

УДК 004.085

**В. В. Петров, А. А. Крючин, С. М. Шанойло,
О. П. Токар, Л. І. Крючина**

Інститут проблем реєстрації інформації НАН України
вул. М. Шпака, 2, 03113 Київ, Україна
тел. 456-8389, факс 241-7233, e-mail: petrov@ipri.kiev.ua

Дослідження методів оптичного запису та створення систем пам'яті на оптичних носіях

Наведено дані про дослідження систем оптичної реєстрації інформації, виконані протягом 1969-2007 років колективом дослідників, які з 1987 року працюють в Інституті проблем реєстрації інформації (ІПРІ) НАН України.

Ключові слова: оптичний запис, оптичний диск, оптико-механічний запам'ятовуючий пристрій, імерсійний запис, оптична карта.

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: проєкційним 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 акаде-

© В. В. Петров, А. А. Крючин, С. М. Шанойло, О. П. Токар, Л. І. Крючина

міками АН України В.М. Глушковим 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. Леонець, 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.).

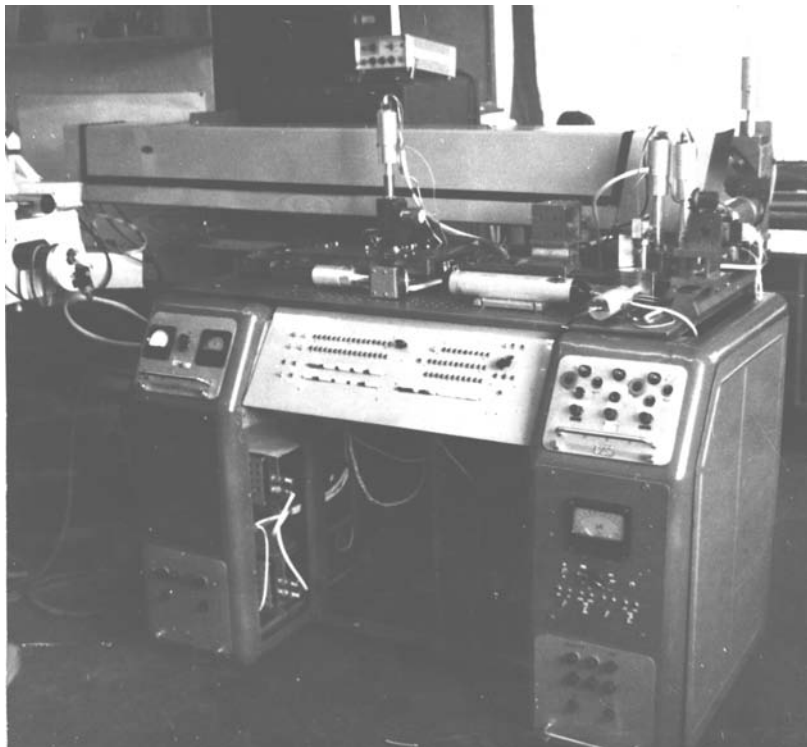


Рис. 1. Дисковий оптичний запам'ятовуючий пристрій

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 світлочутливості 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-обме-

межених оптичних систем фокусування та лазерів із довжиною хвилі 400 нм [10].

До граничного значення щільності запису (10^7 біт/мм²) наблизились у сучасних ВД-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).

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'ятовуючих пристроїв (лабораторії ОМЗП), яку очолював В.В. Петров, було синтезовано й досліджено понад 300 різних халькогенідних стекел (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).

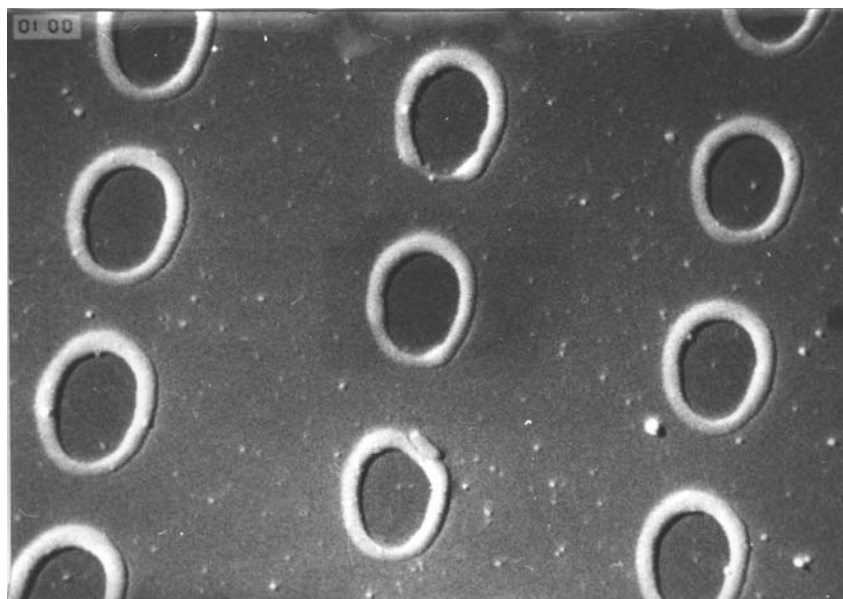


Рис. 2. Піти на реєструвальному середовищі $\text{Te}_{20}\text{Sb}_{10}\text{Se}_{60}\text{Ge}_{10}$

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 стекел, 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'ятовуючих пристроях, зокрема, було запропоновано використання рідкоімерсійних систем запису (В.В. Петров, С.М. Шанойло) [21], побудовано математичні моделі близькопольового та твердотіліноімерсійного методів запису [22], запропоновано способи підвищення оптичного пропускання близькопольових 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 твердотіліний 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 стояк 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 електро-механічних 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.

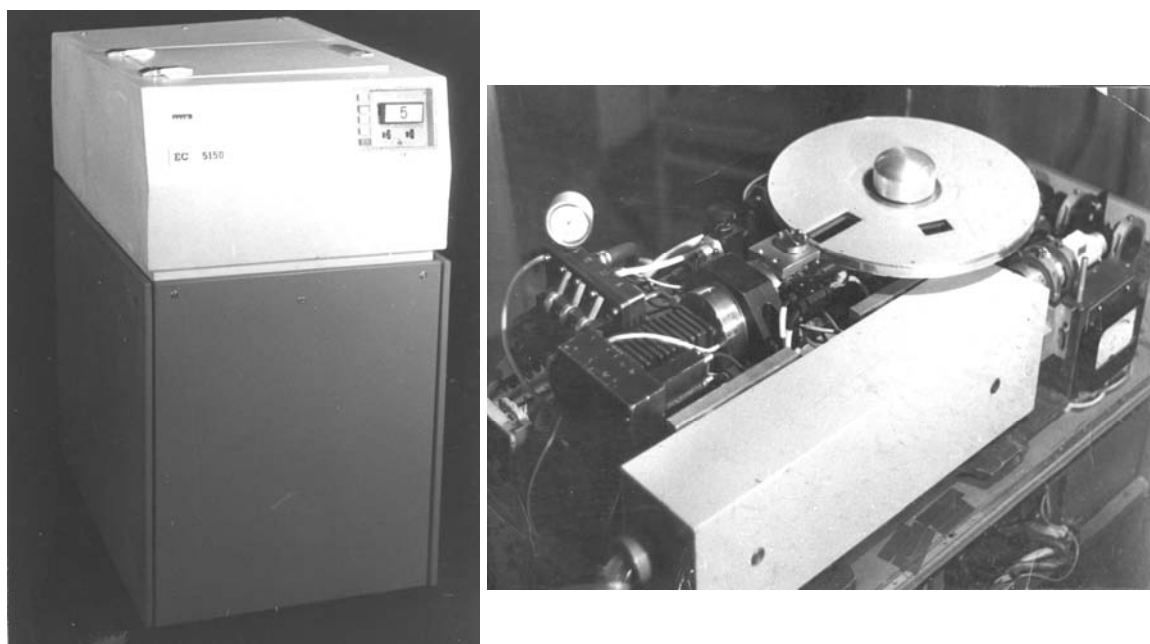


Рис. 3. Загальний вигляд накопичувача ОМЗП-1 (ЕС 5150)

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 ЕС 5350 із двома робочими поверхнями, ємність однієї робочої поверхні становила 1250 Мбайт. Для захисту реєструвального середовища від механічних пошкоджень і забруднення пилом у носії ЕС 5350 була використана конструкція із двома скляними пі-

дкладками, 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.



Рис. 4. Оптичний дисковий носій ЕС-5350 (1985 р.)

Технічні характеристики оптичного дискового носія ЄС 5350 наведено в табл. 2.

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

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].

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 сейсмозв'язки 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.

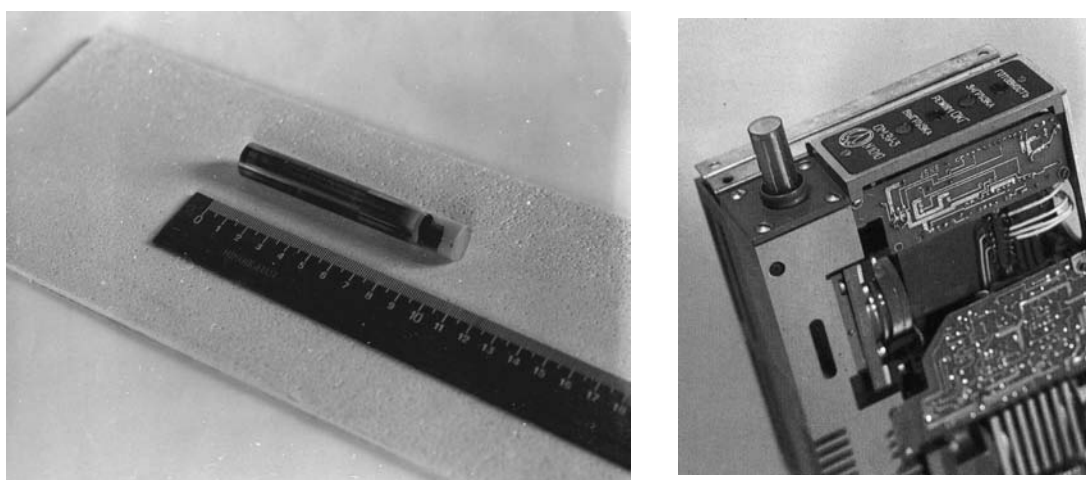


Рис. 5. Загальний вигляд накопичувача ОМЗП-3

ОМЗП-3 призначався для роботи в складі персональних ЕОМ (зокрема, ЕС 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 рідкоімерсійної 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 тридцяти організацій, інститутів і підприємств різних міністерств і відомств СРСР. Зокрема, розробку та виготовлення напівпровідникових одномодових лазерів здійснював НВО «Полюс» (м. Москва), оптичних елементів і високоапертурного імерсійного фокусувального об'єктива — ЛОМО та ДОІ (м. Ленінград), спеціального технологічного обладнання для виготовлення циліндричних носіїв інформації — НВО «Авангард» (м. Ленінград), технології серійного виготовлення матеріалів реєструвального середовища — НВО «Карат» (м. Львів), прозорого полімерного матеріалу для циліндричних носіїв — УкрНДІ-

пластмас (м. Донецьк), магнітооптичного реєструвального 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. Кожешкурт, 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 патентноспроможних 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 магнітоелектричним 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 об'єднаному каналі.

Уперше в світі для створення системи оптичного запису інформації в ОМЗП-3 була використана рідкоімерсійна 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, 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 багатокомпонентних 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.

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 (°C)	5–50

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. Їмність 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. Леонець, 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 аргонний 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. Хрїстїн). 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, керованим 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 компакт-дисків не перевищувало 15 нм. Система автоматичного керування процесом позиціонування була розроблена І.П. Рябоконею 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. Фомінієм і О.А. Цубінієм. Розроблена 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 («хмар») на поверхні дисків-оригіналів і компакт-дисків, які досить часто виникають при використанні фоторезистивного мастерінгу [47].



Рис. 6. Загальний вигляд станції лазерного запису дисків-оригіналів

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 фоторезисту, відсутність дефектів і стій-

кість 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.

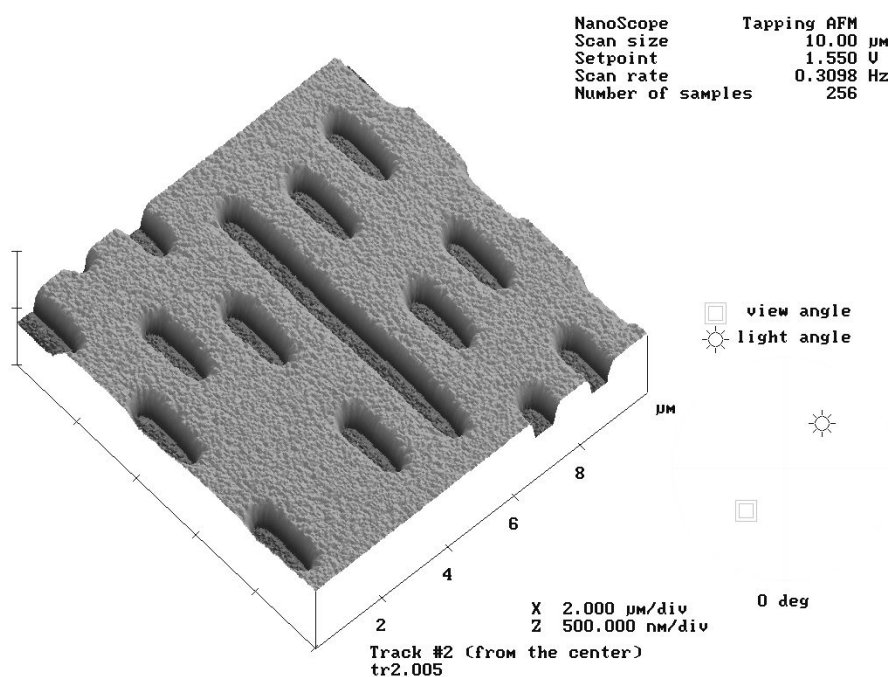


Рис. 7. Зображення поверхні диска-оригіналу після запису даних і селективного травлення

Дослідження процесу гальванопластичного вирощування нікелевих штампів 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 вирубку з них штампів з ексцентриситетом центрального отвору відносно інформаційних стрічок 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.

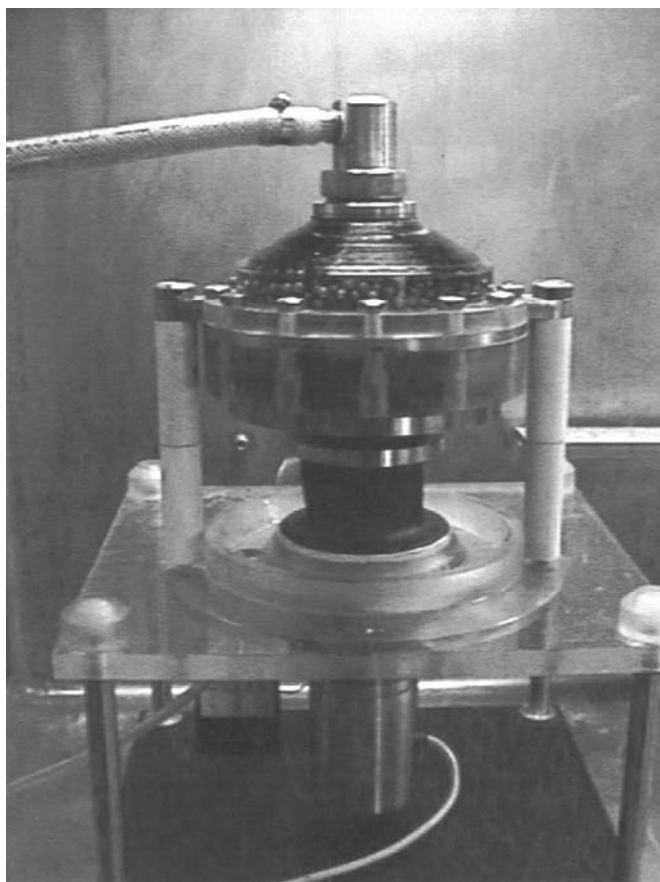


Рис. 8. Загальний вигляд гальванічного реактора струминного типу, розробленого в ІПРІ НАН України

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 штамів методом мікро- рентгено-спектрального 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).

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

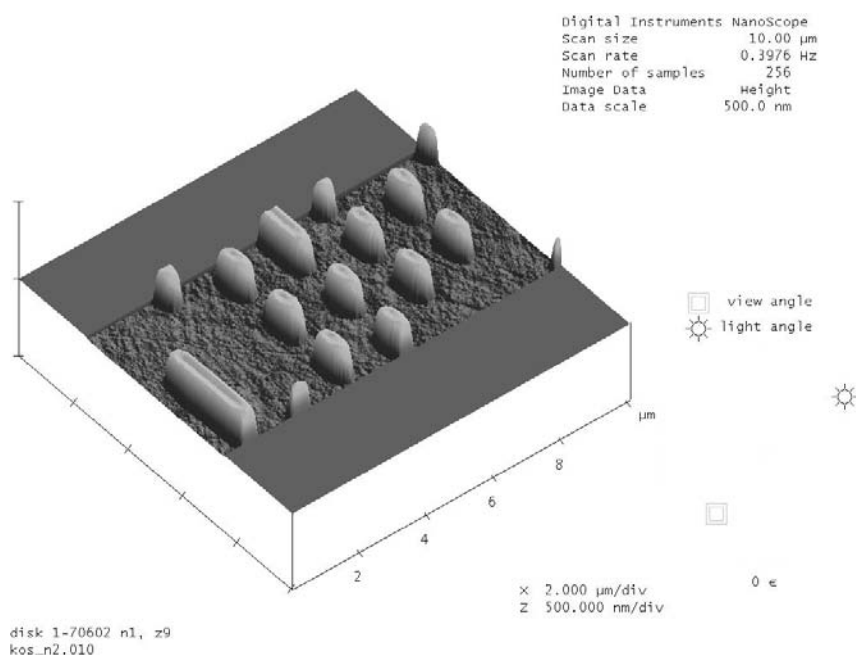


Рис. 9. Зображення поверхні нікелевого штампа, отримане на тунельному сканувальному мікроскопі (аналіз поверхні зроблено на тунельному сканувальному мікроскопі науковими співробітниками Інституту фізики напівпровідників НАН України П.М. Литвиним і О.С. Литвин)

Висока хімічна чистота нікелевих осадів особливо важлива при виготовленні металевих носіїв для довготермінового зберігання даних [53]. Результати тестування типового штампа наведено в табл. 6.

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

CD_Long / #1

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

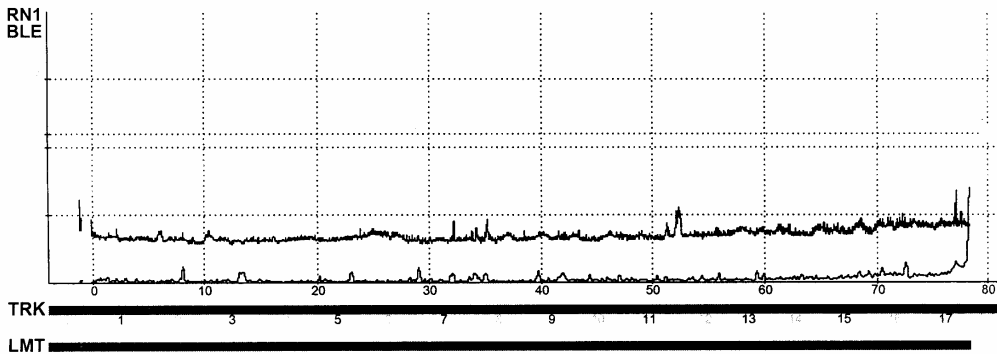
STA	BLI	BPL	BLO	ECC	Scn	Time	Event	Group	Description
Act									No event occurred
Min		24.80							
Max	23.00	25.00	58.00	70					

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	.60	.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	220	6	0	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 (nm)	SKR (dgr)	SKT (dgr)	TRA (%)	REF (%)	DER (%)
Min Rad Lmt						
Max Rad Lmt						
Avg						



1. Петров В.В., Карников 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., Токар А.П., Шанойло С.М., Сандул В.Я. Оптико-механические запоминающие устройства. — К.: Наук. думка. — 1992. — 152 с.
7. Леонец В.А., Токар 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 Всесоюзн. 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., Токар 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., Токар А.П. Оптический диск как единый носитель информации // Матер. симпоз. «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 Всесоюзн. 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, МКИ⁷ G02 B26/10. Зонд близькопольового мікроскопа // А.С.Ланчук, А.А.Крючин (Україна). Заявл. 11.10.2001; Опубл. 15.07.2004; Бюл. № 7.
24. Ланчук 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. електроника. 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, МКИ G11 7/00. Узел позиционирования носителя информации / В.В.Петров, А.А.Зелинский, В.Н.Зенин и др. Заявл. 3.07.86. Опубл. 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. Алексахин 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., Сивак 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. Типикин 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 B7/00. Узел оптико-механического запоминающего устройства / В.В.Петров, А.А.Антонов, А.П.Токарь и др.; Заявл. 07.02.86; Опубл. 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.Крю-

чин, А.П.Токар, 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.Токар, 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.Токар, 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.Токар, 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.Токар, Н.В.Горшков и др.; Заявл. 07.02.1986; Опубл. 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 // Реєстрація, 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 // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2002. — Т. 4, № 1. — С. 28–34.

49. Пат. 53637 Україна, МКІ G11В 7/26. Спосіб виготовлення диска-оригіналу для тиражування компакт-дисків / В.В.Петров, А.А.Крючин, С.М.Шанойло, Д.О.Гринько (Україна); Опубл. 17.02.03. — 2 с.

50. Атамась В.А., Крючин А.А., Петров В.В. Особенности изготовления дисков-оригиналов для систем лазерной записи информации // Реєстрація, 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; Опубл. 15.08.05; Бюл. № 8.

52. Петров В.В., Крючин А.А., Боднар Є.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 // Реєстрація, 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 // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2001. — Т. 3, № 4. — С. 5–11.

Надійшла до редакції 30.07.2007