Глушкова безсумнівна. Всі технічні й наукові рішення його актуальні і тепер. Але згадаймо, в яких умовах він жив і працював. За умов жорсткого планового господарства, тому розробка його інформаційних систем була скерована на те, щоб всіляко підтримувати централізовану структуру господарювання, – іншими словами, домогтися, щоб вся інформація надходила від підприємств в гавк, потім у міністерство й так аж до уряду. Для цього й проектувались відповідно великі машини, здатні підтримувати плановий механізм господарювання.

Нинішні методи у світовій інформатиці полягають в тому, щоб кожному на його робочому місці дати інструмент, який дозволив би йому самому, безпосередньому

виробникові, одержувати саме ту інформацію, яка йому потрібна для праці. Тобто, те, що тоді робилось,— усе було «на благо суспільства», тепер же ми ставимо за мету підвищення виробництва та інтенсивності праці кожного конкретного виробника.

Тому навіть невеличкі підприємства у 20–30 чоловік, маючи один на всіх комп'ютер, можуть через наш центр одержати всю необхідну для них інформацію. Їй відповідно передати свою. В цьому й полягає принципова різниця, іншими словами – настає ера інформатизації знизу. Їй можливим це стало завдяки створенню персонального комп'ютера, тобто останні 10–12 років. Чому так швидко розповсюджуються персональні комп'ютери? Та тому, що сприятливий для них ґрунт уже був підготовлений великими обчислювальними машинами, виробництво яких широко провадилось також на Україні. Тепер – відносно гарантій. Ми маємо приклади багатьох зарубіжних країн, які пішли цим шляхом. Хоча, гадаю, нам не варто сліпо копіювати цей шлях, можна деякі етапи пропустити, скориставшись їхнім досвідом, щоб швидше інтегруватись у світові досягнення.

– Ви, Вячеславе Васильовичу, молодий директор молодого інституту. Скажіть будь ласка, кілька слів про колектив, який створює інформаційне забезпечення України.

– В 60-х роках у Києві було дві кібернетичні школи – академіка Віктора Глушкова (цифрова обчислювальна техніка), та академіка Георгія Пухова (аналогово-гібридна обчислювальна техніка), до якої належав і я. Років двадцять наша група займалась проблемами оптичної пам'яті, на нашому рахунку перший у світі накопичувач на оптичних дисках. Згодом ми вийшли на оптичні циліндри, про які вже згадувалось. Вони й будуть застосовані в персональних комп'ютерах. Отже, наш Інститут проблем реєстрації інформації створювався не на голому місці, уже на початку його заснування було близько двохсот науковців з чітко окресленим напрямком. Нині в колективі трудиться 500 чоловік, більшість з яких так чи так причетні до створення національного банку комп'ютерної інформації. Зараз уже розпочинається освоєння будівельного майданчика під цю споруду,

– Читачів журналу конкретно цікавило б таке: як-можна підключитися до банку комп'ютерної інформації що це буде коштувати?

– Для цього щонайменше потрібен комп'ютер. Для редакції журналу «Україна» ми такий комп'ютер передамо. Обладнаємо також відповідну систему зв'язку. Тоді ви з цього комп'ютера через нашу станцію супутникового зв'язку зможете виходити на інформаційні агентства світу.

Тепер, скільки це коштуватиме. Реальна ціна інформації складається із вартості каналу зв'язку – треба платити за час, – а також із самого змісту інформації. Якщо редакція укладе угоди з будь-яким інформаційним агентством світу і господарі дозвлять користуватись їхнім банком даних безкоштовно (а таких варіантів є скільки завгодно), то платити за інформацію не доведеться. Тільки за канал зв'язку. За міжнародними стандартами один мегабайт інформації тепер коштує 400 доларів. Що таке мегабайт? Це 200 сторінок тексту. Так що головне для вас тепер, гадаю, знайти спільну мову з колегами – інформаційними агентствами, укласти з ними відповідні угоди.

А коли в редакції буде комп'ютерний набір тексту (а до цього, очевидно, йдеться), тоді можна буде створити навіть банк даних редакції. Такою інформацією, безперечно, зацікавилися б інформаційні агентства, готуючи той чи той матеріал про Україну. А то вже прямий шлях до взаємообміну інформацією, до тіснішого взаєморозуміння між народами.

Розмову записав Федір МОРОЗ

Вячеслав Петров начал в Украине третью компьютерную революцию

Геннадий Неверов

Бизнес. № 29 (135). 1 сентября 1995 г.

Первое электронное потрясение состоялось, когда появились компьютеры. Второй исторический переполюх случился при появлении и массовом распространении персональных вычислительных машин. Третью компьютерную революцию породил профессор Вячеслав Петров со своими соратниками силами Института проблем регистрации информации (ИПРИ) Национальной академии наук Украины, создав удобную и дешевую систему поставки больших объемов информации в память персональных компьютеров. Информация транслируется с телевизионных передатчиков – по телевизионному каналу – со скоростью 1 Мбит в секунду и воспринимается обычной наружной телевизионной антенной. Нужен еще телевизионный адаптер, который преобразует принимаемые сигналы в вид, воспринимаемый компьютером: он представляет собой устройство величиной с системный блок компьютера.

Система разработана, внедрена и запатентована в 1993 г. Ежедневно, кроме субботы и воскресения, с 14 час. 40 мин. до 15 час. 40 мин. по первой программе украинского телевидения передается от 40 до 60 Мбайт информации, классифицированной по 76 разделам. Абоненты получают те рубрики, на которые подписались. Стоимость подписки одной рубрики в соотношении с ценностью и оперативностью получаемой информации – символическая: от 2 до 20 долларов в месяц. Некоторые разделы транслируются бесплатно. Эту уникальную информационную систему авторы назвали «Все–Всем».

Передастся правовая, экономическая, научно-техническая, рекламная информация, любая, на которую есть спрос. Распространяются в электронной записи некоторые газеты, в том числе подборки материалов газеты БИЗНЕС (ее коммерческая информация стоит 4 USD, публикации – 5 USD в месяц).

Один из разделов – реферативная информация Института научно-технической информации США (151) на английском языке по 236 рубрикам, охватывающая около четырех пятых всех научных журнальных публикаций мира. (Не все, потому что реферируются только отдельные журналы, отвечающие определенным требованиям, издающиеся на протяжении 15 лет).

Высокая значимость названного телевизионного распространения данных заключается в его дешевизне (не нужна прокладка кабелей), скорости передачи, надежности, чрезвычайно широком ассортименте передаваемых данных, из которых можно сделать выбор. Обычно не используемые возможности компьютеров по обработке значительного количества информации с применением указанной системы реализуются в полной мере.

Можно ли назвать перечисленные достоинства революцией в информатике? Нужно! Количество лесов, из которых делают бумагу, на планете резко сокращается. Уже в ближайшем будущем будут быстро расширяться электронные способы создания и распространения в электронной записи газет и журналов. Учитывая стремительно возрастающее число пользователей персональных компьютеров, кабельная связь позволит обмениваться между ними сообщениями в объемах личной почты, но пропу-

стить то количество информации, которое передается в системе «Все – Всем», они не смогут.

Вячеслав Петров, директор ИПРИ, возглавляет эту и некоторые другие разработки, ведущиеся в институте. Он родился в городке Лиски Воронежской области на берегу Дона в семье железнодорожного машиниста. Детей было семь братьев и сестра, самый младший – Вячеслав. Родители дали высшее образование всем детям. Перед поступлением в ВУЗ Вячеслав выбирал: Литературный институт им. М. Горького или наука. Выбрал Харьковский политехнический институт. Этот институт основал крупный ученый В. Л. Кирпичев, который впоследствии создавал также Киевский политехнический институт. Выпускники ХПИ любят напоминать, что их институт старше КПИ.

В ХПИ была создана самая крупная в Советском Союзе Лаборатория математического моделирования, где на созданных в этом же институте аналоговых вычислительных машинах решали системы из сотен нелинейных дифференциальных уравнений, которые и сейчас решаются с трудом. В лаборатории собрался коллектив из пытливых студентов, ставших впоследствии известными украинскими учеными. После окончания института Вячеслав остался работать инженером на кафедре. Позднее он поступил в аспирантуру Института кибернетики к Пухову Георгию Евгеньевичу. В ИК защитил кандидатскую диссертацию «Запоминающие устройства на матрицах сопротивления». После опубликования идеи Петрова появились программированные матрицы диодов – первые ПЗУ, реализованные в Зеленограде.

В 1967 г. в трех страницах кандидатской диссертации Петрова было показано, что, используя новые, указанные им физические методы, можно значительно поднять плотность записи информации в светочувствительных неорганических материалах.

В связи с большой перспективностью разработок группы Петрова, Государственный комитет по науке и технике СССР утвердил и финансировал в рамках ИК специальную тему по созданию запоминающих устройств большой емкости.

Когда группа Петрова создала первые запоминающие элементы величиной в 0,2 микрона, им не поверил никто – ни физики, ни технологи. В то время элементы в 20 микрон считались прекрасными. Увеличение плотности записи в 100 раз стало прорывом. Тогда на чердаке Института кибернетики были сделаны первые в мире макеты оптических запоминающих устройств. В 1967 г., значительно раньше, чем за рубежом, были продемонстрированы запись и считывание информации лазерным лучом на регистрирующем материале. Аналогичный эффект продемонстрировал правительству США американский филиал фирмы Филипс спустя семь лет.

С этими работами конкурировали исследования физиков, сделавших ставку на голографию. На научных конгрессах Петрова называли врагом советской голографии, т.к. он в статьях и докладах доказывал другое – «побитовая», «точечная» запись перспективней, чем голографическая. История показала, что он и его коллеги были правы. Сегодня мир половину или более информации фиксирует на оптических дисках. Магнитные диски постепенно уступают свои позиции, по крайней мере в системах, где требуется долговременное и дешевое хранение больших массивов информации.

Докторская диссертация была посвящена созданию устройств запоминания информации большой емкости – оптической записи. Он развернул лабораторию в отделение, затем создал в 1987 г. институт, укомплектованный в основном молодыми специалистами. К настоящему времени создана соответствующая научная школа.

Вскоре была выработана новая идея: записывать информацию не на дисках, а на оптических цилиндрах, емкость которых в десятки и, возможно, в сотни раз выше, чем у дисков. Своевременно было получено 27 патентов по защите этого изобретения

в разных странах. Опять обогнали время: мир только еще находится на подступах к цилиндрам. Развитые страны покупают у ИПРИ лицензии на них, это поддерживает финансовое состояние института.

Пока ИПРИ сделал шаг назад и налаживает производство оптических дисков в институте для записи мультимедиа баз данных. Вскоре на рынке Украины, где присутствуют лишь импортные диски, произойдет их мощный «выброс», что несколько снизит цену и приведет к профессиональному производству баз данных на CD-ROM.

Располагая средствами передачи и хранения данных, ИПРИ начал создавать Национальный банк компьютерной информации и фактически уже стал главным информационным центром Украины.

Телефонные аналоговые линии в Украине не позволяют передавать информацию между компьютерами со скоростью свыше 19,2 Кбит в секунду. Мировые сети базируются на цифровых АТС и специально построенных линиях – они передают информацию со скоростью 64 Кбит в секунду и выше. Поэтому Петров с коллегами взялись за создание высокоскоростной спутниковой связи в Украине.

Главным достижением ИПРИ и его директора остается созданная в ИПРИ и успешно функционирующая уже 4 года среда для неограниченной «телевизионной» передачи данных. ИПРИ предлагает всем деловым людям, ученым и специалистам работать в этой среде. Эту информационную систему уже установили в Казахстане, устанавливают в Татарстане и используют на Дальнем Востоке России. Интересуется этой системой Китай. В развитых странах систему высоко ценят, но не используют, так как она ломает налаженный здесь информационный бизнес. Действующие расценки на информацию с применением телевизионной схемы передачи могут упасть в сто раз и более. Украина в этой важной сфере информатики – передаче и приеме массивов информации (справочной, учебной, научно-технической, газетно-журнальной, нормативно-правовой) оказалась впереди.

На общем фоне провалов в экономике и политике это достижение кажется особенно фантастическим, оно является мощным ускорителем становления в Украине рыночной экономики, которая требует высокого уровня информированности.

Информация ценнее денег

Геннадий Неверов

Computer World / Киев. № 32(53). 16 августа 1995 г.

Разработанная и внедренная Институтом проблем регистрации информации НАН Украины система «телевизионного» распространения данных а также создаваемый им Национальный банк компьютерной информации на оптических носителях собственного производства, намечаемая скоростная спутниковая сеть передачи **данных** способны вывести Украину в число передовых государств.

Козырной картой названного замечательного института является созданная им автоматизированная система массового распространения информации с помощью телевизионной трансляции в цифровом виде символов (букв, цифр, знаков – текстов и изображений) в память компьютеров.

При этом получатели информации используют обычные наружные телевизионные антенны, стоящие на крышах домов. Необходимо дополнительно приобрести **лишь**

телевизионный адаптер (стоимостью примерно 160 USD по курсу), преобразующий телевизионные сигналы в вид, воспринимаемый компьютером. Телеадаптер имеет размер системного блока, персонального компьютера.

Раз в день с 14 час. 40 мин. до 15 час. 40 мин. телецентр Украины ведет передачу данных для этой системы. В это время необходимо включить компьютер и телеадаптер. Ассортимент предлагаемой информации велик и постоянно расширяется. В течение часа можно получить 40–60 Мб информации – это равно приблизительно 1200 газетным страницам или 60 тысячам страниц машинописного текста, что значительно больше, чем вся пресса Украины вместе взятая.

О других подробностях указанной системы будет сказано ниже. Сейчас же, заинтересовав читателя, расскажем об Институте проблем регистрации информации (ИПРИ), в котором изобретена эта система и ведутся другие важные работы по информатике.

Создателем и директором института является профессор Вячеслав Петров, членкор. НАН Украины. Он вместе со своими соратниками еще 28 лет назад добился значительных результатов в разработке принципиально новой технологии регистрации информации. Работая в составе Института кибернетики, его лаборатория в 1967 г. – на несколько лет раньше, чем это было сделано за рубежом, – изготовила первые в мире макеты оптических запоминающих устройств, продемонстрировала запись и считывание информации лазерным лучом на регистрирующем материале. Американский филиал фирмы «Филипс» продемонстрировал аналогичный эффект правительству США спустя семь лет.

ИПРИ был создан 1 января 1987 г. как академический институт и решительно развернул поисковые и прикладные работы в области информатики. Была сформулирована новая идея: записывать информацию на оптических цилиндрах, что увеличивает емкость носителей в десятки и сотни раз, повышает их надежность. Председатель Госкомизобретений СССР Наяшков говорил Президенту Академии наук Украины Патону, что оптическая запись информации – лучшая идея в СССР за последние двадцать лет. Понимание названным комитетом важности этой разработки способствовало тому, что институт получил 27 патентов по ее защите в разных странах. Оптическими цилиндрами ИПРИ обогнал время – так в технике случается. Их производства в практических масштабах пока нет, но соответствующие лицензии развитые страны у ИПРИ покупают, поддерживая финансовое состояние института. Специалисты института полагают, что время оптических цилиндров еще не пришло, но оно придёт.

Пока в ИПРИ налаживают производство оптических дисков для записи баз данных, мультимедиа. Уже в ближайшие месяцы будут выпущены компакт-диски с информацией об Украине, с обширными научными и научно-популярными сведениями.

Пять лет назад в ИПРИ увидели, что оптическая запись решает проблему долговременного хранения информации, и встал вопрос, как ее распространять, где и как ее брать владельцам ПК. Большие компьютеры соединены телефонными кабелями. Обмен данными между ними упрощенно называется электронной почтой. Десятки, тысячи компьютеров соединены – почта работает. Дешевы идут от адресата к адресату. Но когда нужно быстро доставить информацию сотням тысяч и миллионам ПК, – возникают проблемы. Сетей с соответствующей пропускной способностью не существует. Теоретически их можно создать, но цена доставки данных будет непомерно высока. Любой ПК может за день обработать сотни мегабайт информации. Чтобы использовать такую возможность, необходим принципиально новый путь. И этот путь найден в ИПРИ – передача данных по телевизионному каналу. Изобретение защищено патентом Украины, внедрено.

Уже четыре с половиной года ИПРИ арендует первый канал украинского телевидения и передает по нему со скоростью 1 Мбит/с не телевизионное изображение, а цифровые сигналы для компьютеров. Создана и развивается информационная система «Все-Все». Цель перед ней поставлена «скромная»: всю информацию, которая произведена за день человечеством, передать всем, кому она нужна. Каждый может из реки информации зачерпнуть столько, сколько хочет и может выпить.

Когда подписчик получает на Западе толстую газету в несколько сот страниц, например воскресный выпуск «Нью-Йорк Таймс» с тиражом 1,5 млн. экземпляров, он выбирает интересующие его разделы, остальные сразу выбрасывает, затем просматривает избранные и выкидывает их. Газета за один день – это вырубленная роща леса, израсходованного на бумагу. Вполне вероятно, что в скором времени все газеты станут электронными, и лучше всего их передавать по технологии ИПРИ.

Резервы у системы велики: при существующем оборудовании ИПРИ может передавать до 200 Мб – примерно 6000 газетных страниц. Стоимость подписки можно считать символической: от 2 до 20 USD по курсу в месяц за один информационный раздел на русском и украинском языках. Научно-техническая информация на английском языке еще дешевле. Например, за рефераты всех публикаций мира по металлургии – 4,5 млн. крб. в год!

По объему передаваемой информации система «Все-Все» самая большая в СНГ и, возможно, в мире. В день (в течение указанного часа) транслируются данные по 76 информационным разделам, которые готовят 76 редакции. В том числе распространяется информация Верховного Совета Украины, указы и распоряжения Президента Украины, нормативные акты Кабинета Министров, Мнмашпрома, Национального банка, документы по стандартизации и сертификации Госстандарта Украины, налогам и бухгалтерскому учету, реферативные издания ВИНИТИ, Украинский реферативный журнал периодических изданий «Джерело» с рефератами всех научных публикаций Украины, новости экономики, коммерческая и рекламная информация и т.д.

Особо необходимо отметить реферативные научные издания США на английском языке по 236 разделам. Рефераты охватывают 6900 журналов из 7900 существующих в мире. ИПРИ их купил оптом у создателя этой базы данных, поэтому украинским абонентам они достаются дешево. Если бы те же рефераты кто-нибудь заказал через зарубежные информационные центры, которые зарабатывают на посредничестве, то они обошлись бы ему в 300 раз дороже. Любопытно, что абоненты – ученые Украины – получают эти рефераты раньше, чем журналы выходят в свет, и быстрее, чем ученые США. Редакции предоставляют рефераты в Институт научно-технической информации США одновременно со сдачей журналов в печать. ИПРИ их получает без задержек и в тот же день передает своим абонентам. И пока журнал печатается (это длится примерно полтора месяца), ученые и специалисты Украины успевают ознакомиться с рефератами. При необходимости можно заказать ксерокопию полного текста статьи, которая будет доставлена через неделю – это удовольствие стоит 20–25 USD. Так как в США нет ежедневного телевизионного распространения информации, то ученые, как показывает практика, обращаются через сети в базы данных одни раз в неделю, в то время как украинские ученые получают ту же информацию ежедневно. Фантастика!

Если бы ИПРИ сделал только то, что перечислено выше, он уже оправдал бы свое существование, заслужил бы восхищение общества и «громкие аплодисменты». Но он логично идет дальше. Имея возможность производить долговременные носители информации большой емкости, внедрив уникальную систему передачи данных и фактически накапливая информацию на машинных носителях уже четыре года, он ставит

вопрос о создании на базе ИПРИ Национального банка компьютерной информации. Завершается создание его первой очереди. Основное оборудование уже куплено – это мощный компьютер Alpha, поставленный Digital Equipment Corp. Есть собственные спутниковые линии связи, выход в мировые сети. ИПРИ уже стал фактически главным информационным центром страны. По его инициативе и при его участии создается высокоскоростная спутниковая система обмена данными в Украине. Если телефонная связь (при всех ее недостатках) как-то функционирует, то двусторонняя передача данных между компьютерами на уровне мировых стандартов у нас невозможна.

В Украине используются аналоговые телефонные линии, но по ним передавать информацию быстрее 19,2 Кбит/с технически невозможно. Стандарт же работы в мировых сетях, например, в самой крупной из них – «Интернет» начинается с 64 Кбит/с. Только такая скорость передачи обеспечивает работу с удаленными базами данных, проведение видеоконференций и телеконференций, использование через сеть свободных вычислительных мощностей.

Например, Потсдамский университет предлагает Украине практически универсальную за стоимость потребленной электроэнергии работать на самом крупном в мире компьютере «Крей-3», решать там задачи электромеханики, гидродинамики и т.п. Но соответствующих каналов связи с Потсдамом у нас нет. Есть современная связь Киева с Полтавой и Львовом, и это все. Даже задачи налоговой инспекции не могут быть полностью решены без модернизации сетей передачи данных. Современные сети нужны администрации Президента Украины и практически всем остальным министерствам и ведомствам. Не могут без них обойтись университеты, вузы – все научные центры. Для сравнения: 72 университета Германии связаны двухмегабитными каналами, связь по которым осуществляется со скоростью от 61 до 128 Кбит в секунду. В России Фонд фундаментальных исследований понимая роль сетей, постановил: как бы ни был мал или велик размер этого Фонда, 25 % его средств расходовать на создание коллективных сетей.

ИПРИ взялся за создание высокоскоростной сети для Министерства финансов и надеется в течение полугола запустить ее в действие.

Дирекция ИПРИ считает прочие научные разработки равноправными. Но я их воспринял как гармонично дополняющие основной профиль. Сейчас заканчивается создание информационной системы для Налоговой инспекции Украины – устанавливается 760 рабочих компьютерных терминалов во всех областных и районных налоговых инспекциях. Они соединены в сеть, работающую с единым программным обеспечением, обеспечивающую быстрое и надежное доведение нормативных актов, касающихся налогов и финансов, сбор налоговой информации, создание распределенных баз данных. Что ж для создания Национального банка компьютерной информации важно ощущать требования правительственных структур и возможности их удовлетворения не понаслышке, а сталкиваясь с ними в труде и бою.

Ведутся в институте работы по теории и практике создания информационных систем повышенной живучести. Здесь разработан первый в СССР медицинский томограф для исследования всего тела. Такие разработки поддерживают и подтверждают высокую квалификацию кадров.

Систематически разрабатываются системы оперативного управления производством. Казалось бы, зачем высокой академической науке лезть в миазмы предприятий – мол, для этого есть отраслевые прикладные институты. Однако знание болевых точек и проблем, реальных систем управления делает стратегию фундаментальной науки более осмысленной.

Приступает ИПРИ к созданию крупных баз данных экономической информации.

Недавно закупили Регистр фирм США, в котором есть сведения о 160 тысячах предприятий. Подготовлено соглашение с Министерством торговли США, по которому Украина будет получать от него национальную базу коммерческой информации США, краткую информацию всех внешнеэкономических контрактов США, цену товаров и услуг, данные о товарообороте. Войдя в эту базу данных, можно будет узнать, кто работает с вашим продуктом, к кому целесообразно обращаться, кто занимается финансированием, страхованием, транспортом.

Такую же базу данных намечается создать в Украине. Два с половиной года назад ИПРИ предложил такой проект. Все государственные инстанции и ответственные лица его поддержали, но не было подходящей кредитной линии. Стоимость проекта – 10–12 млн долларов. Есть уверенность, что окупится он быстро. По существу речь идет о создании Национального электронного магазина. Для его функционирования необходимо и сети «подогнать» и оборудование дополнительное приобрести, и над программным обеспечением поработать. Подведем некоторый итог. Данная статья написана на основе бесед с руководителями института. Мне показалось, что они недооценивают значение достигнутых ими блестящих результатов, чрезвычайной важности задач, которые они сами перед собой ставят. Наверное, они все понимают, но обычная, воспитанная недавним прошлым, скромность не позволяет им говорить об этом вслух. Мы вступили в рынок, и на взятом за образец Западе принято говорить о достижениях громко. Благодаря усилиям Вячеслава Петрова и его соратников, достигнут крупный успех в обеспечении Украины экономической, научной и социальной информацией. Кто сегодня не знает, что обладание научными данными более важно, чем обладание природными ресурсами? Нефтью, газом, цветными металлами – всеми вместе или их частью? Вспомним Японию, Сингапур, Тайвань или любую страну Западной и Центральной Европы.

Как известно («Дедовая Украина». 5.07.95), доля затрат на науку в валовом внутреннем продукте Украины за последние четыре года снизилась с 3,1 до 1,1 процента. Затраты, приходящиеся на одного научного работника в прошлом году, составили в США и Японии 150 тыс. долларов, Франции – 120, Южной Кореи – 65, Бразилии – 45 тыс. долларов, а в Украине – всего 0,7 тыс. долларов. На этом фоне деятельность ИПРИ выглядит лучом света и рождает надежды. Здесь в последние полтора года не происходят сокращения кадров, в отличие от других учреждений, зарплата выплачивается в срок.

Как водится, к ложке меда я припас бочку дегтя. На мой взгляд, выдающиеся результаты в работе Института соседствуют с совершенно неудовлетворительной их рекламой, что приводит к неполному их использованию. Число абонентов информационной системы «Все–Всем», по моему мнению, может быть в несколько раз больше. Большинство потенциальных ее пользователей никогда о ней не слышали или имеют очень смутное представление, как о чем-то сложном и дорогом. Реклама ведется примитивно, стереотипно без выдумки и необходимого размаха. Отличное выступление директора института по телевидению с рассказом об этой системе счастливое исключение. Называть эту информационную систему электронной газетой, как делается сейчас, рекламная ошибка (по моему мнению). Ученые и специалисты увидев предложение еще одной газеты, отворачиваются, так как им, при их скромных финансовых возможностях достаточно знакомства с существующими газетами. Необходимо внятно говорить, что предлагается (за скромную цену) информационный клад, состояние, информационный обвал, который может изменить судьбу любого думающего человека и любой фирмы, вооружить их новейшими знаниями.

Информация ценнее денег: кредиты необходимо возвращать, а информация пере-

дается навсегда. Украина получает мало кредитов, из-за кризисной и неустойчивой ситуации в экономике получаемые суммы составляют долю процента от существующих в мире капиталов. В то же время ИПРИ доставляет в Украину 80 % мировой научной информации. Судьба молодого государства решается не клерками, безрезультатно пытающимися взять какие-то крохи займы (о чем много и охотно пишет печать), она решается здесь, фундаментально и единственно верным путем.

Расшифрованы валики Эдисона

Дмитрий Олтаржевский

Зеркало недели. № 13. 30 апреля 1996 г.

Человечество научилось записывать звуки сравнительно недавно. Первый аппарат, который позволял это делать на более или менее профессиональном уровне, был изобретен Эдисоном в 1877 году. При помощи иглы с мембраной на покрытые смесью воска, масла и канифоли валики наносились звуковые дорожки. С этой аппаратурой исследователи путешествовали по всему земному шару, собирая музыкальные произведения разных народов, записывая выступления знаменитых людей эпохи. За 60 лет существования прообраза современной аудиотехники – аппарата Эдисона – были записаны десятки тысяч валиков.

Однако время не пощадило первые, а потому несовершенные носители звука. И сейчас деформированные, загрязненные и «заезженные» валики при проигрывании создают сильный фон, большое количество помех, а зачастую вообще не пригодны к воспроизведению. Ярким примером тому был валик, на котором запечатлен голос английской королевы Виктории. Прослушивая его, ученые смогли разобрать лишь несколько слов. Попыток получить качественные копии со старинных записей было предпринято великое множество. Но до последнего времени ни одна из них не привела к успеху. Большая часть носителей и по сей день так и остается нерасшифрованной.

Мало кто знает, что в Центральной научной библиотеке имени Вернадского Национальной академии наук Украины, кроме колоссального собрания печатных изданий, сохраняется и уникальная коллекция валиков Эдисона. Большинство из них – это записи этнических мелодий хасидов. Музыкальные традиции этого народа, корни которых уходят в глубь тысячелетий, дошли до нас в своем первоизданном виде и, естественно, представляют сегодня огромный культурно-исторический интерес для ученых всего мира.

Неоднократно представители крупнейших центров обработки фонограмм обращались к нашим специалистам с предложением перевезти коллекцию в библиотеку Конгресса США, этнографический архив Австрийской академии наук. Мотивировалось это тем, что в Украине бесценным валикам не могут обеспечить элементарных условий хранения, не говоря уже о проведении каких-либо реставрационных работ. Таким образом перед нашими учеными возникла дилемма: либо передать коллекцию западным исследователям, при этом наверняка утратив ее для Украины, либо попытаться расшифровать валики самостоятельно. За короткий срок специалистам Института проблем регистрации информации НАНУ удалось создать оборудование, которое не

имеет аналогов в мире. Оно позволило подойти к проблеме считывания звука принципиально иначе. Ведь все предыдущие попытки перезаписи основывались на чистой акустике: то есть информация с валика сразу поступала на звукосниматель. А новый метод дал возможность записать не сам звук, а зарегистрировать геометрию поверхности носителя и уже потом, компьютерным способом удалив несвойственные шумовые «примеси», получить чистый звук. Об уникальности оборудования свидетельствует и его масса. Сам «проигрыватель» весит 7,5 тонны и покоится на огромнейших песчаных, резиновых и воздушных амортизаторах. Все это делает установку невосприимчивой к малейшей вибрации и позволяет с высокой точностью считывать звуковые дорожки, высота которых составляет порой сотые доли микрона.

На сегодняшний день при помощи нового метода уже записаны мелодии с нескольких валиков. В том числе и с тех двух, которые на протяжении трех лет находились на безрезультивной реставрации в библиотеке Конгресса США. Международные эксперты подтвердили, что качество воспроизводимого звука действительно очень высокое. И теперь украинским ученым предстоит примерить на себя венок славы, а заодно и крупные заказы от мировых центров почитания культуры. Но это лишь первые шаги. В скором времени наши специалисты планируют подарить вторую жизнь записям песен-сказаний украинских кобзарей. Эта коллекция насчитывает более трехсот валиков Эдисона, датированных двадцатыми годами нашего столетия. Чудом сохранившиеся музыкальные произведения в недалеком будущем переселятся на более уютные современные компакт-диски, сделав достояние украинской культуры доступным для всего мира. Но и на этом не иссякают возможности новой технологии. С ее помощью, уверяют ученые, можно будет «реанимировать» и огромнейшую коллекцию грампластинок библиотеки Вернадского, которые раньше невозможно было качественно воспроизводить.

А это означает, что тысячи законсервированных временем мелодий и песен вновь оживут яркими красками звуков и принесут нам еще немало приятных минут общения с забытой музыкой.

Из валиков Эдисона – на компакт-диски

Аркадий Владимиров

Зеркало недели. № 14. 10 апреля 1999 г.

Недавно в Киеве, в Национальной библиотеке Украины им. В. Вернадского экспонировалась интересная выставка, посвященная 140-летию со дня рождения известного еврейского писателя Шолом-Алейхема, произведения которого, написанные на идиш, издавались и переиздавались на украинском, русском, английском и других языках.

За разнообразием экспонатов оставался почти незамеченным маленький диск, на котором записан живой голос писателя: его речь, произнесенная в начале двадцатого столетия во время пребывания в Санкт-Петербурге. А между тем этот экспонат, хоть появился он лишь в прошлом году, не менее уникален, чем редкостные издания и фотографии.

Дело в том, что своим появлением этот современный компакт-диск обязан успешным результатам большой исследовательской и экспериментальной работы коллектива ученых Института проблем регистрации информации, возглавляемого членом-корреспондентом НАН Украины В.Петровым, и группой исследователей из Национальной библиотеки Украины, возглавляемой академиком НАН Украины А. Онищенко. Именно они добились того, что голос Шолом-Алейхема снова зазвучал почти так же, как в 1914 году, когда его выступление было записано на восковом цилиндре с помощью фонографа, изобретенного знаменитым Эдисоном.

Попытка заставить вновь «заговорить» восковые цилиндры делались не раз и делаются по ныне в известных в мире центрах воспроизведения звука фонографических восковых цилиндров Эдисона, в частности, в Фонографическом архиве Академии наук Австрии, в библиотеке Конгресса США и некоторых других. Однако применяемые в них пьезоэлектрический и электродинамический методы не обеспечивают высококачественного воспроизведения звука и к тому же не сохраняют целостности звуковой дорожки.

Киевские же ученые предложили и реализовали на практике принципиально новый метод, который лишен недостатков, присущих методам их зарубежных коллег. Киевляне разработали систему устройств, с помощью которой запоминается в цифровой форме профиль звуковой дорожки, поврежденные участки, а затем восстанавливается сигнал для получения звука. При этом специальный интерферометрический оптический датчик измеряет профиль звуковой дорожки с точностью до одной сотой микрона. А считывание звука при скорости оборота цилиндра в 25 раз меньшей, чем та, с которой осуществлялась запись звука, и уменьшение давления на звукосъемник до 0,8 грамма дало возможность снизить динамическую нагрузку на дорожку больше чем в пятьсот раз по сравнению с установками пьезоэлектрического считывания.

Это намного улучшило качество воспроизведения звука и вместе с некоторыми другими мерами вплотную приблизило его к естественному звучанию.

Вот почему, когда во время посещения Национальной библиотеки Украины президентом и вице-президентом Академии наук Израиля им продемонстрировали восстановленную запись выступления Шолом-Алейхема, они не скрывали своего восхищения. Так же были восхищены специалисты из некоторых других стран, когда им продемонстрировали записи старинных еврейских песен, сделанных на восковых цилиндрах почти сто лет тому и воспроизведенных по методу украинских ученых.

А исследователи из Института проблем регистрации информации и Национальной библиотеки Украины продолжают работать над дальнейшим совершенствованием своего метода.

Итак, скоро голоса, музыку и песни, записанные на фонографических восковых цилиндрах Эдисона много десятков лет тому назад, смогут услышать в перезаписи на современных компакт-дисках не только специалисты, но и широкий круг почитателей культуры.

И еще об одном необходимо сказать. Очевидно, в начале нынешнего столетия на фонографе Эдисона были записаны голоса известных деятелей литературы и искусства Украины и России, если не на территории Российской империи, то, возможно, на территории Австро-Венгрии, а также США, Канады, некоторых других государств, где тогда довольно быстро увеличивалась украинская и российская диаспора.

В связи с этим целесообразно было бы провести соответствующий поиск. В случае выявления ценных находок киевские ученые могли бы восстановить старые восковые цилиндры и этим обогатить наше национальное культурное наследие.

Две академии договорились о подарках

Всеукраинские Ведомости. 4 июня 1997 г.

Сотрудничество между академиями наук Украины и Израиля будет в ближайшее время развиваться лишь по двум-трем научным направлениям, прежде всего гуманитарным. Об этом заявлено на встрече первого вице-президента НАНУ академика Виктора Барьяхтара с президентом АН Израиля академиком Якобом Зивом. В будущем году, когда будет отмечаться 50-летие провозглашения государства Израиль, украинская сторона пообещала преподнести подарок – 12 компакт-дисков с фонограммами, сделанными в начале века Петербургским институтом еврейской культуры (среди них голос Шолом-Алейхема). Израильская АН, в свою очередь, организует в Центральной научной библиотеке им. Вернадского НАНУ выставку книг с текстами древних еврейских манускриптов. Эта коллекция затем будет передана в дар библиотеке.

Израиль услышит

Новое русское слово (США). 17 октября 1997 г.

12 компакт-дисков с записями аудиокolleкции существовавшего в начале века Петербургского музея еврейской культуры будет подарком Украины Израилю к 50-й годовщине еврейского государства.

В Институте проблем регистрации информации (ИПРИ) НАНУ создана не имеющая аналогов технология бесконтактного считывания записей с восковых валиков Эдисона и последующей перезаписи на компакт-диски.

В минувшем году во время визита в Израиль президент Украины Леонид Кучма преподнес хозяевам первый компакт-диск. А недавно, когда в Киев приезжал президент АН Израиля Якоб Зив, директор ИПРИ Вячеслав Петров пообещал, что к январю следующего, юбилейного, года будет переписана вся тысяча валиков.

В 1995 году, когда в Израиле узнали, что коллекция валиков находится в Киеве, к руководству Украины стали обращаться видные еврейские деятели с просьбой передать ее на перезапись в Венский фонографический архив, в Библиотеку Конгресса США или в Лондонскую Королевскую библиотеку. Тогда институт получил от Президиума национальной АН Украины задание: расшифровать валики. Считывать записи с помощью традиционных иглы или пьезозвукоснимателя было опасно, поскольку валики очень «ранимые». В институте разработали технологию считывания с помощью оптических систем. Лазерный интерферометр «фотографирует» рисунок записи и восстанавливает ее с помощью компьютера. Перезапись можно получить идеальную. Но в данном случае решили оставить легкое шуршание – чтобы сохранить эффект давности. К счастью, записи с этих валиков прежде не делались. Тем не менее, с некоторыми пришлось порядком повозиться. Прежде всего, с записью выступления Шолом-Алейхема. Имя знаменитого писателя привлекало, и валик множество раз вынимали, чтобы показать гостям. Примерно половина времени, уже затраченного на перезапись коллекции, ушла на восстановление голоса Шолом-Алейхема. Кстати, ученым известны лишь две его записи. Но одна из их сохранилась очень плохо – голос потерял естественное звучание, стал «механическим». В перезаписи, выполненной в ИПРИ, – «живой» голос 70-летнего писателя.

Скажи индекс цитирования твоих статей, и я скажу тебе, какой ты ученый...

Александр Рожен

Зеркало недели. № 41. 12 ноября 1999 г.

Вокруг знаменитого индекса цитирования в наших академических кругах споров было достаточно. А вот критического обсуждения так и не получилось – маститые «организаторы науки» постарались выработать к нему самое негативное отношение. Оно и понятно: стоит в вестибюле любого академического института вывесить список индексов цитирования сотрудников – и сразу станет ясно, кто занимается настоящей наукой, а кто получил чины и звания за комсомольские заслуги или еще Бог весть за что. Объективность оценки научных достижений – острый нож для людей, присосавшихся к академическому кораблю. Однако нельзя бесконечно бороться с тем, что объективно полезно. Наступил черед важных решений и в информационной сфере.

– Мы находимся в зале, – рассказал директор Института проблем регистрации информации член-корреспондент НАН Украины Вячеслав ПЕТРОВ, – из которого проводится тестирование баз данных Института научной информации (ISI) США. В нынешнем мире настолько быстро увеличивается количество научной информации, столь стремительно меняются знания, что возникла необходимость создания центральной базы данных, которая хранила бы основные научные журналы по всем направлениям. Такая политематическая база данных впервые создана Институтом научной информации США в Филадельфии. Основатель института Евгений Гарфилд впервые в мире ввел индекс цитирования, который определяет количество ссылок на ту или иную статью. Индекс определяется для отдельного автора, журнала, организации, даже для страны. Таким образом можно объективно установить вклад соответствующей структуры в мировую сокровищницу знаний. Это чрезвычайно важно для науки.

Ученые внимательно следят за своим индексом – для всего мира он служит маяком значимости научного результата. К примеру, когда Джозефсоном был открыт тоннельный эффект, в течение года на его статью было свыше 500 ссылок! Вопрос о том, чтобы присудить ему Нобелевскую премию, решился сам собой. Это подтвердило объективность метода.

– И сколько нужно цитирований, чтобы на тебя всерьез обратили внимание?

– Если статья вызвала более ста цитирований, это верный признак того, что она имеет мировое значение – к такому автору относятся очень серьезно.

– Сколько таких людей в Украине?

– Немного. Пока нам известно, что из украинских ученых серьезнейший рейтинг имеет Платон Костюк. Имеется более 240 цитирований одной из его работ. Неудивительно, что Гарфилд посвятил специальное эссе Платону Григорьевичу и даже выдал соответствующий диплом Института научной информации США. Наука стала первой отраслью деятельности человека, которой удалось выработать мировые критерии оценки качества.

В знаменитой монографии «Эксперимент. Теория. Практика» Петр Капица полусерьезно поставил вопрос: «В каком году Ломоносов стал великим русским ученым?» И сам на него ответил – в 1911 году, когда прочитали дневники Ломоно-

сова. До того он воспринимался только как поэт. А о том, что академик занимался серьезными научными исследованиями, не знали, потому что Михаил Ломоносов не оставил после себя научной школы, не публиковал научных результатов.

Поучительная история! Чтобы не попасть в такую ситуацию, нужно следить, чтобы наши журналы читали, чтобы индекс цитирования их был на хорошем уровне. Если твоих статей нет в базе данных ISI – самой известной базе научных данных США, – то тебя, как ученого, не существует.

Отношения с Институтом научной информации США очень важны для украинской науки. В компьютерной памяти этого института собраны данные с 1969 года. Американские ученые поставили задачу, двигаясь вперед и назад одновременно, ввести в память машин публикации всех статей с 1900 года. За год они углубляются в информационный массив на два-четыре года. Макрозадача исследователей – определить индекс цитирования статьи Эйнштейна по специальной теории относительности, опубликованной в 1905 году.

С этим институтом работаем более пяти лет, еженедельно получаем от них рефераты журналов из их баз данных. Институт научной информации США предоставляет нам возможность прямого доступа в свои три основные базы данных, которые охватывают наиболее авторитетные журналы мира. В одной из них, кроме реферата, содержится адрес автора. Это позволяет любому научному сотруднику обратиться непосредственно к автору и установить с ним контакт. Есть в одной из баз описание патентов семи ведущих стран мира на глубину до 1963 года. Все это – бесценная информация.

Важно, что Институт научной информации США заключил договора с издателями научных журналов, и как только подготовлен очередной номер, в институт отсылаются рефераты статей на английском языке. Так что пока журнал еще только печатается, в компьютерном виде рефераты уже расходятся по всему миру. У нас есть скоростной канал, который может перекачивать из США информацию со скоростью 1 млн бит в секунду, стоит специальная приемная антенна, которая обеспечивает институт и наших пользователей связью в прямом доступе. Так мы получаем рефераты статей, которые еще только выйдут!

– А как вы решили правовые вопросы по использованию их информации?

– У Института проблем регистрации информации НАНУ был контракт на право аренды американской базы данных в течение пяти лет. Увидев, что мы более-менее плодотворно работаем, они подписали контракт на продажу лицензии. Мы получили право хранить полученную базу данных неограниченно долгое время и распространять на территории Украины на всех видах носителей. Главный наш носитель – электронная компьютерная газета «Все – всем».

– На эту газету можно подписаться?

– Нужно! Первого марта будет девять лет, как состоялась презентация электронной газеты «Все – всем» на заседании президиума АН. Это первая в мире система массового распространения компьютерной информации. Сюда стекается информация по телефонным линиям, спутниковым, радиорелейным каналам. Она обрабатывается. Все, что поступило до 13 часов в компьютерном виде, в 13.15 из нашей студии ретрансляторами напрямую передается на телебашню, а оттуда по каналу УТ-1 на всю территорию Украины. У нас стоит центральный сервер, мультипроцессорная диджитал-система. Дополнительно задействован коммуникационный сервер – можно подключить до 128 каналов по 128 килобит в секунду. Этого хватит, чтобы завязать на себя все научные учреждения Украины. Сейчас проектируется высокоскоростная линия связи: Институт электросварки, Институт физики полупроводников – два тех-

нопарка объединяем, подключаем к серверу и к нашему выходу в Интернет. По телефонным каналам это сделать невозможно, потому что скорости передачи огромные – 1,5–2 мегабита в секунду.

Когда идет компьютерная информация, звуковой канал свободен – по телефону нам задают вопросы, и мы отвечаем. Получается уникальная возможность часового диалога с Украиной по телевизионному аудиоканалу. Стараемся, чтобы научная жизнь достойно освещалась на Первом канале, – все коммерциализируется, и необходимо приоткрыть окошечко для популяризации образования, научных результатов. Раз в неделю по четвергам у нас прямой эфир, то есть первые 15–20 минут мы выкраиваем для живой беседы наших гостей. Несколько раз у нас бывал Скопенко, ректоры и директора многих других вузов, крупные ученые.

Правительство предоставило возможность распространять информацию в компьютерном виде по Первому национальному каналу один час. Мы имеем пять часов телевизионного времени в неделю. Если включите телевизор в будний день в 13.15, увидите на экране вертикальные полосы – это мы вводим и передаем информацию на всю Украину. Принимать ее одновременно могут сотни тысяч пользователей...

– А сколько реально принимает?

– Около пяти тысяч. Львиная доля принимает бесплатно, остальные немножко платят. Газета позволила создать систему баз данных – сейчас это около 70 типов. Во многом используя опыт Института научной информации США, мы создали украинский реферативный журнал «Джерело» – сначала в компьютерном виде, затем и в бумажном. А с этого года вместе с Национальной библиотекой им. В.Вернадского издаем в трех сериях: фундаментальные, технические и гуманитарные науки. Таким образом ученые Украины имеют достаточно подробную информацию о работах коллег за рубежом с помощью данных Института научной информации США и практически стопроцентного охвата научных публикаций Украины. У нас есть все статьи, монографии, рефераты диссертаций, кроме патентов. Патентное ведомство само распространяет эту информацию.

Сейчас в нашем центральном сервере – восемь миллионов рефератов. Это наиболее ценная информация за последние годы. Если продолжим накопление знаний в таком темпе, через три-пять лет будем иметь полный объем.

– А почему бы ученым не скачивать информацию прямо с американского сервера?

– Прежде всего потому, что американцы не предоставляют эту информацию частным лицам, во-вторых, годовая подписка для организации стоит 100 тысяч долларов. Многие ли у нас готовы подписаться за такую цену?

– Вы платите или...?

– Платим! Деньги занимаем, сидим в долгах, как в шелках, в частности, перед банком «Украина». Но это отдельная тема. Нам в свое время помогал Вадим Петрович Гетьман. Спасибо ему.

– Каковы современные принципы организации научной информации?

– Во всех странах мира издается примерно 28 тысяч научных журналов. Никакой ученый не в состоянии просто пролистать это. Поэтому Евгений Гарфилд – основатель Института научной информации США – 42 года назад подошел к вопросу так: зачем читать все – пусть читают наиболее важное. Сегодня есть база данных, которая содержит 5 693 журнала. Среди них львиную долю составляют журналы США. Однако американцы в свой каталог включили все журналы, которые переиздают на английском языке. Так украинский журнал «Кибернетика и системный анализ» по каталогу проходит как американский журнал. Восемь журналов НАНУ проходят в каталогах как украинские: «Экспериментальная онкология», «Международный журнал при-

кладной механики», «Известия высших учебных заведений» (серия «Радиоэлектроника»), «Функциональные материалы», «Металлофизика и новейшие технологии», «Нейрофизиология», «Порошковая металлургия и металлокерамика», «Теоретическая и экспериментальная химия».

– То есть если не напечататься в этих журналах, то в индекс не попадаешь?

– Это действительно так. Анализ показывает, как распределены цитируемые журналы по миру: США – 39 %, Англия – 19 %. На третьем месте – Голландия – 10 %. Там крупнейшие мировые издательства: журнальные, книжные, научные, некоторые из них существуют более 400 лет. Потом идут Германия – 7 %, Швейцария – 3 %, Япония, Франция, Россия – по 2 % (это 119 журналов). Польша представлена 34 журналами, а Украина – восемью и ее доля – 0,12 % . Как видим, не густо!

– Каков же принцип, по которому попадают в этот список?

– Он очень прозрачный и простой: если на журнал в течение года придет более 100 ссылок и так продолжается хотя бы на протяжении двух лет, он попадает в «команду». Над попаданием в список надо работать – по просьбе Бориса Евгеньевича Патона я несколько раз возил пачки наших журналов по 30-40 штук, чтобы на них обратили внимание в Филадельфии.

Понимая ситуацию, мы в течение пяти последних лет накапливаем знания. В прошлом году состоялась встреча с Президентом Л. Кучмой в библиотеке им. В. Вернадского. Был поставлен вопрос: не пора ли эти знания сделать доступными всем университетам Украины, всем научным заведениям, кафедрам, отделам?

Ситуация такова, что научные знания обновляются по отдельным отраслям за год. Но наши библиотеки не получают уже семь-восемь лет научных журналов, монографий, откуда же появятся новые товары, услуги, если базироваться на старых знаниях? И разве они будут конкурентоспособны? Надо подтолкнуть теплющиеся научные школы к новым направлениям исследования. Для этого они должны знать работы своих коллег за рубежом. В институтской библиотеке они ничего не получают – там нет свежей литературы. Поэтому мы сформировали 50 компакт-дисков, где знания распределены по разделам науки и предлагаем ученым за поистине смешную цену – 100 долларов за любую базу данных. И все же не очень расходуется, потому что уже много лет ни ученые вузов, ни ученые научных учреждений не имеют официального основания для приобретения информации – деньги дают только на зарплату...

Мы сделали революцию на локальном уровне – заключили договор с Киевским национальным университетом им. Т.Шевченко и поставили им более 1200 компакт-дисков. Это около 250 гигабайт знаний. Так как темп обновления знания – 2-2,5 года, сегодня ни один солидный журнал не примет статью, если ссылки более чем 3-летней давности. В мире предприняты очень жесткие меры, чтобы ни диссертации, ни дипломные работы, ни статьи не отличались долголетием ссылок. Лучшие журналы имеют коэффициент Half-life – время, на которое приходится половина всех ссылок. В некоторых разделах – это 0,8 года! Чтобы держаться на уровне, нужно, чтобы ученые были знакомы с последними достижениями их коллег в других странах.

Есть еще важный параметр – импакт-фактор. Это своеобразный коэффициент полезного действия журнала – сколько ссылок в среднем на каждую статью. У самых популярных журналов мира уровень цитирования от 37 до 40. Из наших журналов самый цитируемый – «Физика низких температур» – 0,43. И это еще неплохой индекс...

– Думаю, многих заинтересует вопрос: какой же вклад украинских ученых по отраслям знаний?

– Давайте произведем небольшой подсчет: если сейчас в Украине живет 50 милли-

онов человек, а на земном шаре 6 млрд. человек, то мы составляем немного менее процента. А наш вклад в мировую базу данных науки – 0,5 %, то есть мы даже не средняя страна по научному уровню, а значительно ниже.

Впрочем, по некоторым направлениям знаний ситуация не такая катастрофическая. Более-менее благополучно мы выглядим по направлениям: математическая физика, материаловедение, химия – около 2 %. Лучше всего в прикладной физике – 2,2 % и термодинамике – 2,4 %. Физическая химия, астрономия, геология, ядерная физика – около 1 %. Аэрокосмические исследования и технология, энергия и топливо не дотягивают даже до единицы – 0,9 %. Смертельно бледно выглядят наши науки в области психологии, генетики, клеточной биологии, физиологии, демографии – здесь можно наскрести едва 0,2 %. Ветеринария, зоология, питание опускают планку еще ниже – 0,1 %.

Но истинной катастрофой выглядят наши медицинские исследования: хирургия, реабилитация, ортопедия, анестезиология, общая медицина, акушерство и гинекология толкуются где-то у позорной черты 0,03–0,04 %.

С трагическим положением медицинских наук может сравниться только положение в гуманитарных – здесь настоящая гуманитарная катастрофа: право, криминология, эргономика, социальная психология, социология, изучение семьи, политические науки – 0,04 – 0,02 %!

Абсолютный рекорд падения дают стоматология, челюстная хирургия и медицина, офтальмология, респираторные системы – 0,008%. То есть в переводе с языка цифр на русский наши исследования на эти темы на Западе напрочь не знают и не признают.

Что более всего пугает – низайший рейтинг разделов, которые связаны с исследованием общества, человека и экономики... Может быть, поэтому у нас так много проб и ошибок в экономических и политических экспериментах? Не исключено, что именно поэтому так медленно и осторожно мы продвигаемся по пути реформ.

– Картина мрачная. Что же делать?

– Важной задачей украинской науки является необходимость порвать с ориентацией на местнические подходы. Мировая наука едина. Необходимо осознать, что идут очень непростые процессы в информационном обеспечении науки – сегодня от личного рейтинга, рейтинга организации зависит, получите ли вы грант или нет. Кто же даст вам так просто увеличивать ваш рейтинг без борьбы? Надо понять, что мы работаем в условиях рынка и должны быть готовы к борьбе за ресурсы.

Глоток научной информации длиной в месяц

Виктория Басманова

COMPUTER WOLD / Киев. № 41 (253), 10 ноября 1999 г.

По мнению директора Института проблем регистрации информации (ИПРИ), член-корр. НАНУ, д.т.н., профессора Вячеслава Петрова без прорыва в информационном обеспечении науки, образования, культуры, промышленности влиться в мировое сообщество нам не удастся из-за неконкурентоспособности того, что мы производим.

Пресс-конференция была посвящена акции, проводимой с 3 ноября ИПРИ совместно с Институтом научной информации США (ISI), в ходе которой с 10-ти компьютеризованных рабочих мест в ИПРИ обеспечивается в течение месяца бесплатный Internet-доступ к мировым БД научной информации (еще 4 таких же рабочих места функционируют в Центральной научной библиотеке им. Вернадского).

Два упомянутых института плодотворно сотрудничают с 1994 г., причем ИПРИ – единственный партнер, которому была дана возможность еженедельно получать информацию из БД Current Contents на правах аренды и распространять ее по территории Украины с помощью электронной компьютерной газеты «Все – всем». На сегодня эта информация из всех сфер жизнедеятельности человечества записана на 50-ти компакт-дисках. Это более 8 млн. рефератов статей и монографий, что составляет 30 % БД ISI. И этими данными с успехом пользуются наши ведущие вузы, например Киевский национальный университет. До сих пор эта информация доставлялась в Украину самолетом на магнитных лентах, затем (в последние два года) – еженедельно через Internet. А недавно ISI обратился к ИПРИ с новой инициативой и предложил прямой доступ к своим БД через Internet. Дело в том, что ИПРИ подписал с ISI лицензионное соглашение с правом неограниченного доступа к БД американского института и правом распространения их на всех видах носителей информации по территории Украины.

Онлайновые БД ISI сформированы пока не полностью, доступ к ним в таком режиме открыт только в течение двух последних месяцев. Для проведения тестирования системы доступа и был привлечен ИПРИ, а оборудование для этого было весьма оперативно предоставлено и налажено (буквально накануне начала акции) партнером института – компанией ICS, заместитель директора которой Алексей Шлимович также участвовал в пресс-конференции.

Принять участие в тестировании были приглашены представители более 100 институтов НАНУ, других академий наук, ведомственных, учебных и научных заведений. Задача ИПРИ состояла в том, чтобы дать возможность широким кругам научной общественности почувствовать вкус непосредственного доступа к оперативной информации.

Сколько это удовольствие вообще-то стоит? Смотря для кого и на каких условиях. К примеру, четырем шведским университетам доступ к трем перечисленным ниже БД (при глубине поиска один год) обходится в \$ 1,5 млн в год. А с ИПРИ за распространение содержимого БД Current Contents среди научных и учебных заведений Украины до недавнего времени в год взималась десятая часть этой суммы (теперь это стоит несколько дороже).

Сейчас ИПРИ на месяц получает бесплатный доступ к трем БД с информацией более чем за 30 лет. И эту возможность нужно использовать как можно эффективнее, выяснив, в частности, состояние развития нашей науки по конкретным направлениям в мировом контексте.

Что же последует после окончания периода бесплатного тестирования? У ИПРИ, на который возложено руководство Программой информатизации Киева, нет денег даже на зарплату сотрудникам. А основные клиенты ИПРИ – вузы, институты НАНУ – не располагают средствами для оплаты информационных услуг.

Проект «Все – всем» осуществлялся за счет кредита банка «Украина» (помог покойный Вадим Гетьман), но теперь подобной возможности нет. Следовательно, ИПРИ требуются спонсоры – ведь они тоже заинтересованы и в найме молодых специалистов с определенным кругозором, и в появлении изобретений, которые можно реализовывать.

«Тот, кто владеет информацией, – владеет миром»

Татьяна Сатаева

Метро. № 42 (104). 26 ноября – 2 декабря 1999 г.

Накануне наш корреспондент встретился с членом- корреспондентом НАН Украины Вячеславом Петровым – директором Института проблем регистрации информации, учреждения, на которое возложено научное руководство Программой информатизации Киева.

– Если генетику в тоталитарные времена считали, по меткому выражению Аркадия Райкина, «продажной девкой империализма», то информацию хотя и не характеризовали бранными словами, все же не ценили должным образом. Да и мудро было, находясь за «железным занавесом», говорить об информированности населения.

– Если бы у нас не было информации о современных достижениях науки и техники, то наш гигантский военно-промышленный комплекс, на который работали буквально все в СССР, не был бы на таком высоком уровне. То есть в этой области мы шли в ногу с техническим прогрессом. Зато во многих других отраслях, определяющих наш уровень жизни, отставали. Информация – такой же вид сырья, как хлеб, зерно, руда. И с древнейших времен он требует активных затрат по сбору, хранению и распространению. Например, о цивилизации шумеров, об их быте, товарообмене, культуре больше, чем остатки строений, утвари и других, найденных при раскопках предметов, нам рассказывают клинописные таблицы, а о жизни египтян – расшифрованные учеными иероглифы. Информация может быть самой разной: экономической, политической, культурной. Но с давних времен особенно ценилась та, что была двигателем развития общества, – научно-техническая. До нас дошло много легенд о Вавилонской библиотеке, о погибшей во время пожара Александрийской, мы до сих пор надеемся, что будет найдена библиотека Ярослава Мудрого. Несомненно, это были грандиозные и ценнейшие хранилища различной информации, в том числе сведений о научных и технических достижениях древних цивилизаций.

«Тот, кто владеет информацией, – владеет миром». Суть этого известного выражения в том, что нынче невозможно принять ни одно экономическое, политическое, любое другое серьезное и важное решение, не будучи детально информированным в этой области знаний, не имея самых оперативных данных.

В шестидесятые годы в нашей стране при многих проектных учреждениях существовали СИФы – справочно-информационные фонды. Но они были ужасающе беспомощны, состояли из листочков, освещающих «передовой опыт», и, по сути, не помогали ни инженерам, ни конструкторам. Сегодня благодаря компьютеризации общества в мире произошла информационная революция. То, что недавно было достоянием немногих избранных, стало нормой для всех. С помощью Интернета всевозможные сведения, в том числе имеющие научную ценность, может получить не только государственный деятель или крупный ученый, но и простой «смертный», живущий в глубокой провинции. В США, например, осуществляется «проект Гора». Когда-то отец нынешнего вице-президента США доказал необходимость строительства сети современных автомобильных дорог, чтобы товары могли беспрепятственно доставляться буквально к каждому дому, а сегодня его сын реализует идею «оптоволокон-

ной линии в каждый дом», которая позволит по одному волокну осуществлять высокоскоростную связь по Интернету. То есть получать доступ к сотням телевизионных каналов, иметь высококачественную цифровую телефонную и факсимильную связь. Каждому человеку будет доступна мировая база данных научной, экономической, культурной и коммерческой информации. Это радикально меняет сам образ жизни человека – многие стали работать на дому.

– Вячеслав Васильевич, а как обстоит дело с обеспечением научной информацией в передовых странах мира?

– В наше время наука столь стремительно движется вперед, что уследить за изменениями даже в узкой области знаний практически невозможно. В мире издаются около 28 тысяч журналов – ни один ученый не в силах подписаться даже на те, что ему необходимы для работы. Еще 42 года назад Евгений Гарфилд основал в Филадельфии знаменитый Институт научной информации США, с которым мы тесно сотрудничаем. Так вот, поначалу Гарфилд публиковал только оглавления статей, позже – короткие рефераты. Но потом пришлось выработать критерий, позволяющий отделять зерна от плевел – выбирать только самые ценные издания. Был введен так называемый индекс цитируемости и благодаря ему выделены около 5 тысяч журналов, на которые ученые ссылаются в течение года не менее ста раз. Позднее установили индекс цитируемости авторов. Конечно, все это относительные показатели, поскольку в расчет, в основном, брались англоязычные издания. Но таким образом создавалась конкуренция – авторы стремились напечататься именно в цитируемых журналах, а издания – привлечь к работе наиболее известных ученых. Появился «рынок научных результатов», ибо ничто в мире так не конкурентно, как борьба за новые идеи.

– И все стали стремиться скорее запатентовать свои изобретения?

– Несомненно. База данных Derwent Innovation Index — Patents Citation Data которая имеется на сервере Института научной информации США, содержит сведения о 17 миллионах патентов семи ведущих стран мира то есть примерно 99 процентов всех патентуемых идей. Работа с этой базой дает достаточно полное представление о том, куда движется современная наука и техника. Раньше, чтобы провести исследование на глубину 30 лет, нужно было затратить на поиск несколько месяцев, а сейчас на это уходит пара минут. Резко возросла эффективность труда в области науки, образования, увеличился поток новых знаний. Темп обновления научной информации сегодня очень велик, но следить за ним нужно, поскольку мировая наука – едина.

– Как представлена Украина в каталоге Института научной информации США?

– Восемью научными журналами, самый цитируемый из которых – «Физика низких температур». Вообще, если говорить о науке, наиболее благополучно наша страна выглядит по таким направлениям: термодинамика, прикладная физика, материаловедение, математическая физика. А в наиболее плачевном состоянии находится наша медицинская наука (особенно стоматология, челюстная хирургия), а также гуманитарные предметы – право, криминология, социальная психология.

– Наверное, отчасти в таком отставании научных разработок виновато и недостаточное информирование наших ученых? Как ликвидируется у нас дефицит информации?

– В России, например, с опозданием на полгода узнали о публикациях по «холодному термояду», и, как следствие, ключевой раздел физики отстал в развитии на полгода. Этот «прокол» ускорил работу по созданию российского сегмента Интернета. Так что теперь Россия в этом направлении значительно опередила Украину. Но наш

институт пытается сделать все возможное и в сегодняшней сложной ситуации. Он был создан 12 лет назад как центр для разработки технических средств для хранения и распространения больших объемов информации. Заплечами нашего коллектива ряд фундаментальных работ, в том числе – разработка первого в мире оптического диска для сбора и сохранения информации и первого оптического цилиндра. С их помощью в кратчайшие сроки были выполнены работы по реставрации фонографических цилиндров Эдисона и таким образом фактически спасены сокровища еврейской музыкальной культуры, хранившиеся в Украине. Кроме того, вот уже почти 9 лет мы выпускаем электронную газету «Все–Всем». Это первая в мире система массового распространения компьютерной информации. К нам в институт информация стекается по телефонным линиям, спутниковым и радиорелейным каналам и каждый день, кроме субботы и воскресенья, в 13.15 передается по всей Украине по каналу «УТ-1». Принимать ее могут одновременно сотни тысяч пользователей. Газета позволила нам создать свою систему баз данных, мы стали выпускать, сначала в компьютерном виде, а потом и в печатном, первый Украинский реферативный журнал «Джерело». Совместно с Национальной библиотекой Украины имени В.И.Вернадского с этого года издаем его в трех сериях: естественные, технические и гуманитарные науки. Так что ученые Украины, если хотят, могут иметь достаточно подробную информацию о работе своих коллег за рубежом и практически полную – о деятельности отечественных ученых. Мы действительно стали одним из основных информационных центров страны. За последние 5 лет нам удалось собрать более 8 миллионов рефератов статей из журналов всего мира, что составило 1/3 базы данных Института научной информации США, а также рефераты ученых Украины за последние 3 года по всем отраслям науки, законы Украины, постановления парламента, принятые за 8 лет, и многие другие интересные документы. Они записаны на 50 компакт-дисках, ими пользуются украинские вузы, в частности Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко. В ноябре Институт научной информации США дал нам возможность бесплатно подключиться к работе с его главными информационными базами в течение месяца.

– И сколько украинских ученых воспользовались такой возможностью? Ведь прошло уже 3 недели с начала эксперимента?

– К нашему серверу в настоящее время подключен высокоскоростной канал (до 1 Мбита в секунду), предоставленный коммуникационной фирмой «W-COM», и установлены 10 компьютеров от фирмы «Информационные компьютерные системы». За 3 недели с базами данных работали более 120 представителей различных организаций. Хочу подчеркнуть, что стратегическая цель нашей деятельности заключается в том, чтобы помочь ученым нашей страны повысить эффективность своих поисков, инженерам–технологам создавать конкурентоспособную продукцию, преподавателям иметь представление о современном состоянии их области знаний, лучше готовить молодое поколение. А все это поможет быстрой интеграции Украины в современное мировое сообщество.

Інтелект нації

Вадим Пепа

Урядовий кур'єр. № 110. 17 червня 2000 р.

У розмові з директором Інституту проблем реєстрації інформації НАН України, членом-кореспондентом НАН України, доктором технічних наук В'ячеславом Петровим найперше постало питання про сучасну тенденцію інтеграції інтелектуальних сил усього світу, створення комп'ютерних мереж, які акумулюють наукові, економічні, господарські, технічні, культурні здобутки на земній кулі.

– Закладаються гігантські централізовані бази даних, наголошує В'ячеслав Васильович. – Скажімо понад півторасти найкрупніших американських об'єднала швидкісна мережа «Інтернет 2». Відкрито кожному вченому доступ до експериментів, які проводяться його колегами. Причому, це забезпечується не тільки технічно, а й законодавчо. За чинними у США законами, усе, що виконується за кошти платників податків, тобто за бюджетні кошти, має бути відкритим і доступним для будь-кого із платників податків.

Оскільки ж і за океаном університети більшою чи меншою мірою фінансуються з бюджету, дослідження, що здійснюються в тій чи тій лабораторії, відкриті для всього суспільства. Ця особливість американського законодавства, сказати б, дуже виграшна. Довкола університетів створюються дослідницькі центри фірм, які плідні ідеї, відкриття втілюють у життя. За великим рахунком, немає розриву між наукою і реалізацією її здобутків на практиці. А тепер же усі ці університети, які обліплені сотнями фірм, об'єднані в одну комп'ютерну супермережу. Це вже гігантське утворення, що за оптимальних умов працює як єдиний добре відлагоджений механізм. Ясно, це ще один колосальний прорив в інформаційних технологіях.

– **Ось як законодавчо можна забезпечити ефективність і дієздатність науки.**

– Так. І віддачу її.

– **Вже набили оскому порівняння не на нашу користь, але тут заради справи не обійтися...**

– У нас у цьому плані поки що цілковита невизначеність. Щоб ознайомитися з результатами досліджень, які здійснюються за рахунок такої ж держбюджету потрібно подолати не один бар'єр, зламати не одну перепону. Звіти і таке інше за розсудом адміністрацій часом знаходяться за сімома замками. Звичайно, кінцеві результати збираються і оприлюднюються. Але де вже після закінчення робіт, коли ті й ті результати практично застаріють. Нині, коли темпи оновлення знань у багатьох галузях становлять якихось півтора-два роки, немає сенсу одержувати підсумки, скажімо, п'ятирічної роботи того чи того закладу.

Таке годиться хіба що для констатації факту. А для діла треба мати доступ до оперативних результатів досліджень, до тих, які проводяться нині, і одержувати про це інформацію сьогодні, а не чекати, поки хтось «зволить» довести її до відома.

– **Мабуть же, вагоме слово тут має сказати Національна академія наук України?**

– Звичайно, Академія наук могла б стати тією структурою, в якій десь такий підхід до справи слід було б реалізувати. Адже вона державна. Але тут, образно кажучи, зв'язує по руках і ногах примара нашої загальної біди – мізерність ресурсів. Немає коштів на створення сучасної комп'ютерної мережі. Нині здійснюється скромний

проект «Уран» спільно з Міністерством освіти і науки України. Комп'ютерною мережею охоплено кілька десятків науково-дослідних центрів. Це перший крок. Але дуже важливий. Причина загальної слабкості в тому, що державою не виділяються необхідні кошти. Невже надіятися на те, що американці, німці, ще хтось багатший з Європи нас комп'ютеризують? Та ми ж самі повинні про це подбати, якщо не хочемо пасти задніх.

Ось ми розробили свою технологію продукування штамів для виробництва компакт-дисків. Створили унікальне обладнання.

– Світового рівня?

– Лише п'ять фірм у всьому світі на цьому рубежі, і ми намагаємося їм не поступатися. До речі, інша робота, нещодавно виконана інститутом, зі створення нового методу та обладнання для відновлення і перезапису раритетних аудіозаписів із фонографічних воскових циліндрів Едісона, знайшла світове визнання. Вчені Данії визнали цей метод та обладнання кращими в світі й довірили нам перезапис колекції циліндрів із фонограмами датського композитора Карла Нільсена, яка є національним надбанням. Нещодавно до нас звернулися фахівці з архіву народної культури Бібліотеки Конгресу США, які хочуть відновити колекцію записів британської народної музики, створену колекціонером Джеймсом Мадісоном Карпентером. Початок же цій роботі був покладений нами перезаписом унікальної колекції музичного фольклору початку сторіччя (близько 1000 циліндрів), яка зберігається в Національній бібліотеці України ім. В. І. Вернадського і вже повністю переписана.

Та не менш важливе інше. Ми змогли скоординувати роботу дванадцяти академічних інститутів, опертися на новітні дослідження хіміків, фізиків, матеріалознавців. Нині діючих підприємств мікроелектроніки в Україні практично немає. Але є унікальне обладнання, яке дозволяє з точністю до тисячних часток відсотка визначати склад будь-якого матеріалу, металу, сплаву. і ми з цього скористалися. Так само й унікальним атомним мікроскопом: розміри бітів на компакт-диску одержували з точністю до однієї тисячної мікрона. Ми вдячні за новітні розробки колективам інститутів органічної хімії – спеціальні барвники, монокристалів – спеціальна гама сухих фоторезистів. Ніяк не могли обійтися без консультацій в інститутах електрозварювання ім. Є. О. Патона, загальної та неорганічної хімії. А щодо плідної співпраці з інститутами фізики напівпровідників, фізики, то й сам Господь велів.

Завдяки цій конструктивній взаємодії створено потужну технологічну базу галузі. Нині, на жаль, мало що впроваджується, реалізується. А вчені ж за своєю природою жадібні до пошуків і творення. І коли з'являється можливість віддати всі сили, енергію значущій справі, працюють натхненно, від душі. На основі одержаного, розробленого наші колеги з інших інститутів мають можливість рухатися далі, примножувати здобутки: Маємо основу для інтенсивнішого розвитку техніки оптичного запису інформації.

– Попри всі негаразди, наша наука, або, ширше, інтелект нашої держави на високому рівні?

– Відповідь фактами. Наприкінці минулого року ми дістали можливість надати широкому колу вчених доступ до світових банків даних. Необхідно знати, чим займаються інші, щоб зорієнтуватися, де фронт передових досліджень і які з них сьогодні найактуальніші. За науковими проривами слідують прикладні результати нові технології, нові матеріали, нові продукти. Вивчаючи стан світової науки, буквально в перших числах квітня цього року з'ясували, яким же є внесок учених України. Протягом 1995-1998 років публікації українських учених у світових базах даних становили в середньому 0,38 відсотка. Це мало для держави з такою кількістю населення і таким

потенціалом, як у нас. А до цього ж ще й тривожна тенденція до спаду. У 1999 р. – 0,28 відсотка; в березні 2000 р. – 0,23 відсотка.

Важка економічна ситуація і, як наслідок, дедалі менше таких наукових досліджень і, відповідно, публікацій, на які посилаються, які визнаються у світі. Краще становище в таких галузях, як машинобудування, фізика, хімія, металургія, інформатика, математика — це відлуння колишніх широких запитів оборонної промисловості. Що ж стосується гуманітарних наук, то тут ситуація просто катастрофічна. Досліджень українських учених соціального характеру, із психології, економіки, бізнесу, суспільствознавства, філософії, мистецтвознавства, історії, літературознавства за кордоном фактично не знають і не посилаються на них. Низький світовий рейтинг також аграрних наук.

По правді кажучи, в цілому ці дані ми навіть остерігались публікувати. Сумна картина. Відображає відсталість досліджень у багатьох галузях знань. Щоб не опинитися на узбіччі світового розвитку, потрібно подбати про всебічне забезпечення науки — фінансове, новітнім обладнанням, унікальними приладами. Університети та науководослідні установи мали б стати опорними центрами промислових структур, зацікавлених у проведенні фундаментальних досліджень, які в кінцевому підсумку матимуть велике практичне значення. Та хай там що, але загальне враження — в Україні збережено науковий потенціал. Дати йому можливість розгорнути діяльність на повну силу — вимога часу.

Мозок міста

Вадим Пепа

Столиця. № 91 (296). 2000 р.

Не перелічити всіх епох в історії людства. Найдовготриваліші з них ледь вгадуються за туманами давнини. Після палеоліту й наступних віків виразніше вимальовуються ближчі — мідний, бронзовий, залізний... З кожним новим століттям розвиток настільки прискорювався, час так ущільнювався, що нашому двадцятому століттю дістається вже не якесь одне, а кілька епохальних визначень — електричне, атомне, ядерне... І це ще не все. На зламі другого-третього тисячоліть — інформаційна революція.

— Потужний прорив у галузі інформатики — це новий етап у розвитку людства, — відзначив у розмові зі мною директор Інституту проблем реєстрації інформації НАН України, член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, лауреат наукових премій імені С. О. Лебедева та імені В. М. Глушкова В'ячеслав Васильович Петров. — Створення і масове впровадження комп'ютерів, розширення мереж передачі даних веде до того, що наукові, технологічні, технічні, економічні процеси об'єднуються в одне ціле. Фактично вся планета перетворюється в єдиний організм, що працює на прискорення прогресу, збільшення продуктивності праці, а загалом на ні з чим незрівнянне інтелектуальне збагачення людства. Наскільки важлива роль сучасних інформаційних технологій, судімо хоча б з відставання в одержанні політичної, економічної та наукової інформації на кілька годин чи навіть хвилин — це може завдати непоправних витрат.

В США я знайомився з роботою «Доу-Джонс Корпорейшн» – компанії, яка займається збиранням та обробкою політичної, економічної інформації з усього світу. Їх кредо: за межі центру інформація має бути передана не раніше, ніж через п'ять хвилин після одержання. Цих хвилин вистачає, щоб у центрі прийняти необхідні рішення і після того надати інформацію усім іншим, хто в ній зацікавлений. Така вимога сучасності. І ми повинні інтегруватися в цей процес. Нам якнайшвидше слід включитися в світову інформаційну інфраструктуру.

– **Це оптимально. Але це означає, що зробив один крок і...**

– Я розповім лише про один з наших пріоритетних напрямків. Це програма інформатизації міста Києва, яку ми започаткували два роки тому спільно з міською держадміністрацією. Столиця нашої держави це не тільки головний політичний, а й великий промисловий, економічний, науковий, культурний центр. Забезпечення його повнокровної життєдіяльності в сучасних умовах неможливе без всеохоплюючої інформатизації цього огрому, всіх його ланок зокрема. Найперше, це інформатизація діловодства. Результат – величезна економія часу й паперу. Для запису того, що вміщує один компакт-диск, необхідно паперу загальною вагою дві з половиною тисячі тонн.

– **Уявімо: які масиви лісів збережуться...**

– Не кажучи про економію інших затрат. А собівартість виробництва такого диска – в межах одного долара.

– **Але ми відхилилися. Продовжимо нашу бесіду...**

– Чого ж? Одне з важливих – забезпечення городян можливістю одержати без зволікань будь-якої довідки, вичерпної інформації з різних питань – щодо робочих місць, товарів і послуг, цін на них, про відпочинок, квитки тощо. А для цього необхідно розширювати сучасні комп'ютерні мережі. Водночас вони відкривають Київ не тільки для всієї України, а й для зарубіжжя. Тим більше, що у світовому масштабі уже відбуваються помітні революційні зрушення. Скажімо, цього року в німецькому місті Бремені мери 70 найкрупніших міст планети підписали конституцію (так названо цю угоду) з інформатизації міст. Перші підписи поставили «батьки» таких мегаполісів як Лондон, Рим, Каїр, Токіо... Київську делегацію очолював заступник голови держадміністрації, він же й керівник програми з інформатизації Києва Олексій Іванович Чебунін.

– **Чому саме Бремен було обрано для проведення такого форуму?**

– Це місто уславлено не лише музиками. Воно уславлено й іншим: одна його частина – великий порт на березі Північного моря, а за якихось 130 кілометрів на південь – неподалік від Ганновера – уже саме місто. Назви промовляють самі за себе: відомий у XVI–XIX століттях торговельний і політичний ганзейський союз здійснював посередницьку торгівлю між Західною і Східною Європою – через Ригу до Новгороду. Це була тоді торговельна гегемонія в Північній Європі. У них і тепер багато в чому міцні позиції. Скажімо, більш як чотиристолітня монополія на виробництво спиртних напоїв не минулася даром. Четверта частина пива, яким славиться Німеччина, вариться тут. 25 відсотків кави, яка фасується в Європі, – з бременськими даними даними. Крупний промисловий центр, у якому сконцентровані потужні інтелектуальні сили. Визначальні й позиції в Європі по створенню космічних лабораторій. Тут же – міжнародна асоціація «Аус-тріум», яка об'єднує всіх, хто пов'язаний з використанням ракети «Лоріана» для космічних комерційних програм. Головне ж – там знаходиться мозковий трест «Дейтше телеком» – фірма «Т-нова», яка розробляє програми, в тому числі й інформатизації Бремена та інших міст Німеччини. Саме вона і є тим інтелектуальним осередком, до якого долучаються сили, здатні об'єднати програми з інформатизації міст уже в світовому масштабі.

– Як же виглядав Київ на тому зібранні?

– Певний досвід у нас уже набуто. Здобутки фахівців з Національної академії наук, та багатьох вузів незаперечні. За короткий строк наш Інститут розробив концепцію, а колектив під керівництвом О.Чебуніна – програму інформатизації Києва. Вона затверджена міською держадміністрацією, й урочисто була представлена в палаці «Україна». Взявши на себе організаційні функції, займаємося нині створенням консультативного центру з інформатизації Києва, аби будь-яка міська структура, підрозділ чи установа та й навіть окремі громадяни могли одержати пораду: як використовувати програмні продукти, яка потрібна техніка і мережі для цього. Для центру, функціонування якого схвалено на спільному засіданні міської держадміністрації і Президії НАН України, в інституті виділено 800 кв. м площі. За допомогою спонсорів оснащуємо центр необхідною технікою. Якнайшвидше маємо інформатизувати головну ланку – управлінську. Але підкреслю, – це тільки перший крок. Наступне завдання теж почали розв’язувати. Це – інформатизація освіти.

– В цьому плані щось уже робилося...

– Так. Але вкажу на приклад США. За рахунок держави навчальним закладам усіх рівнів було поставлено за одним заходом 270 тисяч комп’ютерів. Цим було забезпечено перший якісний стрибок. В Україні, а конкретно й у Києві, так само потрібні серйозні організаційні рішення, які б стимулювали процеси інформатизації. Адже від їх розвитку в подальшому залежатиме ефективність роботи всіх складових міста. Так, ми покликані займатися науковими дослідженнями. Та мусимо відволікати частину людей на роботу по інформатизації Києва. Приємно, що за украї обмеженого фінансування зуміли підключити до нашого комунікаційного вузла майже всі районні адміністрації та понад 40 різних міських структур. Тепер спільними силами маємо впровадити електронний документообіг. Звичайно ж, ми не сиділи, склавши руки. Накопичено бази даних в НДІ СЕП – науково-дослідному інституті соціально-економічних проблем Києва, який очолює доктор економічних наук О. Невелєв. А ще ж треба створити доступну базу даних нормативної документації не тільки міста, а й усієї нашої держави, аби усі, кому це необхідно, могли без обмежень нею користуватися.

– І лівова частка цієї копії роботи напевне ляже на плечі вашого Інституту?

– На нашу думку, конче назріла потреба створити спеціалізоване комунальне підприємство з інформатизації Києва. І, звичайно ж, думати про фінансування. Сьогодні виробництво комп’ютерної техніки зосереджено в основному за рубежем. В Україні є кілька фірм, які наблизилися до цього, але вони займаються в основному складанням комп’ютерів. А комп’ютер – лише ланка в довгому ланцюгу комп’ютеризації країни. Ще ж і комунікаційне обладнання, і розробка програмного забезпечення, і процеси навчання, що дають можливість використовувати інформаційні продукти. Головна ж організуюча – створення інформаційного середовища. Рівнозначне створенню середовища проживання. Всього завдання завдань – надати можливість доступу до світових інформаційних ресурсів усім, хто працює в науці, освіті, культурі, економіці, промисловості, бізнесі, в торгівлі – загалом усім широким верствам населення. Без цього Київ не зможе ефективно скористатися своїм потужним інтелектуальним потенціалом. Вкладене в інформатизацію, як засвідчує світовий досвід, повертається надприбутками. Ми на порозі ХХІ століття. Це століття високих технологій. Судимо самі: щорічний обсяг продукції агропромислового комплексу, яка виробляється в Україні, оцінюється в 7–10 млрд доларів. Десятки комп’ютерних фірм у США заробляють більше, аніж Україна на всіх своїх чорноземах. А на створення

одного комплексу з виробництва сучасних інтегральних схем витрачається 3–7 млрд доларів. Але ж і продукція – на еквівалентні суми. Виробіток на одного працюючого в доларовому обчисленні в сотні разів вищий, аніж у сільському господарстві. Це – для порівняння. Окрім усього іншого, інформатизація створює середовище, привабливе для іноземних інвесторів, оскільки забезпечується відкритість усіх сфер життєдіяльності міста чи й країни, прозорість функціонування різних структур, доступ до будь-якої інформації. Нагальне з нагального – впровадження високих технологій, щоб одержати належну віддачу, забезпечити високу продуктивність праці. Тому в Києві, у місті традиційно розвинутого приладобудування, важливо в першу чергу підняти галузі, пов'язані з інформатизацією. Тоді доведеться менше закуповувати потрібне обладнання за рубезем, а створювати його власними силами. З потужною галуззю інформатизації відкриваються великі перспективи подальшого розвитку столиці України.

Первые в мире компакт-диски были созданы в Украине

Роберт Василь

Факты. 31 января 2001 г.

Оказывается, компакт-диски, которые принято считать достижением западной цивилизации, были впервые созданы в Украине. И это не очередная рассказка из серии «Россия – родина слонов». В Институте проблем регистрации информации Национальной академии наук Украины до сих пор можно видеть первые в мире лазерные диски, созданные еще в начале 70-х годов. А показал мне их, рассказал об истории создания и о том, почему сегодня мы отстаем в этой сфере от Запада, директор института, член-корреспондент НАН Украины Вячеслав Петров.

– **Вячеслав Васильевич, как появилась идея создания принципиально новых носителей информации?**

– Толчком послужило открытие, сделанное учеными Киевского университета и Института физики полупроводников. Суть открытого явления заключалась в том, что если нанести на металлическую поверхность тончайший слой полупроводника и направить на нее пучок света, то появится изображение.

Первооткрыватели обратились к ученым других специальностей с предложением поискать способы применения этого открытия. И вот тогда я на два года переселился из Института кибернетики, где уже несколько лет занимался разработками в области компьютерной памяти, в Институт физики полупроводников. И мы понапридумывали там очень многое. Ведь в сущности был открыт принципиально новый способ фотографии. Толщина пленки полупроводника, наносившаяся на поверхность, составляла всего 0,018 микрона. Благодаря этому на ней можно было создавать изображения, включающие очень мелкие детали. Уже 35 лет назад мы научились наносить на поверхность элементы, имевшие размер меньше микрона.

Вот, кстати, один из побочных продуктов наших разработок. *(В моих руках оказывается небольшой, диаметром около трех сантиметров, металлический диск с крохотным стеклянным окошечком на боку. В окошечке видна гладкая красная пластина с небольшой царapiной посередине. – Авт.)* Эта царapiна – портрет Леонида Ильича

Брежнева в полном маршальском облачении размером 1,5 мм а внутри маршальской звезды – еще один портрет Брежнева размером 40 микрон. Толщина линий, из которых сделан портрет, – 0,2 микрона. Размер элементов записи на самых современных дисках DVD больше. А мы это изображение сделали, между прочим, 25 лет назад.

– **А зачем понадобился такой маленький портрет Брежнева?**

– История появления этого сувенира такова. Владимир Васильевич Щербицкий дал задание подготовить несколько интересных подарков к 70-летию Брежнева. И у Бориса Евгениевича Патона возникла идея создать сувенир на основе нашей уникальной технологии. Основной деталью прибора был мощный микроскоп. Внутрь мы вмонтировали магнитофон. Сначала микроскоп включали на среднее увеличение, чтобы был виден только большой портрет. А затем микроскоп переключался на большое увеличение. Становился виден маленький портрет, и магнитофон голосом Брежнева произнес его известную фразу о том, что «наука достигла такого рубежа, что стала непосредственной производительной силой».

– **И что, подарили этот сувенир Брежневу?**

– Наш подарок был отобран в числе лучших и показан Щербицкому. Но он усомнился. «Вы знаете, – сказал он, – я накануне разговаривал с Суловым и он мне сказал, что сейчас не сталинские времена, когда генеральному секретарю дарили множество подарков. Сейчас надо быть скромнее. К тому же с Брежневым мы обычно говорим не о науке, а об угле, стали, хлебе».

Патон настаивал. Говорил, что, как бы там ни было, такие вещи остаются в памяти. Кроме того, этим прибором показаны достижения советской науки. «Ну, хорошо, – говорит Щербицкий, – сделаем так. Через пару дней Брежнев, возвращаясь из заграничного визита, заедет в Киев, тогда мы ему эту вещь и покажем. А если ему понравится, то сразу и подарим».

Но вышло так, что накануне дня рождения Брежнев в Киев так и не приехал. Так что подарок ему вручить не удалось.

– **Но изготовление сувениров было, наверное, не главной вашей работой.**

– Ознакомившись с новым открытием, я как специалист по компьютерной памяти сразу предложил попробовать создать на его основе запоминающее устройство. Надо сказать, что эти работы сразу получили большой резонанс. Нас поддержал Виктор Михайлович Глушков. Были выделены деньги, и через некоторое время такая система была разработана и даже запущена в производство на каменец-подольском заводе «Электроприбор». Вот этот диск. *(Он напоминает большую дискету с металлическим корпусом. Внутри – что-то вроде стеклянной грампластинки. – Авт.)* Плотность записи на нем, кстати, выше, чем на современных компакт-дисках. В 1976 году на Всемирном электротехническом конгрессе я сделал доклад «Оптический диск как универсальный носитель информации». В этом докладе я показал, что разработанный нами оптический диск пригоден для записи практически любой информации – цифровой, графической, звуковой, а также видеоизображений. Так что все достижения современной технологии мы предвидели 25 лет назад.

– **Но до их воплощения тогда было еще далеко...**

– Работы продолжались, несмотря на обрушившуюся на нас критику. Нам говорили: «Зачем вы это делаете? Американцы же в этом направлении не работают, и нам не надо. Нужно совершенствовать уже имеющиеся магнитные диски».

Тогда после выпуска первых 16 систем было остановлено производство в Каменец-Подольском. Директор завода очень ратовал за то, чтобы прекратить их выпуск под тем предлогом, что завод не может потянуть две разработки одновременно. Некоторые из них еще сейчас хранятся в нашем институте как первые в мире(!) оптические

накопители, подключенные к крупным машинам. А завод сейчас выпускает кровати.

– **Как же получилось, что, обладая столь весомыми научными достижениями, Украина сегодня не является лидером на рынке компакт-дисков?**

– Технологические революции происходят тогда, когда становится возможным массовое производство новой техники. Стеклопластиковые диски для этого были не очень удобны. Нужен был новый материал для промышленной штамповки дисков. Его получили в Америке в качестве побочного продукта космических исследований. Отправляя астронавтов на Луну, американские ученые конструировали для них костюмы. Для изготовления прозрачных шлемов вместо привычного оргстекла была синтезирована новая пластмасса – поликарбонат. Она обладает замечательными свойствами. Четырех миллиметровый слой поликарбоната выдерживает удар пули, его физические свойства очень однородны, что чрезвычайно важно для оптических технологий. В общем, после успешного возвращения астронавтов на Землю поликарбонат нашел применение в производстве компакт-дисков.

– **Но, несмотря на то что прорыв в технологии штамповки произошел не у нас, украинцы все-таки успешно освоили производство компакт-дисков. И достигли в этом таких успехов, что сегодня нами просто детей в Европе и Америке пугают: дескать, мы – пираты, ограбили полсвета. Некоторые издания утверждают, что наши заводы выпускают только нелегальные диски, нанося огромный ущерб производителям интеллектуального продукта.**

– Фактически сейчас в Украине работают только один завод и два небольших производства компакт-дисков. Тщательные проверки не обнаружили фактов производства на них нелегальной продукции, но все же надо признать, что явление пиратства в Украине существует. И с этим надо бороться. Однако методы борьбы должны быть такими, которые позволили бы нам сохранить эту отрасль, насыщенную высокими технологиями и во многом сегодня определяющую культурный облик нации.

– **Какие же средства предлагаются?**

– Я включен в состав комиссии по подготовке законопроекта о защите авторских прав. На нескольких заседаниях я присутствовал, а потом меня перестали приглашать, так как моя позиция совершенно не устраивала американцев, которые фактически привезли готовый законопроект и настаивают на том, чтобы он был принят.

Основная идея законопроекта – создание очень жестких ограничений в производстве компакт-дисков, которые делают его практически невозможным. Например, производитель должен проверять наличие и законность прав на издание того или иного диска.

Но, на мой взгляд, здесь совершенно смещены акценты. Ведь потребителем авторских прав являются не производители дисков, а издатели. То есть нормальная процедура производства компакт-дисков такова: издатель покупает лицензии на использование тех или иных аудио-, видео- или программных продуктов и передает исходные данные производителю, который выполняет уже только техническую работу по тиражированию. Он не может, да и не должен проверять правомерность использования таких данных. Для этого есть издатель, который и занимается продажей дисков. Это аналогично книгоиздательству. Никто ведь не заставляет типографию проверять правомерность использования текстов. Она только печатает, а правовые вопросы решает издательство.

– **Почему же все-таки американцы не предъявляют требований к издателям? Вы общались с ними на заседаниях. Какова их аргументация?**

– Они ссылаются на «хороший» опыт работы с Болгарией. С этой страной поступили по той же схеме. Там тоже было довольно мощное производство компакт-

дисков. Правда, лицензий им никто не продавал. И тут появились борцы с пиратством, которые пообещали, что если болгары закроют производство, то им будут продавать дешевые лицензии. Производство закрыли, а лицензии болгарским издателям по-прежнему никто не продает. Таким образом погублена целая отрасль экономики. Соответственно не возникает и проблем с авторскими правами.

– Но ведь не секрет, что сегодня в Украине продают много пиратских компакт-дисков. И, в общем, это действительно нехорошо. Ведь производители фонограмм, кино и программ должны получать деньги за свою работу. Все равно – украинские они или заграничные. Это их хлеб, и красть его непорядочно.

– Конечно, воровать нельзя. Но и оставлять всю страну без современной информации из-за того, что кто-то что-то украл, тоже нельзя. Здесь, на мой взгляд, надо искать компромисс. И он существует. Ведь наши издатели избегают покупки авторских прав не потому, что они изначально непорядочные люди, а потому, что стоимость этих прав слишком высока, такие диски наш соотечественник не купит. Денег не хватит. Поэтому если бы та же IFPI (*неправительственный орган, объединяющий пять крупнейших в мире фирм, владельцев прав на фонограммы.* – Авт.), которая ратует за принятие нового закона, согласилась продавать нам недорогие лицензии, но с условием распространения дисков только в Украине, то пираты бы исчезли сами собой.

А для ограничения распространения, кроме юридических барьеров, можно поставить еще и языковой. Обязать издателей переводить все программы и кино на украинский язык. Едва ли большое число россиян примется изучать украинский ради удовольствия покупать наши дешевые лицензионные диски. А о более отдаленных народах и говорить нечего.

– Ну, хорошо, предположим, закон, предлагаемый IFPI, принят и мы вошли в мировой рынок компакт-дисков. Почему же нам тогда придется их покупать? Сколько стоят диски в Америке?

– От 8–9 долларов за музыкальные записи до тысяч долларов за WINDOWS-2000.

– Пожалуй, такая цена будет не по зубам даже относительно обеспеченным украинцам.

– На самом деле таких цен на диски в Украине не будет. И без дисков мы, скорее всего, не останемся. Продукцию наших заводов с успехом заменит аналогичная российская. У соседей это производство сейчас активно развивается. По моим сведениям, только в 2000 году создано 18 линий в Москве и Подмосковье.

Так что рынок дисков повторит судьбу книжного рынка. Его заполнит более дешевая продукция соседей, лучше понимающих свою выгоду.

А розпочалося з єврейських пісень

Олександр Рожен

Зеркало тижня. Березень 2004 р.

Перший механічний запис голосу людини вдалося зробити в XIX столітті на валиках із воску, а потім на не дуже міцних валиках із дуже м'яких металів. На жаль, дедалі інтенсивніше лавина удосконалень у технології запису й відтворення інформації поставила меломанів перед нелегкою проблемою: як змусити звучати довоєнну платівку

чи едісонівський валик? Уже не знайдеш перших програвачів – їх викинули на смітник ще наші дідусі й бабусі.

До речі, незабаром із такою ж самою проблемою зіштовхнуться і власники колекцій записів на магнітних стрічках, оскільки магнітофони стрімко виходять з ужитку. Не менше турботі в кінолюбителів, котрі знімали колись свої фільми на вузьку кіноплівку. Проекторів уже вдень зі свічкою не знайдеш, а перевести кіноплівку на сучасний магнітний носій або CD-диск – нелегко. Принаймні навіть у Києві непросто знайти студію звукозапису, яка візьметься за це, не кажучи вже про провінційні міста.

Інколи проблеми виникають навіть у професіоналів – недавно власники оригіналів записів розмов із Землею першого космонавта Юрія Гагаріна не могли перевести їх у нормальний формат. Певна річ, змусити звучати перші голоси, записані на едісонівські валики, – завдання взагалі надзвичайно складне. Тим паче що вони найчастіше зберігалися бозна-де й сьогодні перебувають у жахливому стані.

Тим актуальніша програма, що нею займався Інститут проблем реєстрації інформації, очолюваний професором В'ячеславом Петровим. Учені працюють над поверненням до життя трьох унікальних колекцій. Перша з них, якій присвячено майже шість років роботи, – відновлення записів єврейського фольклору. «Сьогодні очищено 80 відсотків записів, – повідомив В'ячеслав Васильович. – До кінця року сподіваємося закінчити технічну частину й розпочати видання колекції. Це буде майже 100 компакт-дисків із записами пісень єврейського народу, які чудово звучать.

Ми домовилися зі Львівською музичною академією про перезапис фольклорної перлини українців Прикарпаття і Закарпаття. Спочатку було записано три тисячі валиків. Проте донині зберіглося лише близько 750 валиків. Із них придатних до бодай якогось прочитання – понад 500. Вони перевезені зі Львова до київського інституту, і зараз починається їх перезапис, аби це унікальне зібрання – приблизно три тисячі мелодій – зберегти й зробити доступним для шанувальників народної музики, фахівців, композиторів! Товариство імені Т. Шевченка фінансувало виконання робіт.

До українських учених зверталися з багатьох країн із проханням очистити й відновити звучання їхніх колекцій. Після того, як вони успішно виконали замовлення зі Швеції і Данії, Польська народна бібліотека привезла в Київ 30 найцінніших валиків зі своєї скарбниці. Потім була акція, яка високо підняла їхній престиж у Європі, – представник Польщі торік у листопаді на Європейській конференції продемонстрував відтворені голоси. Присутні влаштували овацію.

Недавно в Інститут проблем реєстрації інформації звернулися спеціалісти з кількох російських музеїв із пропозицією відновити шедеври зі своїх колекцій. Незабаром до столиці України має прибути перша партія унікальних фонограм, серед яких перші записи Шаляпіна, Собінова, Нежданової. У Росії зберігається колекція з майже 12 тисяч валиків. Відомий археолог академік Янін звернувся до уряду Росії, до міністра культури України й до президента Національної академії наук із проханням створити російсько-українську програму з перезапису російських колекцій у київському інституті. Подолано останні перешкоди на шляху реалізації спільної програми. Відрадно, що українські кібернетики в нинішній нелегкий для української науки час знайшли нішу, де почуваються впевнено й можуть достойно конкурувати з колегами з інших країн.

Мы применяем метод лечения косоглазия, благодаря которому 30 процентов детей теперь можно вылечить без операции

С. А. Рыков

Факты. 1 марта 2012 г.

Если у новорожденного офтальмологи выявляют «глазные» проблемы, надо сразу принимать меры. «Кажется, у вашего малыша глазик косит», – говорит наблюдательная соседка. И родители начинают тревожиться: «Неужели косоглазие?»

– К нам часто обращаются с таким вопросом, но выясняется, что тревога ложная – это так называемое кажущееся косоглазие, – говорит главный внештатный офтальмолог Минздрава Украины, руководитель столичного Центра микрохирургии глаза доктор медицинских наук профессор Сергей Рыков. – Родители, которые сомневаются, все ли в порядке с глазами у ребенка, должны показать малыша окулисту. Если есть проблема и начать вовремя лечение, легче будет достичь эффекта. У нас появилась новая технология диагностики и лечения косоглазия, которую разработали отечественные специалисты Института регистрации информации Национальной академии наук Украины. С помощью микропризм можно очень точно определить, какой угол косоглазия у ребенка, рассчитать, как его скорректировать во время операции, выписать сфероприменные очки, помогающие глазу правильно воспринимать изображение. Технология запатентована. Аналогов в мире не существует.

– Что будет, если родители понадеятся на то, что ребенок «перерастет» и у него глаза сами станут на место?

– Это опасное заблуждение. Если у ребенка косоглазие, то он видит окружающий мир фактически одним глазом, потому что мозг хочет «выключить» другой глаз, загоняя его в прямом смысле слова в угол. Чем дольше сохраняется такая ситуация, тем меньший процент зрения остается на неработающем зрительном органе. Чтобы этого не произошло, нужны специальные занятия, особые очки, операции.

Раньше нам приходилось делать три операции до того, пока ребенку не исполнилось семь лет – только так можно было поставить глаз на место, выровнять глазные мышцы. Родители, не понимая, зачем это нужно, часто жаловались: прооперировали, а эффекта нет, малыш все равно косит. На самом деле в таком подходе учитывалось, что кости черепа у ребенка растут и положение глазных мышц обязательно изменится. Но так происходило не всегда. Теперь, благодаря более точной диагностике, делать расчеты гораздо легче.

– Как часто у детей встречается косоглазие?

– По статистическим данным, в Украине этим заболеванием страдает около 200 тысяч человек, 150 тысяч из них – дети. Но, думаю, таких гораздо больше. Ведь косоглазие сопровождается другие глазные болезни – астигматизм, дальнозоркость. И этот дефект не только косметический. Дети хуже видят, а значит, хуже ориентируются в жизни, хуже учатся. Им надо обязательно помогать. В нашей стране ежегодно проводится почти 12 тысяч операций по поводу косоглазия. Теперь их эффективность станет выше. А благодаря качеству призм удалось достичь стопроцентного возобновления бинокулярного зрения у тех, кто носит призмные очки. Это уникальный показатель в мировой практике.

Широкое применение призмных очков позволит решить проблему косоглазия

Сергей Рыков

Зеркало недели. № 12. Апрель 2014 г.

Важным достижением отечественной науки стало создание специальных оптических микропризм. Уникальность призмных очков в том, что они сокращают время лечения и помогают точно рассчитать угол косоглазия, соответственно, произвести точное оперативное лечение.

Как известно, по скорости и полноте восприятия окружающего мира глаз превосходит все органы чувств человека. 90 процентов информации мы получаем благодаря зрению. В отличие от других сенсорных систем, оно развивается в тесной связи с мозгом. Поэтому очень важно вовремя диагностировать у маленьких детей заболевания глаз, одним из которых является косоглазие.

– В Украине около полумиллиона взрослых и детей страдают косоглазием, – рассказывает главный офтальмолог Украины, директор Центра микрохирургии глаза Сергей Рыков. – Если говорить о детях, которых оперируют, а затем ставят на учет, то их около 220 тысяч. Основная причина косоглазия – врожденные или приобретенные заболевания центральной нервной системы, которые сказываются на работе отделов головного мозга, отвечающих за глазодвигательные мышцы. Спровоцировать косоглазие могут инфекционные заболевания (корь, скарлатина, грипп), генетическая предрасположенность, травмы.

В результате нарушения работы глазодвигательных мышц световой пучок в пораженном глазу не попадает на макулу, по причине чего не формируется бинокулярное зрение. Если до шести лет бинокулярное зрение не будет сформировано, развивается амблиопия (ленивый глаз), что в дальнейшем очень затрудняет лечение косоглазия. Поэтому в три года нужно обязательно показать ребенка офтальмологу. При врожденной дальнозоркости, превышающей +3,0 диоптрии, у ребенка часто развивается содружественное косоглазие. Один глаз может стать ведущим, тогда зрение другого глаза будет снижаться без видимой причины. Близорукость редко приводит к косоглазию.

Классическая методика лечения косоглазия – диагностика, консервативное и хирургическое лечение. Еще в СССР пользовались диагностическими тестами по Гиршбергу. Лечение косоглазия растягивается на годы. Подготовка к операции требует длительного систематического аппаратного лечения.

Но наука не стоит на месте. Одной из первых совместных разработок специалистов Института проблем регистрации информации НАНУ, возглавляемого академиком Вячеславом Петровым, и столичного Центра микрохирургии глаза стал диагностический набор из 42 призм, позволяющих диагностировать угол и величину косоглазия. Он был изготовлен на основе микропризмных элементов Френеля. С его помощью можно измерить угол косоглазия в диапазоне от 0,5 до 30 призмных диоптрий.

Следующим важным достижением отечественной науки стало создание специальных оптических микропризм. С их помощью можно натренировать глаз правильно воспринимать изображение. Уникальность призмных очков в том, что они сокра-

щают время лечения и помогают точно рассчитать угол косоглазия, соответственно, произвести точное оперативное лечение. Раньше косоглазие оперировали в три этапа, теперь достаточно одной операции. Если косоглазие, развившееся в детстве, оперируется во взрослом возрасте, то цель операции – только косметический эффект, так как в силу необратимых функциональных изменений в сетчатке улучшение зрения или восстановление бинокулярного зрения практически невозможно. Поэтому родители должны понимать, насколько важно решить эту проблему вовремя, в самом начале.

Специалист по детской офтальмологии Наталия Алеева внимательно осматривает Сашу Охрименко, которому предстоит операция по устранению косоглазия. У Саши данная патология развилась после травмы. Он упал на разбитую банку, рассек склеру и сильно повредил глаз.

– При диагностике мы используем специальные линейки с призмами для вертикального и горизонтального косоглазия, что очень облегчает работу, – говорит Наталия Николаевна. – Величина косоглазия изменяется в призмах от единицы до пятидесяти. Мы прикладываем призму к глазу и измеряем косоглазие. После определения угла косоглазия предлагаем призмённые очки. В оправу ставится любое значение призмы. Саша носил такие очки около года, теперь у него «хорошее слияние». Ребенок готов к операции. Конечно, после устранения косоглазия мальчик продолжит носить очки, но уже с простыми диоптриями, поскольку у него есть близорукость правого глаза.

Алеше Сидорчуку всего 4 года, у него врожденное косоглазие. «Мы приехали из Феодосии, – рассказывает мама маленького пациента. – Уже год наблюдаемся у Марины Владимировны Шевколенко, до этого лечились дома. Мы носили очки, заклеивали глазик. Потом пять месяцев носили призмённые очки. А вчера Алеше сделали операцию. Она длилась минут сорок. У нас было направление, поэтому за лечение не платили. Я так рада, что сыну сделали операцию и исправили косоглазие. Он очень подвижный и общительный мальчик. После операции еще какое-то время поносим очки, но в школу пойдем уже без них. Завтра возвращаемся домой, в Крым. Ощущение странное – до операции мы жили в одной стране, а вернемся совсем в другую. Очень благодарны нашим врачам и надеемся не потерять с ними связь».

– У ребенка был большой угол косоглазия, мы назначили ему призмённые очки, чтобы натренировать мозг и чтобы он имел возможность воспринимать изображение обоих глаз, – продолжает рассказ мамы кандидат медицинских наук Марина Шевколенко. – Если бы ребенок лечился по старым методикам, нужно было бы делать несколько операций. Сейчас мы работаем по европейским и американским стандартам. Такой угол косоглазия планируем устранить за одну операцию.

– Технологически процесс изготовления призм затратный и требует дальнейших разработок, – поясняет Марина Владимировна. – Очень толстую призму в очковую оправу установить невозможно. А разработанные Вячеславом Петровым призмы тем и хороши, что их можно установить в очки. Чем больше диоптрийность призмы, тем большее количество в ней микропризм. Они и раньше использовались в лечении косоглазия, но были гибкими и клеились на очки. Гибкая микропризма имеет насечки, и микрорельеф открыт, поэтому туда попадает пыль, грязь. Ее приклеивали к очкам специальным клеем. Поэтому эта призма быстро приходила в негодность. У нас их вообще не производили. Коллектив украинских офтальмологов усовершенствовал их. В нашей микропризме есть специальные защитные пластины, поэтому, несмотря на микрорельеф, она гладкая. Ее изготавливают на жесткой поликарбонатной основе, чтобы линза не искривлялась. К очкам она крепится ультразвуковой сваркой, поэтому они очень надежны. В этом плане наши призмы уникальны. Думаю, Институт про-

блем регистрации информации может обеспечить такими призмами всю страну. Другое дело, что еще далеко не все офтальмологи приняли на вооружение эту методику лечения косоглазия.

– При лечении косоглазия нужен индивидуальный подход, – продолжает Марина Владимировна. – Каких-то общих схем лечения не существует. Если мы выявляем аномалию рефракции, то есть, дальнозоркость или астигматизм, соответственно, сначала исправляем эту проблему. Величина угла косоглазия, и соответственно, развитие глазных функций, тоже у всех разные. Чаще всего косоглазие развивается в детском возрасте. Оно может быть врожденным или приобретенным (развивается в два-три года). Так как ребенок растет, все системы и функции его организма тоже развиваются. Но при косоглазии нарушается развитие зрительной системы, поэтому очень важно не упустить время. Иногда родители говорят: пока ребенок слишком маленький, пусть подрастет, тогда будем лечить. Возвращаются через несколько лет, когда косоглазие запущено, нарушены бинокулярные функции в головном мозге, зрение одного глаза потеряно.

Мы объясняем родителям, насколько важно начать лечение вовремя, объясняем принцип работы очков с призмами. Косящий глаз пассивен, его зрительная ось не направлена на рассматриваемый предмет. Он не развивается. Только с помощью призмы можно перенести изображение косящего глаза на объект фиксации и тем самым заставить работать косящий глаз. Это очень важно. Чем раньше мы исправим угол косоглазия, то есть, направим зрительные линии на один объект фиксации, тем быстрее ускорим процесс лечения.

– Необходимо четко обосновать актуальность проблемы косоглазия, проанализировать, сколько людей нуждаются в лечении, – говорит Сергей Рыков. – Следующим этапом в развитии лечения косоглазия должно стать финансирование и проведение тренингов по всей Украине для подготовки и усовершенствования работы специалистов-страбологов. У нас есть хорошие хирурги во всех регионах. Но важно свести оперативное вмешательство к минимуму, для этого необходимо внедрить новые технологии на уровне районных и городских поликлиник. Очень важно восстановить кабинеты охраны зрения. Мы подали свой раздел по лечению косоглазия в государственную программу, четко прописав, что линейки и наборы по определению угла косоглазия и подбору очков должны быть в каждом офтальмологическом кабинете. Я уверен, что широкое применение призмных очков позволит глобально решить проблему косоглазия.

Новітня технологія довготривалого зберігання інформації, розроблена вченими НАН України, не має аналогів

Л. Суржик

Дзеркало тижня. 14 лютого 2014 р.

Відома легенда про те, що десять заповідей царя Соломона було вигравіювано на поверхні його сапфірового персня. У такий оригінальний спосіб, якщо вірити переказу, майже за тисячоліття до нашої ери намагалися (або мріяли) розв'язати завдання тривалого зберігання інформації. Історичні факти свідчать, що це питання хвилювало людей із незапам'ятних часів. Для запису інформації наші предки використовували різні матеріали: камінь, глину (таблички шумерів), папірус, кераміку, залізо, пізніше – папір, фотоплівки. Потім настала епоха так званих машинних носіїв інформації – циліндри Едісона, грамофонні платівки, нікелеві матриці, магнітні стрічки й диски, оптичні диски, твердотільні накопичувачі.

Наявні на сьогодні гори архівних матеріалів, наукових даних намагаються зберігати по-різному: хтось багатократно переписує інформацію на магнітні носії, хтось використовує оптичні, але проблему довготривалого зберігання інформації у світі досі не розв'язано. Маються на увазі носії, які б дозволяли зберігати мільйони гігабайтів інформації багато століть і тисячоліть і яким жодні пожежі, буквально, були б не страшні.

Новітня технологія довготривалого зберігання інформації на сапфірових оптичних дисках, розроблена вченими Інституту проблем реєстрації інформації Національної академії наук України у співпраці з Інститутом монокристалів НАНУ, саме й відповідає таким вимогам.

– Багатолітня праця нашого інституту над створенням оптичних носіїв засвідчила, що вирішення цієї проблеми лежить у сфері створення оптичних дисків для довготривалого зберігання, – розповідає директор Інституту проблем реєстрації інформації академік НАНУ В'ячеслав Петров.

– Решта методів передбачають запис інформації на відкриту поверхню, і тільки оптичні диски забезпечують можливість механічного захисту цієї поверхні. Однак підкладкою лівової частки всіх носіїв інформації слугує полікарбонат. Цей матеріал – пластмаса – має температуру плавлення, що трохи перевищує 200 °С, і термін зберігання (оскільки використаються не дуже якісні реєструючі середовища) – від 1 до 15 років. Тому у широкому вжитку сьогодні носії інформації, котрі не можуть похвалитися тривалим терміном зберігання даних.

Для перших оптичних дисків у ролі підкладки ми використали скло. Це багатокомпонентний силікатний матеріал із температурою плавлення близько 600–700 °С, досить хімічно активний. Тому на його поверхні реєструючий матеріал не може довго зберігати інформацію високої щільності. Пошук інших матеріалів, які можна було б використати як прозору підкладку оптичного диска, привів нас разом із академіком В.Семиноженком до ідеї використати з цією метою сапфір. Він добре вивчений, в Інституті монокристалів НАН України відпрацьовано технологію його масштабного виробництва, до того ж сапфір має унікальні фізико-хімічні властивості: високу температуру плавлення (понад 2000 °С), твердість, що поступається лише твердості алмазу, зносостійкість. Він ідеально підходить для оптичних вікон, що використовуються

в екстремальних умовах у військовій, науковій і цивільній сферах, де матеріал працює тривалий час, не змінюючи своїх властивостей. Завдяки таким якостям інформація на його поверхні має зберігатися набагато довше, ніж на будь-яких інших носіях.

Багато років втілити в життя цей задум нам не вдавалося, як, утім, і нікому в світі. І ось тепер ми близькі до вирішення цієї проблеми технологічно й повністю вирішили її фізично.

– У чому суть винаходу? Десять уже можна побачити такі диски?

– Ми змогли створити оптику, яка компенсує поляризаційні викривлення сапфіра і дає можливість через сапфірову підкладку записувати та зчитувати інформацію з максимально високою допустимою для оптики щільністю. Ця ідея добра тим, що для її реалізації не потрібно створювати нових технологій. Тому після того, як ми розібралися з оптикою й фізикою процесу, – змогли у стислі терміни випустити перший оптичний диск на сапфірі. Його діаметр 80 мм (у форматі CD і DVD). Виробництво таких дисків може початися уже в цьому році за фінансової підтримки зацікавлених організацій.

– Коли такі диски можуть стати доступними для державних організацій, приватних фірм та індивідуальних користувачів?

– Усі технологічні процеси на сьогодні відпрацьовано. Дослідження проводилися спільно з іншими академічними інститутами. Наприклад, для того щоб металізувати поверхню записаної інформації, необхідно нанести високотемпературні металеві плівки. Ці роботи проведено в Інституті проблем матеріалознавства. Технологію орієнтації і обробки сапфірових дисків відпрацьовано в Інституті монокристалів та в організаціях, що входять до НТК «Інститут монокристалів». Диски вже у процесі виготовлення, і незабаром можна буде налагодити їх виробництво в широких масштабах. Запис інформації реалізований на нашому технологічному комплексі, розробленому для створення матриць при розгортанні виробництва компакт-дисків в Україні. Після незначної модернізації його обладнання ми зможемо у стислі терміни налагодити виробництво сапфірових дисків, які зчитуватимуться на стандартних накопичувачах інформації з невеликим корегуванням оптичної схеми (його зможе зробити будь-який технічний персонал, що працює з обчислювальною технікою, або будь-який користувач).

Планується запис і зберігання інформації на дисках діаметром не тільки 80 мм, а й 120 мм (стандарт CD). Також можемо виготовляти оптичні диски діаметром до 200–300 мм.

– Цікаво, скільки може зберігатися інформація на сапфірових дисках?

– Вічно. А якщо в конкретному вимірі – десятки тисяч років.

– Проблема довготермінового зберігання великих обсягів інформації у світі досить актуальна, і в деяких країнах теж ведуться розробки в цьому напрямі.

– Як свідчить історичний досвід, найбільш довготривалим є метод запису інформації у вигляді геометричного рельєфу на носії. Це використано у клинописі, на глиняних табличках шумерів, стелах і храмах єгипетських фараонів. Для довготривалого зберігання інформації на сапфірових дисках ми маємо створити інформаційний рельєф безпосередньо на їхній поверхні.

Наша технологія абсолютно оригінальна і не має аналогів у світі. Цей спосіб довготривалого зберігання інформації на сапфірових оптичних дисках зараз патентується за кордоном.

На думку вчених, у цієї технології – фантастичні перспективи. Інформаційні ресурси, напрацьовані людством, – як Всесвіт із міріадами зірок та загадковою «темною матерією», котру ще треба вивчати й вивчати. Колосальні масиви надзвичайно цінної

інформації накопичилися впродовж останніх півтора десятка років у біології. Наприклад, інформацію про геном людини та інших біологічних видів не запишеш на паперовий носій. На часі завдання розшифрувати, записати й зберегти генетичну інформацію про велику кількість біологічних об'єктів (а це мільйони гігабайтів) для надійної схоронності на багато століть. Це необхідно, щоб у разі якоїсь глобальної екологічної катастрофи зберегти інформацію про біорозмаїття нашої планети.

Не тільки наукові знання потребують надійного довготривалого зберігання. Дуже важливі для національної безпеки технічна й технологічна документація, інформація про радіоактивні відходи, екологічно небезпечні об'єкти тощо. Ще один пласт для дбайливого зберігання – культурна спадщина. До речі, збереження та відтворення скарбів народної творчості, пам'яток писемної й художньої культури України – не менш цікавий напрям діяльності Інституту проблем реєстрації інформації. Кілька днів тому в стінах НАНУ, де проходило засідання президії Академії наук, звучала фонограма виступу Віктора Михайловича Глушкова на засіданні президії АН УРСР, записана на першому в світі сапфіровому оптичному дискові, розробленому і виготовленому Інститутом проблем реєстрації інформації та НТК «Інститут монокристалів». У цьому виступі геніальний кібернетик передбачав воістину фантастичні перспективи розвитку оптичного запису інформації для комп'ютерної техніки та інформаційних технологій. Його учні та послідовники виявилися достойними свого Вчителя.

ПЕРЕЛІК ВИБРАНИХ РОБІТ

Розділ 1. ПРОГРАМОВАНІ МАТРИЦІ НА РЕЗИСТИВНИХ ЕЛЕМЕНТАХ

- 1.1. Шпильберг А.Я., Петров В. В., Август В.И. Устройство постоянной памяти на сопротивлениях. Авторское свидетельство СССР № 161576. 19.11.1964. Бюл. №17.
- 1.2. Петров В. В. Построение постоянного ассоциативного запоминающего устройства. Механизация и автоматизация управления. Вычислительная Техника. № 6. 1966. С. 25-26.
- 1.3. Петров В. В. О возможности пассивного запоминающего устройства на матрице сопротивлений. *Управляющие машины и системы*. 1966. № 1. С. 48-83.
- 1.4. Петров В. В. Про застосування пасивних електричних кіл для створення запам'ятовуючих пристроїв. *Доповіді АН УРСР*. 1966. № 11. С. 1407-1409.
- 1.5. Петров В. В. Векторное описание параллельного поиска в ассоциативном запоминающем устройстве. *Кибернетика*. 1967. № 3. С. 31-35.
- 1.6. Петров В. В. Ассоциативное запоминающее устройство. Авторское свидетельство СССР № 220316. 28.06.1968. Бюл. № 20.
- 1.7. Петров В. В. Ассоциативное запоминающее устройство. Авторское свидетельство СССР № 220317. 28.06.1968. Бюл. № 20.
- 1.8. Костышин М. Т., Михайловская Е. В., Петров В. В., Романенко П.Ф. Запоминающее устройство. Авторское свидетельство СССР № 258387. 03.12.1969. Бюл. № 1.

Розділ 2. НЕОРГАНІЧНА ЛІТОГРАФІЯ. РЕССТРУВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ОПТИЧНОГО ЗАПИСУ ІНФОРМАЦІЇ

- 2.1. Костышин М. Т., Красноженов Е. П., Михайловская Е. В., Петров В. В., Романенко П. Ф. Способ изготовления многослойной тонкопленочной структуры. Авторское свидетельство СССР № 253197. 13.05.1969.
- 2.2. Петров В. В., Карпиков И. И. О применении неорганических фоточувствительных материалов для изготовления фотошаблонов. Гибридная вычислительная техника и электроника. Киев : Наукова думка, 1972. С. 471-490.
- 2.3. Петров В. В., Карпиков И. И., Лысенко С. С., Кравченко А. Д. Использование неорганических светочувствительных материалов для изготовления фотошаблонов. Гибридная вычислительная техника и электроника. Киев : Наукова думка, 1972. С. 491-503.
- 2.4. Войтович И.Д., Костышин М.Т., Михайловская Е. В., Петров В. В., Романенко П. Ф. Способ изготовления криотронных схем. Авторское свидетельство СССР № 305832. 26.10. 1973. Бюл. № 43.
- 2.5. I. D. Voitovich, M. T. Kostyshin, E. V. Mikhailovskaya, V. V. Petrov, P. F. Romanenko, V. P. Skuridin. Method for the production of films having the desired configuration. United States Patent 4042450 Int. Cl. C23F1/02 Dec. 7, 1973. (Войтович И. Д., Костышин М. Т., Михайловская Е. В., Петров В. В., Романенко П. Ф., Скуридин В. П. Процесс изготовления пленок заданной конфигурации. Авторское свидетельство СССР № 433909. 28.02.74. Патент Франции 2.135.736. 26.04.1971).
- 2.6. Петров В. В., Крючин А. А. О светочувствительности систем на основе стеклообразных халькогенидных полупроводников при высокой мощности облучения. *Квантовая электроника*. 1974. № 12. С. 2618-2620.
- 2.7. Петров В. В., Кудюмова В. И. Исследование защитных и химических свойств фоторезистов. Однородные вычислительные системы и среды : матер. IV Всесоюз. конф. Киев : Наукова думка, 1975. Ч.3. С. 115-116.
- 2.8. Петров В. В., Крючин А. А. Активированная светом реактивная диффузия металла в пленку сульфида мышьяка. *Доклады Академии наук СССР*. 1976. Т. 230, № 2. С.326-328.
- 2.9. Петров В. В., Крючин А. А., Дорошенко Т. П. Светочувствительный материал. Авторское свидетельство СССР № 725358. 02.06.1978.

- 2.10. Petrov V.V., Kryuchyn A.A. Process for producing material sensitive to electromagnetic and corpuscular radiation (abstract). Пат. США 4,234,625 Nov. 18, 1980. (Нац. заявка № 2465259/18-25. Способ изготовления радиационно-чувствительного материала со слоистой структурой для регистрации и хранения информации. 16.03.1977).
- 2.11. Петров В. В., Крючин А. А., Юдин Г. Ю. Носитель информации для оптического запоминающего устройства. Авторское свидетельство СССР № 886050. 30.11.1981. Бюл. № 44.
- 2.12. Petrov V.V., Kryuchyn A.A. Radiation-sensitive material and method for recording information on radiation-sensitive material (abstract). Пат. США 4,314,256 Feb. 2, 1982. (Национальная заявка №2317526/23-04. Светочувствительный материал. 30.01.1976. Авторское свидетельство 764501).
- 2.13. Петров В. В., Крючин А. А. Способ растворения халькогенидных стекол. Авторское свидетельство СССР № 914526. 23.03.82. Бюл. № 11.
- 2.14. Петров В. В., Крючин А. А., Богданова А. В., Юдин Г.Ю., Сергиенко Т. И. Носители информации оптических запоминающих устройств на основе теллурических стекол. Физическая электроника. Вып 28. Львов : Вища школа, 1984. С.83-88.
- 2.15. Петров В. В., Крючин А. А., Сергиенко Т. И., Юдин Г. Ю., Борисова З. У., Михайлов М. Д., Лапин Ю. К., Богданова А. В. Носитель информации оптического запоминающего устройства. Авторское свидетельство СССР № 91340425. 30.12.85.
- 2.16. Петров В. В., Лосев А. В., Богданова А. В., Крючин А. А., Дашкевич М. И., Пиццога В. Г. Диэлектрические свойства CsPbBr₃ и ЯКР атомов брома. *Физика твердого тела*. 1989. Т. 31, № 6. С. 309-311.
- 2.17. Petrov V. V., Grinko D. A., Antonov A. A., Kryuchyn A. A. Method of photothermal information recording reading and erasing. United States Patent 4,908,814. Mar. 13, 1990.
- 2.18. Petrov V. V., Kryuchin A. A., Kostenko I. O., Gritsenko K. P. Metal-polymeric recording media intended for optical data recording, Proc. SPIE 1993. V. 2108, International Conference on Holography, Correlation Optics, and Recording Materials. P.76-78.
- 2.19. Petrov V. V., Zimenko V. I., Kravets V. G., Sushko A. M., Dargeyko A. M. New registration medium with optical luminescence stimulation, Proc. SPIE 1993. V. 2108, International Conference on Holography, Correlation Optics, and Recording Materials. P.79-82.
- 2.20. Petrov V. V., Kryuchyn A. A., Judin G. Y., Sergienko T. I., Klimenko V. A., Ilyenko I. O. Numerical simulation of crystallization process in recording media with phase-structure writing mechanism, 1994 Proc. SPIE V. 2144, Advanced Photonics Materials for Information Technology. P. 89-97.
- 2.21. Zimenko V. I., Petrov V. V., Kravets V. G., Motuz V. V., Prygun A. V., Yanchuk N. E. Oxides doped with rare-earth ions as a recording medium with multiple rewriting. 1997 Proc. SPIE V.3055, International Conference on Optical Storage, Imaging, and Transmission of Information. P. 31-37.
- 2.22. Петров В. В., Зименко В.И., Кравец В. Г., Даргейко А. М., Родионов В. Е. Возможность использования окислов, активированных редкоземельными ионами, в качестве активных слоев электролюминесцентных экранов. *Журнал технической физики*. 1993, Т. 64, № 10. С.112-118.
- 2.23. Tarmai A. A., Bogdanova O. V., Kyrylenko V. K., Durkot M. O., Petrov V. V., Kryuchyn A. A. The evaporation method of recording media onto cylindrical information carriers. 1997. Proc. SPIE. V. 3055. P. 207-211.
- 2.24. Костюкевич С. А., Шепелявый П. Е., Москаленко Н. Л., Венгер Е. Ф., Свечников С. В., Петров В. В., Крючин А. А., Шанойло С. М. Исследование процесса мастеринга компакт-дисков на неорганических фоторезистах. *Регистрация, зберігання і обробка даних*. 2001. Т. 3, № 4. С. 5-12.
- 2.25. Петров В.В., Крючин А. А., Шанойло С. М., Гринько Д. О. Спосіб виготовлення диска-оригіналу для тиражування компакт-дисків. Пат. України № 53637. 17.02.2003. Бюл. № 2.
- 2.26. Атамась В. А., Крючин А. А., Петров В. В. Особенности изготовления дисков-оригиналов для систем лазерной записи информации. *Регистрация, зберігання і обробка даних*. 2004. Т. 6, № 3. С.19-24.

- 2.27. Kryuchyn A. A., Petrov V. V., Kostyukevych S. O. High density optical recording in thin chalcogenide films. *Journal of optoelectronics and advanced materials*. November – December. 2011. Vol. 13, No. 11-12. P. 1487 – 1492.
- 2.28. Петров В. В., Литвин П. М., Трунов М. Л., Крючин А. А., Беляк С. В., Рубіш В. М., Косцюкевич С. О., Коптюк А. А. Методи формування нанорозмірних структур на плівках халькогенідних склоподібних напівпровідників. *Ресстрація, зберігання і обробка даних*. 2016. Т. 18, № 1. С. 3-13.
- 2.29. Петров В.В, А. А. Крючин А. А, Березін Б. О., Беляк С. В., Шиховець О.В. Прогнозування строків зберігання даних на оптичних дисках. *Ресстрація, зберігання і обробка даних*. 2016 Т. 18, № 2. С. 40-52.

Розділ 3. РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИЧНИХ ДИСКІВ І ЦИЛІНДРІВ ДЛЯ ЕОМ

- 3.1. Петров В. В., Токар О. П. Про щільність запису інформації в оптичних запам'ятовуючих пристроях. *Доповіді академії наук Української РСР*. Серія А. Фізико-технічні та математичні науки. 1973. № 9. С.835-839.
- 3.2. Петров В. В., Крючин А. А., Токар А. П. Оптические запоминающие устройства большой емкости. *Вычислительная техника и энергетика* : сб. Киев : Наук. думка, 1974. С. 111-119.
- 3.3. Горшков Н. В., Петров В. В. Оптический диск как единый носитель информации в системах управления : тез. доклада на Всемирном электротехническом конгрессе, Москва 21-25 июня 1977 г.
- 3.4. Петров В. В., Крючин А. А., Крючина Л. И., Леонец В. А., Токар А. П. Оптическое запоминающее устройство. Авторское свидетельство СССР № 469140. 30.04.1975.
- 3.5. Леонец В. А, Петров В.В. Устройство для измерения поворота объектов. Авторское свидетельство СССР № 559108. 25.05.77. Бюл. № 19.
- 3.6. Петров В. В. Перспективы развития в АН УССР исследований в области создания оптических запоминающих устройств большой емкости. Доклад на заседании Президиума АН УССР 11.11.1976.
- 3.7. Леонец В. А. Петров В. В., Токар А П. Оптическое запоминающее устройство. Авторское свидетельство СССР № 572848. 15.09.77. Бюл. № 34.
- 3.8. Петров В. В., Типикин А. О. Повышение эффективности защиты от ошибок при считывании информации с дисковых оптических запоминающих устройств. *Электронное моделирование*. 1987. Т. 9, № 5. С. 12-16.
- 3.9. Petrov V.V., Antonov A. A., Tokar A. P., Kryuchyn A. A., Skuridin V. P., Gorshkov N. V., Kovtun V. D., Gapchenko L. M., Vozovik A.V. Optical Storage Device. United States Patent 4,811,327. Mar. 7, 1989.
- 3.10. Petrov V.V., Gorshkov N. V., Antonov A. A., Kryuchyn A. A., Tokar A. P., Grinko D. A., Sergienko T. I., Judin G. J., Antonov E. E., Popovich V. I. Optical information carrier, method for erasing information therein, and optical storage device realizing this method. United States Patent 4,864,555 Sep. 5, 1989.
- 3.11. Петров В. В. Оптичний запис та його внесок у розвиток обчислювальної техніки та інформатики. *Вісник АН УРСР*. 1989. № 3. С. 65-67.
- 3.12. Petrov V.V., Shanoilo S.M. Optical Immersion Recording of Computer Data Experimentelle. *Technik der Physik*. Kiev. 38. 1990. 5/6. P. 487-490.
- 3.13. Петров В. В. Электромеханические узлы ОМЗУ : в кн. Петров В. В., Крючин А. А., Токар А. П., Шанойло С. М., Сандул В. Я. Опτικο-механические запоминающие устройства. Гл. 5. Киев : Наукова думка, 1992.
- 3.14. Kolesnikov M. Y., Petrov V. V., Pitsyuga V. V., Kosyak I. V., Displacement interferometer of cylindrical information carrier, Proc. SPIE 2648, International Conference on Optical Diagnostics of Materials and Devices for Opto-, Micro-, and Quantum Electronics, (3 November 1995).
- 3.15. Петров В. В., Крючин А. А., Шанойло С. М., Косско І. О., Кравець В. Г. Способи вирішення проблеми довгострокового зберігання інформації, записаної в цифровому вигляді. *Доповіді Національної академії наук України*. 2003. № 4. С. 52-58.

- 3.16. Петров В. В., Крючин А. А., Шанойло С.М., Крючина Л. І. Шляхи створення носіїв для довготривалого зберігання інформації в цифровій формі. *Студії з архівної справи та документознавства*. 2004. Т.12. С.78-80
- 3.17. Петров В. В., Крючин А. А., Боднар С. В., Панкратова А. В., Дорошенко Т. П., Заболотий В. О. Вплив фізико-хімічних параметрів процесу гальванічного осадження нікелю на характеристики штампів для тиражування компакт-дисків. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2004. Т. 6, № 2. С. 3-10.
- 3.18. Петров В. В. Оптическая запись информации. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2007. Т. 9, № 3. С. 3-13.
- 3.19. Петров В. В., Крючин А. А., Шанойло С. М., Токар О. П., Крючина Л. І. Дослідження методів оптичного запису та створення систем пам'яті на оптичних носіях. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2007. Т. 9, № 3. С. 23-42.
- 3.20. Gorbov I. V., Petrov V. V., Kryuchyn A. A. Using ion beams for creation of nanostructures on the surface of high-stable materials. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, 2007. V. 10, № 1. P. 27-29.
- 3.21. Petrov V. V., Kryuchyn A. A., Gorbov I. V., Kossko I. O., Kostyukevych S. O. Analysis of properties of optical carriers after long-term storage. *Semiconductor physics, quantum electronics and optoelectronics*. 2009. V. 12, № 4. P. 399-402.
- 3.22. Петров В. В., Крючин А. А., Брицкий А. И., Лапчук А. С., Шанойло С. М. Пути совершенствования характеристик запоминающих устройств большой емкости. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2010. Т.12, № 2. С. 12–24.
- 3.23. Петров В. В. Новітня технологія довготривалого зберігання інформації на сапфірових оптичних дисках. Стенограма спільної доповіді академіків НАН України В.В. Петрова і В. П. Семиноженка на засіданні Президії НАН України 12 лютого 2014 рок. *Вісн. НАН України*. 2014. № 4. С.612-9.
- 3.24. Petrov V. V., Kryuchyn A. A., Shanoilo S. M., Lapchuk A. S., Morozov Y. M. Sapphire optical discs for long term data storage. *Proc. SPIE 9201, Optical Data Storage 2014*. 2014. Article ID 9201-OC. 9 p.
- 3.25. Петров В. В., Крючин А. А. Перспективи використання оптичних носіїв для зберігання цифрових електронних ресурсів. *Бібліотечна планета*. 2015. № 1(67). С.18-20.

Розділ 4. ВИСОКОШВИДКІСНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ЦИФРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТЕЛЕВІЗІЙНИМИ КАНАЛАМИ. ЕЛЕКТРОННА КОМП'ЮТЕРНА ГАЗЕТА «ВСЕ-ВСЕМ»

- 4.1. Петров В. В., Сандул В. Я. Телевизионно-компьютерная пресса «ВСЕ-ВСЕМ». Вестник Всесоюзн. общества информатики и вычислительной техники. Москва, 1990. № 2. С. 8-18.
- 4.2. Петров В. В., Сандул В. Я., Додонов А. Г. Система распространения компьютерной информации «ВСЕ-ВСЕМ». *Электронное моделирование*. 1991. № 1. С. 14-17.
- 4.3. Петров В. В. Новый подход к реализации массовой информатизации общества : в кн. Петров В. В., Крючин А. А., Токар А. П., Шанойло С. М., Сандул В. Я. Оптико-механические запоминающие устройства. Гл. 6. Киев : Наукова думка, 1992.
- 4.4. Петров В. В., Додонов О. Г., Сандул В. Я., Нестеренко О. В. Спосіб передачі та прийому даних по каналу телевізійного мовлення. Патент України № 4. 30.04.1993.
- 4.5. Петров В. В., Крючин А. А., Шанойло С. М., Крючина Л. И., Петров В. В. Использование современных технологий для обеспечения научно-технической информацией научных работников и специалистов Украины. Библиотеки национальных академий наук: проблемы функционирования, тенденции развития. 2003. Вып. 2. С. 83-90.
- 4.6. Петров В. В. Доклад, представленный на Общее собрание НАН Украины 13 мая 2010 года. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2010. Т. 12, № 2. С.8-11.
- 4.7. Петров В. В., Кожешкурт В. И., Буточнов А. Н., Науменко Е. М., Осташевский В. Б. Основные направления создания автоматизированных систем мониторинга воздушного, наземного и надводного пространства в реальном времени. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2010. Т. 12, № 2. С.151-164.

- 4.8. Петров В. В., Крючин А. А., Костенко Л. И., Минина Н. Н., Зайченко Н. Я. Формирование баз данных реферативной информации – путь к оперативному обмену результатами научных исследований. Библиотеки национальных академий наук : проблемы функционирования, тенденции развития. 2010. Вып. 10. С.105-111.
- 4.9. Петров В. В., Онищенко О. С., Крючин А. А., Лобузина К. В., Минина Н. М., Зайченко Н. Я. 20 років Українського реферативного журналу «Джерело»: здобутки створення національної системи реферування. *Вісник НАН України*. 2015. №10. С.71-74.

Розділ 5. МЕТОДИ І ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОЦИФРОВАВАННЯ РАРИТЕТНИХ ВОСКОВИХ ВАЛИКІВ. КОЛЕКЦІЯ ЮНЕСКО «ПАМ'ЯТЬ СВІТУ»

- 5.1. Petrov V.V., Kryuchin A. A., Shanoylo S. M., Rjabokon I. P., Kosyak I. V. et al. Optomechanical method of sound from Edison cylinders. Proc. SPIE Vol.3055 (Int. Conf. "Optical Storage and Transmission of Information". 14-16 May 1996, Kiev, Ukraine). P. 218-224.
- 5.2. V.V. Petrov, O.S. Onishenko, A.A. Kryuchin, S.M. Shanoylo, I.P. Riabokon. Optomechanical Method of Edison Cylinders Sound Reproduction // An Audio Engineering Society Preprint 4491 (M 4). Presented at 102–nd Convention.1997, March 22–25, Munich, Germany.
- 5.3. V.V.Petrov, O.S.Onyschenko, S.M.Shanoylo, A.A.Kryuchin, M.Y.Kolesnikov, L.V.Sholohova. Materials of ethnographic expeditions in ukraine multimedia publication. Conference Proceedings EVA Europe '99 Berlin. Electronic Imaging & the Visual Arts The 6th EVA Berlin is the main European event in 1999 of the worldwide EVA series.
- 5.4. Петров В. В., Онищенко О. С., Крючин А. А., Шанойло С. М., Косяк І. В. Збереження та введення до наукового обігу звукової культурної спадщини : матер. Міжнар. наук. конф. «Національна архівна спадщина: проблеми збереження», 1-4 листопада 1999, Київ. – *Студії з архівної справи та документознавства*. 2000. Т.6. С. 25-27.
- 5.5. S. M. Shanoylo, I. V. Kosyak, V. V. Petrov, A. A. Kryuchin. Reading and processing of audio information reproduced from Edison phonograph cylinders by method of laser interferometry. Proc. SPIE Vol. 4402, Laser Techniques and Systems in Art Conservation, Renzo Salimbeni; Ed. 10/2001. P. 194–201.
- 5.6. Петров В. В., Крючин А. А., Шанойло С. М., Косяк І. В., Егупова Л. И. Сохранение и введение в научный оборот раритетных музыкальных коллекций : матер. конф. «Культурное наследие для всех: новые технологии в музеях, галереях, библиотеках, архивах (EVA2001 Москва). Москва : Центр ПИК Минкультуры РФ и Гос. Третьяков. галерея, 2001. С.971–973.
- 5.7. Петров В. В., Крючин А. А., Шанойло С. М., Косяк І. В. О проблеме сохранения звукового культурного наследия : матер. конф. «Информация для всех: культура и технологии информационного общества» (EVA 2002 Москва). Москва : Центр ПИК Минкульт. России, 2002. С. 671-676.
- 5.8. Petrov V. V., Kryuchin A. A., Shanoylo S. M., Kosyak I. V. Technology for long-term storage of audio information. Konferenzband “EVA 2004 Berlin” Elektronische Bildverarbeitung & Kunst, Kultur, Historie, 10-12 November 2004, Die11 Berliner Veranstaltung der Internationalen EVA-Serie “Electronic Imaging & the Visual Arts”, PP.127-129.
- 5.9. І. В. Косяк, А. А. Крючин, В. В. Петров, С. М. Шанойло. Про досвід збереження звукової культурної спадщини : матер. 10-ї Всеукраїнської наукової конференції «Актуальні питання історії науки і техніки» (м. Київ, 6-8 жовтня 2011 р.). Центр пам'яткознавства НАН України і УТОПК. Київ, 2011. С.49–52.

Розділ 6. МІКРОПРИЗМОВІ ОПТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ. КАТАФОТИ. ДИФУЗОРИ

- 6.1. Петров В. В., Крючин А. А., Шанойло С. М., Антонов Є. Є., Гранат О. І., Зенін В. М. Світлоповертання: проблеми та досягнення. *Ресстрація, зберігання і обробка даних*. 2008. Т.10, № 1. С. 3-15.

- 6.2. Петров В. В., Антонов Є. Є., Крючин А. А., Шанойло С. М. Світлоповертальний елемент для дорожніх катафотів. Патент України № 86995. 10.06.2009. Бюл. № 11.
- 6.3. Петров В. В., Антонов Є. Є., Шанойло С. М. Хроматизм світла, дифракція та гострота зору в мікропризмових лінзах Френеля. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2010. Т.12, № 1. С. 49-54.
- 6.4. Петров В. В., Антонов Є. Є., Шанойло С. М., Лапчук А. С. Шляхи поліпшення оптичних характеристик мікропризмових структур. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2010. Т.12, № 2. С. 25-33.
- 6.5. Петров В. В., Антонов Є. Є., Крючин А. А., Шанойло С. М. Розробка та впровадження високоефективних кругових світлоповертальних елементів для автомагістралей та транспортних мереж м. Києва. *Наука і інновації*. 2018. Т.14, № 5. С.63-67.
- 6.6. Петров В. В., Бріцький О. І., Шанойло С. М., Антонов Є. Є., Крючин А. А., Косяк І. В., Заворотний А. А., Білобров М. М., Лисянський М. М., Бараненкова В. П. Спосіб виготовлення оптичного дифузора. Патент України № 119707. 25.07.2019. Бюл. № 14.
- 6.7. Fu M.L., Antonov E., Manko D., Petrov V., Le C.W., Bo C.F., Zhang W., Wang S.N. Achromatic Refractive-Diffractive Double-Relief Microprisms. *Optics and Laser in Engineering*, 2020. V.126, # 105903.

Розділ 7. МІКРОПРИЗМОВА ДІАГНОСТИКА ТА ЛІКУВАННЯ КОСООКОСТІ ДІТЕЙ

- 7.1. Петров В. В., Сергієнко М. М., Рыков С. О., Шанойло С. М., Шевколенко М. В., Крючин А. А., Антонов Є. Є. Пристрій для діагностики косооконості. Патент України № 25549, 10.08.2007. Бюл. № 12.
- 7.2. Петров В. В., Сергієнко Н. М., Рыков С. А., Антонов Є. Є., Шанойло С. М., Шевколенко М. В. Технология изготовления и методика применения в офтальмологии микропризмных элементов Френеля. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2008. Т.10, № 3. С.5-17.
- 7.3. Петров В. В., Крючин А. А., Рыков С. А., Сергієнко Н. М., Антонов Є. Є., Меллина В. Б., Шанойло С. М., Шевколенко М. В. Мікропризмova лінза комбінованої дії. Патент України № 46750. 11.01.2010. Бюл. № 1.
- 7.4. Petrov V., Kryuchyn A., Antonov E., Lapchuk A., Shanoilo S. Optical Phenomena in Microprism Diagnostic Set KK-42. Proc. of SPIE, 2011. V.8011, 80119A. 22 General Congress on Optics "ICO-22", 15-19 August, 2011, Puebla, Mexico.
- 7.5. Петров В. В., Крючин А. А., Рыков С. А., Сергієнко Н. М., Антонов Є. Є., Шанойло С. М., Шевколенко М. В. Діагностична лінійка мікропризмових компенсаторів косооконості Патент України № 66105, 26.12.2011. Бюл. № 24.
- 7.6. Петров В. В., Антонов Є. Є., Крючин А. А., Токалін О. О., Шанойло С. М. Оптичні властивості здвоєних мікропризмових елементів. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2012. Т.14, № 4. С.7-17.
- 7.7. Петров В. В., Крючин А. А., Рыков С. А., Сергієнко Н. М., Антонов Є. Є., Коробов К. В., Шанойло С. М., Шевколенко М. В. Діагностична лінійка симетричних мікропризмових компенсаторів косооконості. Патент України № 76872. 25.01.2013. Бюл. № 2.
- 7.8. Петров В., Крючин А., Шанойло С., Бутенко Л. 3D тренажеры и проблема бинокулярного зрения. 8th Int. Conf. WCIS-2014. Tashkent, Uzbekistan. 25-27 Nov. 2014.
- 7.9. Петров В. В., Антонов Є. Є., Крючин А. А., Шанойло С. М. Оптические характеристики традиционных эластичных и новых жестких микропризм Френеля. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2015. Т.17, № 1. С. 3–15.
- 7.10. Petrov V.V., Fu Ming-lei, Antonov E. E., Hu Wei-jie, Le Zi-chun, Manko D.Y., Kryuchyn A.A., Design and Fabrication of Rigid Fresnel Prisms for Complex Treatment of Children Strabismus. *Acta Photonica Sinica*. 2017. V.46, N.11. P.18-25.
- 7.11. Petrov V.V., Antonov E. E., Fu Ming-lei, Hu Wei-jie, Le Zi-chun, Manko D.Y., Kryuchyn A.A., Shanoilo S.M. Investigation of optical characteristics of rigid protected and traditional elastic Fresnel microprisms using electronic method for measuring visual acuity / *Optics and Laser Technologies*. 2018. V.107. pp.15-23.

- 7.12. Петров В. В., Алесва Н. М., Антонов Є. Є., Бутенко Л. В., Крючин А. А., Риков С.А., Сенякіна А. С., Шанойло С.М., Шевколенко М.В. Спосіб виготовлення скелець Баголіні. Патент України № 133832. 25.04.2019. Бюл. № 8.

Розділ 8. ПУБЛІКАЦІЇ В ПРЕСІ

- 8.1. Память в наружном кармане. Приоритет, 1991. № 1. С. 18-19.
- 8.2. Від комп'ютерної газети «ВСЕ-ВСІМ» до єдиної інформаційної системи в Україні. Національний ілюстрований часопис «Україна», 1992. № 11.
- 8.3. В банк... по інформацію : інтерв'ю з В. В. Петровим. Національний ілюстрований часопис «Україна». 1992, № 35. С. 14-15.
- 8.4. Геннадий Неверов. Вячеслав Петров начал в Украине третью компьютерную революцию. Бизнес, № 29 (135). 1 сентября 1995 г.
- 8.5. Геннадий Неверов. Информация ценнее денег. Computer World / Киев. № 32(53). 16 августа 1995 г.
- 8.6. Дмитрий Олтаржевский. Расшифрованы валики Эдисона. Зеркало недели. № 13. 30 апреля 1996 г.
- 8.7. Аркадий Владимиров. Из валиков Эдисона на компакт-диски. Зеркало недели. № 14. 10 апреля 1999 г.
- 8.8. Две академии договорились о подарках. Всеукраинские Ведомости. 4 июня 1997 г.
- 8.9. Израиль услышит. Новое русское слово (США). 17 октября 1997 г.
- 8.10. А. Рожен. Скажи индекс цитирования твоих статей, и я скажу тебе, какой ты ученый... Зеркало недели. № 41. 12 ноября 1999 г.
- 8.11. Виктория Басманова. Глоток научной информации длиной в месяц. Computer World / Киев. № 41 (253). 10 ноября 1999 г.
- 8.12. Татьяна Сатаева. «Тот, кто владеет информацией, владеет миром». Метро. № 42(104), 26 ноября – 2 декабря 1999 г.
- 8.13. Вадим Пепа. Интеллект нації. Урядовий кур'єр. № 110. 17 червня 2000 р.
- 8.14. Вадим Пепа. Мозок міста. Столиця. № 91(296). 2000 р.
- 8.15. Роберт Василь. Первые в мире компакт диски были созданы в Украине. Факты. 31 января 2001 г.
- 8.16. Олександр Рожен. А розпочалося з єврейських пісень. Дзеркало тижня. Березень 2004 р.
- 8.17. Мы применяем метод лечения косоглазия, благодаря которому 30 процентов детей теперь можно вылечить без операции. Факты. 1 марта 2012 г.
- 8.18. С. А. Рыков. Широкое применение призмных очков позволит решить проблему косоглазия. Зеркало недели. № 12. Апрель 2014 г.
- 8.19. Л. Суржик. Новітня технологія довготривалого зберігання інформації, розроблена вченими НАН України, не має аналогів. Дзеркало тижня. 14 лютого 2014 р.

Наукове видання

Національна академія наук України
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ РЕЄСТРАЦІЇ ІНФОРМАЦІЇ

Вячеслав Васильович Петров

ВИБРАНЕ

Інститут проблем реєстрації інформації НАН України
252113 Київ, вул. М. Шпака, 2
Тел.: (044) 454 21 51

Підп. до друку 22.06.2020.
Формат 70×100/16. Папір офс. Гарнітура Таймс.
Офс. друк. Ум. друк. арк. 50,05. Обл. вид. арк. 43,1.
Наклад 150 прим. Зам. №

Видруковано в ТОВ «Про формат»
Реєстраційне свідоцтво ДК № 5942 від 11 січня 2018 р.
02166, м. Київ, вул. Маршала Жукова, 45-Б, кв. 16