

УДК 004.085

**І. В. Горбов, В. О. Беляковський**

Інститут проблем реєстрації інформації НАН України

вул. М. Шпака, 2 03113 Київ, Україна

тел. (044) 456-83-89, e-mail: ipri@ipri.kiev.ua

## **Оптичні дискові носії для довготермінового зберігання даних**

*Проведено аналіз вимог до носіїв, призначених для довготермінового зберігання даних для використання в електронних архівах й інформаційних системах. Показано можливість створення оптичних носіїв із мікрорельєфним представленням даних для довготермінового зберігання інформації. Представлено результат експериментальних досліджень процесів виготовлення оптичних носіїв із підкладками з високостабільних матеріалів, дані на яких подані у форматі стандартних CD- та DVD-носіїв.*

**Ключові слова:** оптичний диск, компакт-диск, довготермінове зберігання, кварц, сапфір, мікрорельєф.

### **Вступ**

Обсяг інформації, представленої в цифровому вигляді, стрімко зростає. Задача зберігання інформації на всіх етапах розвитку суспільства є однією із пріоритетних, при вирішенні якої необхідно забезпечити для майбутніх поколінь як схоронність знань, накопичених попередніми поколіннями, так і нової інформації [1]. Обсяги інформації, представленої в цифровій формі, збільшуються не тільки за рахунок нової інформації, яка в більшості випадків уже має й електронну форму подання, але й за рахунок переведення в цифрову форму раніше створених інформаційних ресурсів, у першу чергу, тих, які становлять наукове, історичне та культурне надбання людства. Представлення інформації в цифровому вигляді дозволило вирішити ряд проблем зберігання інформації, створити зовсім нові можливості для доступу до інформації та її обробки. Швидке впровадження цифрових технологій обробки інформації, розвиток електронних бібліотек обумовили необхідність проведення спеціальних досліджень по створенню технологій довготермінового зберігання інформації, представленої в цифровому вигляді. Необхідність цих досліджень пов'язана з тим що:

— до цифрової форми переведено значні об'єми інформаційних ресурсів, які із часом не втрачають своєї наукової, історичної або культурної значимості та цінності;

© І. В. Горбов, В. О. Беляковський

- оцифрування видань минулих років створило умови для того, щоб вони стали відомі широкому колу дослідників [2];
- постійно зростає попит на «онлайнове» одержання інформації;
- при створенні електронних бібліотек витрачені величезні кошти на оцифрування документів, створення баз даних, організацію доступу до електронних ресурсів;

Переведення документів у цифрову форму дозволило вирішити ряд проблем тривалого зберігання, а саме: забезпечити можливість контролювання документів без втрати якості, усунення дефектів на носіях з аналоговою формою представлення (подряпини на відеоматеріалах, шуми на аудіозаписах тощо), мультимедійного представлення інформації.

Зберігання електронних документів має особливості, які необхідно враховувати при створенні електронних бібліотек і архівів, а саме:

- електронні документи (ЕД), їхні формати та структура обумовлюються програмно-апаратними засобами відтворення інформації;
- ЕД зберігаються на носіях, які мають обмежений термін зберігання інформації;
- незалежно від архівних працівників може здійснюватися фрагментація документів.

Створення величезних архівів інформаційних матеріалів у цифровій формі призвело до появи ряду проблем, що вимагають вирішення найближчим часом: створення надійних носіїв для довготермінового зберігання цифрової інформації, розробка й впровадження спеціальних форматів для запису інформації, яка підлягає довготривалому зберігання, розробка спеціальних пристроїв зчитування інформації. Незважаючи на важливість і складність задач щодо вирішення проблеми швидкого морального старіння програмного забезпечення, а також технічного та морального старіння систем зчитування інформації, найважливішою проблемою є створення носіїв для довготермінового зберігання цифрової інформації.

За даними американських дослідників за останні п'ять років кожен рік спостерігається збільшення нової інформації на 30 %. На кожного мешканця Землі припадає 800 Мбайт нової інформації.

Прогнозується, що в 2012 р. загальний обсяг інформації перевищить 2,000,000 Тб (рис. 1), причому більшу частину інформації (65 %) буде складати саме архівна інформація, яка буде збільшуватись як за рахунок нових надходжень, так і за рахунок переведення існуючих архівів до цифрового вигляду.

Проблема архівного зберігання є як технічним аспектом, так і організаційним. Технічний аспект полягає в досить короткому життєвому циклі програмно-технічних засобів створення ЕД і носіїв інформації для їхнього зберігання (моральне та фізичне старіння). Організаційний аспект пов'язаний із тим, що не завжди архівісти мають вплив на вирішення питань законодавчого та фінансового забезпечення організації створення та функціонування ЕД [3].

Створення умов для довготермінового та надійного зберігання інформації в цифровому вигляді вирішується не тільки за рахунок використання спеціальних носіїв інформації, а й за рахунок використання необхідних форматів представлення інформації та програмного забезпечення. Зокрема, значна увага приділяється створенню універсального формату зберігання даних (UPF). UPF розглядається як

файловий механізм даних, який використовує контейнерну або згорнуту структуру. Він базується на метаданих, які визначають його зміст за допомогою реєстру стандартних типів даних і є джерелом коду для розмітки або переводу двійкових наборів у доступні або корисні форми. Передбачається, що UPF буде створений таким чином, що не буде залежати від комп'ютерних доповнень та операційних систем, що використовувались при створенні контексту, а також від властивостей носія, на який записано контекст.

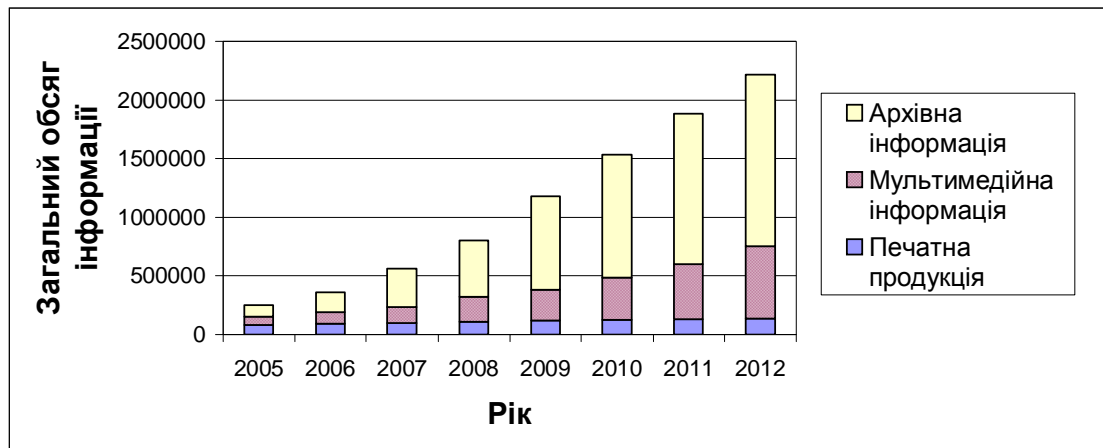


Рис. 1. Прогнозована кількість інформації, накопиченої людством

Істотною для носіїв архівного збереження є також форма представлення інформації. Вона повинна дозволяти відтворювати інформацію різними фізичними методами. Прикладом удалого вибору форми фізичного представлення може служити використання мікрорельєфного представлення інформації на воскових циліндрах, грамплатівках, компакт-дисках. Записи на воскових циліндрах, шелакових грамплатівках виконані з рельєфним представленням інформації на досить недосконалому устаткуванні при використанні сучасних технологій можуть бути відтворені із кращою якістю [4]. На даний час створюються методи рельєфного запису із щільністю запису порядку десятків Гбайт/см<sup>2</sup>.

### Аналіз вимог до носіїв довготермінового зберігання даних

Вибір носія для довготермінового зберігання даних здійснюється з урахуванням наступних його характеристик [5]:

- довговічність (залежить від технологічного рівня виробника, часу й умов зберігання); для визначення довговічності носія використовують методи прискореного старіння;
- надійність (здатність носія витримувати механічні навантаження, підвищену температуру та вологість);
- швидкодія доступу (важливий фактор у створенні інформаційного ресурсу, вирішенні проблеми резервного та страхового копіювання);
- ємність носія (визначається в залежності від призначення та перспективного використання його ємності);

— універсальність (визначається можливістю зберігати ЕД різних форматів, наприклад, floppy disk є непридатним для зберігання відеофайлів, CD або DVD можуть зберігати текстові, графічні, аудіо-, відеофайли);

— мобільність (зручність перенесення інформації в просторі);

— компактність (співвідношення розмірів і об'єму інформації);

— ціна (визначається призначенням: створення ЕД, приймання та розповсюдження ЕД, зберігання ЕД).

До того ж, висувається ряд вимог і до обладнання, на якому будуть виконуватися процеси відтворення інформації [6]:

— обладнання повинно бути доступним протягом необхідного терміну, тобто його слід виготовляти у великій кількості, бажано, різними незалежними компаніями;

— обладнання повинно мати інтерфейс, стандартизований для майбутніх комп'ютерних засобів;

— програмні драйвери такого обладнання повинні бути доступними для різних комп'ютерних платформ та операційних систем.

### **Аналіз технологій створення носіїв для довготермінового зберігання даних**

Для довготермінового зберігання даних пропонуються багато підходів і технічних рішень. Один із них полягає в тому, що інформацію пропонується зберігати в аналоговому вигляді (мікротексти та малюнки) на поверхні високостабільних матеріалів. Перевага такого методу полягає в тому, що прочитати текст людина може без використання спеціальних пристроїв відтворення даних (необхідний тільки оптичний мікроскоп). Розробляються спеціальні носії для запису тексту й графічних зображень, в яких реєстрація даних здійснюється на шарах металів. Зокрема, запропонований носій, який складається із кремнієвої підкладки, на яку нанесено шар нікелю товщиною 400 мкм. Електрохімічним травленням на носій нанесено текстову інформацію. Пікселі, з яких утворені зображення, мають розміри 100×100 нм. Це забезпечує розміщення на диску діаметром 5,6 см 30 тисяч сторінок друкованої інформації. Для забезпечення захисту від механічних пошкоджень носій закрито удароміцним оптичним склом і розміщено в металевому контейнері.

Відтворення інформації здійснюється візуальним зчитуванням із використанням оптичного мікроскопу. Підвищення надійності зберігання даних на диску для довготермінового зберігання досягається тим, що текст записується різними мовами. Для того щоб дослідники змогли розібратися в синтаксисі й законах побудови різних мов, між стрічками кожного із фрагментів розміщують елементи, які дають логічні підказки із принципів побудови мови. На такий диск учені записали декілька глав із Біблії — найбільш поширеної книги на планеті, фрагменти, присвячені розвитку Землі, історії людства [7].

Значна увага приділяється також створенню носіїв для довготермінового зберігання даних з електронним зчитуванням (без механічних систем позиціонування). Розробки таких систем пам'яті базуються на останніх досягненнях мікроелектроніки й нанофізики.

Для створення систем довготермінового зберігання даних пропонується використовувати локальне окислення й модифікацію поверхні металевих шарів на базі сканувальної зондової мікроскопії. Повідомлялося про дослідження запам'ятовуючих середовищ із використанням тонких металевих шарів Al, Zn та їхніх оксидів товщиною до 10–20 нм. Запис інформації здійснювався шляхом електрохімічного окислення дільниці матеріалу запам'ятовуючого елемента під зондом сканувального мікроскопа, при електронному зчитуванні визначалися значення електричної ємності або електричного опору запам'ятовуючих елементів, які розміщені на перетинах числових і розрядних шин матричного накопичувача. Аналіз структур запам'ятовуючих елементів показав, що оптимальними є структури із двома елементами (дві розрядних шини на розряд або дві числових шини на число). Електричний опір числових і розрядних шин накопичувача обмежує швидкодію при зчитуванні при зростанні об'єму пам'яті. Швидкодія при відтворенні даних із накопичувача ємністю  $10^8$  біт, в якому використані елементи з розмірами 50 нм, складає 10 нс. Прогнозується можливість створення пристроїв пам'яті із щільністю запису до  $10^{12}$  біт/см<sup>2</sup> [8].

Для архівного зберігання інформації в цифровій формі сьогодні широко використовуються магнітні стрічки [9], які залишаються домінуючим типом носіїв при виконанні операцій резервування, відновлення, а також архівного зберігання даних. Ємність електронних архівів на магнітних стрічках може становити сотні терабайт. Накопичений досить великий досвід зберігання аудіо- і відеоінформації на магнітних носіях. Існують зразки магнітних стрічок з аналоговими аудіозаписами, на яких інформація зберігається більше 50-ти років. За останні десятиліття здійснено значні вдосконалення систем магнітного запису на стрічкові носії, зокрема:

- використання основ із поліетілентерефталату дозволило зменшити товщину стрічок, збільшити швидкість переміщення носіїв;
- нанесення алмазоподібних захисних покриттів дозволило забезпечити механічний захист інформаційного шару;
- вакуумно-напилені магнітні покриття мають мінімальну кількість дефектів, пов'язаних зі сторонніми включеннями, високу стабільність магнітних властивостей.

Основна увага при розробці нових типів магнітних стрічок приділялася підвищенню щільності запису інформації (ємність сучасних магнітних стрічок складає сотні гігабайт) і швидкості запису інформації (швидкість запису/відтворення складає десятки мільйонів байт/с). Однак гарантований термін зберігання інформації на стрічках практично не змінився — 30–40 років [10]. Істотні складності при використанні магнітних стрічок для архівного зберігання даних створює велике число форматів записів (сотні), які в більшості випадків є несумісними або мало сумісними, наявність різних пристроїв запису, що випускаються обмеженим числом виробників. Така ситуація призводить до необхідності періодично проводити перезапис на нові носії. Якщо враховувати обсяги інформації, збереженої на магнітних стрічках (тільки аудіозаписів — десятки мільйонів годин), то ця операція стає дуже складною та дорогою.

Останнім часом пропонується організація зберігання великих інформаційних масивів на магнітних дисках. Це пов'язане зі значним удосконаленням їхніх хара-

ктеристик, створенням ефективних систем підвищення надійності роботи (RAID-системи). Технічні засоби запису на магнітні диски інтенсивно розвиваються. Так, в останні 5 років щорічно виготовляється понад 200 млн. накопичувачів інформації на жорстких магнітних дисках, інформаційна ємність кожного становить у середньому біля 50 Гбайт. Сумарна ємність магнітних накопичувачів на жорстких дисках, які щорічно виготовляються, складає приблизно  $10^{19}$  байт.

У процесі постійного зростання щільності запису інформації та потреб її довготермінового зберігання виникає питання, які фізико-технічні принципи покласти в основу розробки магніторезистивних сенсорів для зчитування інформації нового покоління. Такі сенсори мають вирішувати наступні задачі: забезпечувати високий рівень відношення сигнал/шум у процесі відтворення інформації, сприяти зростанню щільності запису на магнітних середовищах, значно збільшити термін служби зчитувальної голівки й надійність її функціонування. Безперечно, голівки, створені на основі гігантського магнітного опору з використанням магнітного тунельного переходу, є найбільш перспективними на даний час. Вони дозволяють підвищити щільність запису інформації на магнітному носії, мають краще відношення сигнал/шум у порівнянні зі спін-вентильними аналогами. Але в той же час вони технологічно більш складні в приготуванні та мають менший термін служби, крім того, у них існують додаткові джерела шумів завдяки ефекту тунелювання [11].

Але, незважаючи на ємність, швидкість запису/відтворення інформації, резервування записаної інформації, магнітні дискові системи не можуть використовуватися для довготермінового зберігання інформації. У багаторівневих системах зберігання даних жорсткі магнітні диски згідно з ієрархічною структурою пристроїв зберігання інформації використовуються для зберігання часто запитуваних даних, доступ до яких здійснюється з максимально високою швидкістю.

### **Аналіз технічних можливостей використання оптичних носіїв для довготермінового зберігання даних**

Серед розроблених до сьогоднішнього часу технологій найбільш повно задовольняють вимогам по створенню носіїв для довготермінового зберігання оптичні методи запису та зберігання інформації.

Оптичні носії мають ряд особливостей, що дозволяють розглядати їх як перспективні носії для довготермінового зберігання інформації, а саме:

— безконтактне зчитування інформації, що забезпечує доступ до змісту документа без порушення оригіналу й можливість довготермінового зберігання інформації;

— використання фізичних методів захисту записаної інформації від механічних ушкоджень;

— реалізація зворотної сумісності на нових типах пристроїв відтворення інформації;

— висока щільність запису, можливість збільшення щільності та швидкості запису інформації;

— використання режиму однократного запису й багаторазового зчитування, при якому зроблений на такому диску запис не може бути стертий чи замінений

на новий (архівні документи не підлягають будь-якому відновленню чи коректуванню);

- використання надійного рельєфного представлення інформації;
- можливість застосування високо стабільних матеріалів для виготовлення оптичних дисків;
- використання універсальних захисних контейнерів для всіх типів оптичних дисків.

Найдовший термін зберігання серед оптичних дисків мають оптичні диски на скляних підкладках з одношаровим покриттям типу WORM [12]. Спеціально для професійного архівного зберігання інформації фірмою Plasmon розроблено оптичний диск UDO (Ultra Density Optical — надщільний оптичний). Ємність двосторонніх 5,25-дюймових дисків UDO-1 та UDO-2 складає відповідно 30 та 60 Гб. Для запису інформації використовується блакитний лазер із довжиною хвилі 405 нм. Технологія виготовлення UDO-носіїв передбачає як створення дисків з однократним записом (абляційний запис на плівках телуру), так і дисків, інформація на яких може бути перезаписана (фазовий стан рееструвального середовища може змінюватись під впливом температури). Термін зберігання записаної інформації на них може становити, на думку розроблювачів, 100 років, тоді як термін зберігання інформації на стандартних компакт-дисках становить не більше 20–30 років. Цей термін зберігання визначається особливостями технології виготовлення носіїв, призначених для масового використання. Термін зберігання інформації на стандартних компакт-дисках обмежений через наступні причини:

- нестабільність властивостей і недостатня механічна міцність підкладок із полікарбонату;
- використання оптичних інтерференційних структур, виконаних із 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 й вологості;
- сильна залежність властивостей носіїв від умов виготовлення компакт-дисків і режимів запису інформації на них.

Досвід використання компакт-дисків CD-R (DVD-R), CD-RW (DVD-RW) в електронних архівах та бібліотеках дозволив розробити рекомендації, за якими інформація, що зберігається на таких компакт-дисках, повинна перезаписуватися кожні 2–3 роки [13].

Реалізація зворотної сумісності, закладена в технологію виробництва CD, дозволяє на сучасних плеєрах компакт-дисків відтворювати дані з компакт-дисків, виготовлених 10–15 років тому. Це особливо важливо тому, що у світі виготовлено вже понад 150 млрд. компакт-дисків різних типів. Використання єдиних формату запису даних і вигляду представлення даних на носії дозволяє вдосконалювати характеристики плеєрів компакт-дисків і самих компакт-дисків, зберігаючи можливість використання раніш виготовлених носіїв.

Істотно підвищити надійність зберігання інформації порівняно зі стандартними компакт-дисками (CD, DVD) і носіями типу WORM (оптичні носії з локальним видаленням матеріалу поглинального шару на ділянках запису сфокусованим лазерним випромінюванням) уявляється можливим за рахунок виготовлення носіїв із більш стабільними в часі характеристиками, здатними витримувати коливан-

ня температур і вологості в істотно більш широкому діапазоні, ніж носії з полікарбонатними підкладками. Крім того, уявляється доцільним виконувати носії інформації з однорідних матеріалів [14].

Ці носії виготовляються з використанням технологій, що застосовуються у виробництві компакт-дисків. У них використовуються формати представлення даних на стандартних компакт-дисках, вони мають геометричні розміри стандартних компакт-дисків і відтворюються на плеєрах стандартних компакт-дисків. Ці носії можуть розглядатися як розширення «сімейства» компакт-дисків зі специфічною областю застосування. У металевих носіях інформації використовується мікрорельєфне представлення інформації на нікелевих підкладках товщиною 0,1–0,3 мм, що герметизовані захисними прозорими шарами або з полімерних матеріалів, або із силікатного скла. При необхідності може вироблятися заміна захисних шарів (реставрація носія). Термін зберігання інформації на металевих носіях може складати сотні років. Так, мідно-нікелеві штампи для тиражування грамплатівок, виготовлені 60–70 років тому, прекрасно збереглися й аудіоінформація 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 довготермінового зберігання металевих носіїв. Окисні шари на поверхні нікелевих носіїв, які призводять до зміни геометричних розмірів пітів, можуть утворюватися за 250–300 років. Головна задача при використанні металевих носіїв полягає в захисті поверхні носіїв від забруднень. Великі можливості може мати технологія виготовлення компакт-дисків зі скляними підкладками, які, за прогнозами матимуть термін зберігання інформації сотні років [24].

На носіях із представленням даних у вигляді рельєфної мікроструктури термін зберігання даних визначається з умов збереження незмінної форми пітів на поверхні підкладки носія інформації. Підвищення температури носія вище температури плавлення (розм'якшення) матеріалу підкладки призводить до руйнування записаної інформації. Для отримання граничних значень терміну зберігання даних можна вважати, що енергія активації  $E_g$  процесу зберігання форми пітів може бути оцінена як  $kT_{nl}$  (де  $T_{nl}$  — температура плавлення матеріалу підкладки). Час зберігання даних на носії з мікрорельєфним представленням даних може бути визначений із використанням рівняння Ейрінга (Eyring) [15]:

$$t = A \exp\left(\frac{E_g}{kT}\right) \exp(B \cdot R),$$

де  $t$  — час зберігання даних;  $T$  — температура в градусах Кельвіна;  $R$  — відносна вологість;  $E_g$  — енергія активації;  $k$  — константа Больцмана;  $A, B$  — константи.

Співвідношення граничних термінів зберігання даних  $t$  на носіях із різними температурами плавлення  $T_{nl}$  матеріалу підкладки має вигляд:



$$\frac{t_1}{t_2} = e^{\frac{T_{n1} - T_{n2}}{T}},$$

де індекс «1» відноситься до носія першого типу, а індекс «2» — до носія другого типу.

Співвідношення граничних значень термінів зберігання даних на носіях із різними матеріалами підкладок наведено в таблиці.

Співвідношення строків зберігання даних на носіях із різними підкладками

Матеріал підкладки	Температура плавлення, К	Відносний термін зберігання даних на носіях з мікрорельєфним записом	
		до воскових циліндрів Едісона	до компакт-дисків з полікарбонату
Віск	323	1	–
Полікарбонат	543	$e^{0,75}=2,11$	1
Кварц	1470	$e^{3,91}=50,13$	$e^{3,16}=23,66$
Сапфір	2045	$e^{5,88}=356,78$	$e^{5,12}=168,39$

При використанні в носіях із мікрорельєфним представленням даних підкладок із високотемпературних неорганічних матеріалів може бути забезпечено граничний термін зберігання даних декілька тисяч років. Властивості підкладок у таких носіях уже не впливають на термін зберігання даних, який уже буде визначатися іншими показниками, а саме властивостями відбивальних шарів, механічною міцністю носіїв.

Такий підхід до вирішення проблеми суттєвого підвищення термінів гарантованого зберігання даних на компакт-дисках починає знаходити прибічників. Останнім часом (жовтень 2006 р.) з'явилися повідомлення [16], що японські спеціалісти (з фірми Suenari Fukui) продемонстрували скляний компакт-диск, який здатний зберігати інформацію більш тривалий час. До переваг скляного компакт-диска відносять також меншу чутливість до впливу вологи, опромінювання та деформацій. Крім того, скляні підкладки мають більшу прозорість.

Матеріал підкладок оптичних носіїв, призначених для довготермінового зберігання даних, повинен мати значну механічну міцність і мінімальну шорсткість після полірування, високе значення модуля Юнга, площинність, термостабільність [17].

### Технологія виготовлення оптичних носіїв для довготермінового зберігання даних

Найбільший термін гарантованого зберігання даних мають оптичні носії типу WORM, в яких використано скляні підкладки. Запис інформації здійснюється або шляхом локального фототермічного руйнування поглинального шару (абляційний запис), або фазових переходів у плівках багатокомпонентних напівпровідників. Останні дослідження зразків оптичних дисків типу WORM, які зберігались десятки років, показали, що відбувається поступова зміна геометричних розмірів пітів.

Це пов'язане з тим, що на границях пітів, які утворилися під дією сфокусованого лазерного випромінювання, існують значні механічні напруження. Релаксації механічних напружень призводять до небажаних збільшень геометричних розмірів пітів. Це явище особливо сильно проявляється на носіях, у яких використовуються тонкі плівки склоподібних сплавів телуру. Проведені дослідження зразків оптичних дисків типу WORM із реєструвальним середовищем  $\text{Te}_{14}\text{Sb}_{10}\text{Ge}_{15}\text{Se}_{61}$  показали, що записи, зроблені понад 25 років тому, збереглися, але спостерігається зміна форми пітів (зменшується відстань між пітами) (рис. 3) [18].

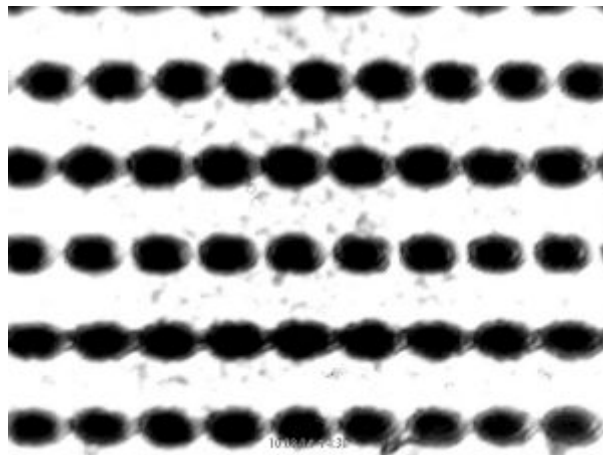


Рис. 3. Зона запису даних на носії WORM після 25-ти років зберігання

Одна з головних проблем використання таких носіїв для довготермінового зберігання даних полягає в складнощах герметизації реєструвального середовища. Нанесення герметизуючих шарів призводить до суттєвого збільшення енергії запису інформаційних одиниць і рівня шумів від забруднення пилом. Для зменшення впливу парів води використовується конструкція носія із двома підкладками, у просторі між якими розміщуються реєструвальні середовища [19].

Більший термін зберігання даних можуть забезпечувати носії типу WORM зі скляними підкладками, в яких реєструвальним середовищем слугує шар багатокомпонентного халькогенідного напівпровідника, в якому під термічним впливом сфокусованого лазерного випромінювання здійснюється незворотній фазовий перехід. Перевага таких носіїв полягає в тому, що реєструвальний шар носія може досить технологічно герметизуватися захисними шарами, які мають товщину більш ніж товщина реєструвального шару, крім того, можуть використовуватися матеріали захисного шару, температура фазового переходу яких більша за температуру плавлення матеріалу, який деформується під дією сфокусованого лазерного випромінювання. Але головна перевага носія з фазовими переходами в тому, що зберігається механічна цілісність світлочутливого шару. Температура фазового переходу у світлочутливому шарі не перевищує 300–350 °С (енергія активації для високотемпературних халькогенідних стеклокладає 160–200 кДж/моль) [21].

Суттєво підвищити термін зберігання даних на оптичних носіях можливо при використанні однорідних за структурою носіїв інформації. У такому носії інфор-

мація записана у вигляді неоднорідностей на поверхні підкладки. Стандартні компакт-диски є носіями такого типу (інформація представлена у вигляді мікрозаглиблень різної довжини). Для збереження записаної інформації тривалий час необхідно використовувати підкладки, виготовлені з високотемпературних матеріалів (температура плавлення яких на порядок перевищує граничні температури зберігання носіїв). Це дозволяє зберігати незмінною форму пітів тривалий час (понад сто років). Крім того, матеріал підкладки повинен мати високу хімічну стабільність для уникнення зміни геометричних розмірів пітів у процесі взаємодії матеріалу підкладки з газами атмосфери (в першу чергу з киснем). Окиснення поверхні металевих носіїв із мікрорельєфним представленням даних є одним із головних факторів, які обмежують термін зберігання інформації [18].

Для виготовлення підкладок для оптичних носіїв, призначених для довготермінового зберігання даних, можуть бути використані силікатні (боросилікатні) стекла, ситали, кварцове скло й навіть прозорі високотемпературні монокристалічні матеріали, наприклад, лейкосапфір [20]. При цьому треба враховувати, що густина лейкосапфіру значно більша ніж полікарбонату ( $4 \text{ г/мм}^3$  проти  $1,2 \text{ г/мм}^3$ ). Маса звичайного компакт-диска з полікарбонату складає близько 16 г. Таким чином, для того щоб такі диски могли відтворюватися на стандартних програвачах, необхідно щоб їхня маса суттєво не відрізнялась від маси звичайного компакт-диска. На рис. 4 зображені залежності маси дисків, зроблених із лейкосапфіру, кварцового скла та ситалу, від діаметра.

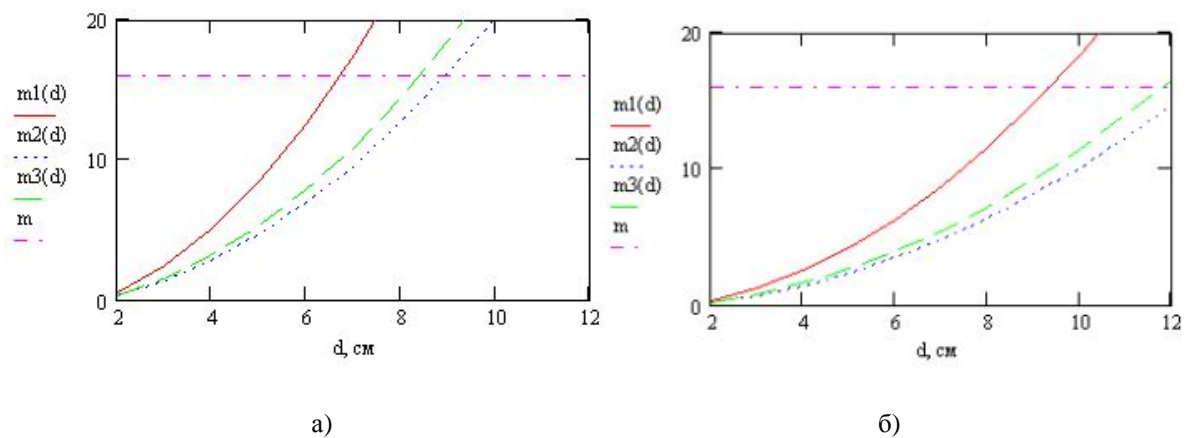


Рис. 4. Залежності маси дисків товщиною 1,2 мм (а) та 0,6 мм (б), зроблених із лейкосапфіру ( $m_1$ ), кварцового скла ( $m_2$ ) та ситалу або скла ( $m_3$ ) від діаметра ( $m$  — маса стандартного компакт-диска)

Товщина підкладки стандартного диска DVD складає саме 0,6 мм, тобто маса диска, виготовленого із ситалу або скла відповідно до формату DVD, не буде суттєво відрізнятися від звичайного компакт-диска. А диски, виготовлені з лейкосапфіру, повинні мати менші розміри. На рис. 5 зображена залежність ємності диска DVD від діаметра.

Процес виготовлення оптичних носіїв для довготермінового зберігання даних складається з низки технологічних операцій (рис. 6), які використовуються при виготовленні дисків-оригіналів фоторезистивним методом. Інформація записуєть-

ся сфокусованим лазерним променем на шарі позитивного фоторезисту, на якому після селективного хімічного травлення утворюється рельєфне мікрозображення. Для отримання мікрорельєфу на поверхні диска здійснюється хімічне або іонне травлення матеріалу підкладки крізь вікна у фоторезисті.

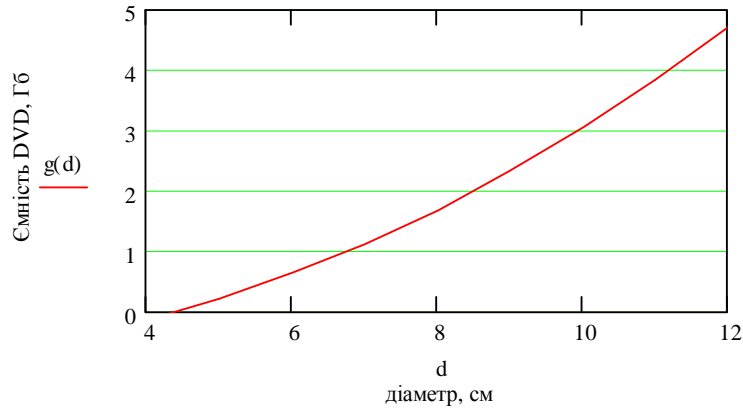


Рис. 5. Залежність ємності оптичного диска у форматі DVD від діаметра

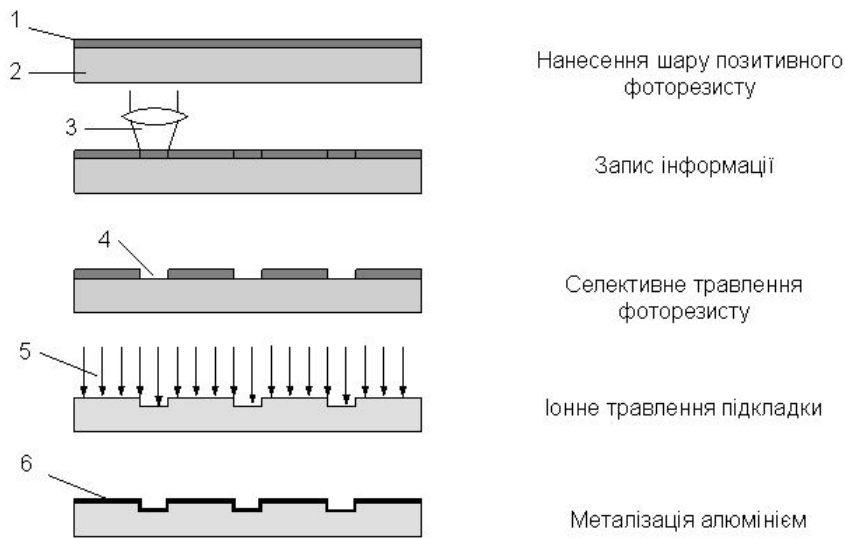


Рис. 6. Схема процесу виготовлення оптичного носія для довготермінового зберігання даних:  
 1 — шар позитивного фоторезисту; 2 — високостабільна прозора підкладка; 3 — сфокусований лазерний промінь; 4 — вікно; 5 — іонний пучок; 6 — шар алюмінію

Для отримання пітв глибиною 100–120 нм у силікатних скляних підкладках хімічним травленням кислотними (на базі плавикової кислоти) травниками товщина шару фоторезисту Shipley 1813 (який найчастіше використовується в процесі виготовлення компакт-дисків) має становити приблизно 200 нм. Проведені експериментальні дослідження процесу селективного хімічного травлення скляних підкладок (склад скла: Si — 26 %, Ca — 5 %, Na — 7 %, O — 63 %) показали мо-

жливність отримання мікрорельєфних зображень із необхідними геометричними розмірами інформаційної мікроструктури (глибина 120 нм, ширина заглиблень 0,5–0,6 мкм та довжина 0,8–3,5 мкм). Головна проблема при хімічному травленні скляних підкладок полягає в забезпеченні однорідності травлення поверхні підкладки носія інформації та отриманні високої чистоти поверхні носія. Крім того, процес хімічного травлення є ізотропним, і це призводить до збільшення ширини пітв, яке може становити величину близьку до глибини пітв. Таке збільшення є неприпустимим при виготовленні носіїв, запис інформації на які зроблено у форматі звичайних компакт-дисків (CD, CD-ROM), але метод хімічного травлення не може використовуватися при виготовленні носіїв у форматах DVD, HD DVD, BD.

Забезпечити формування мікрорельєфної структури на поверхні прозорих високостабільних підкладок може травлення з використанням низькотемпературної газорозрядної плазми, а саме іонно-променевого та реактивного іонно-променевого травлення. При іонно-променевому травленні поверхневі шари видаляються тільки в результаті фізичного розпилення. У випадку реактивного іонно-променевого травлення поверхневі шари видаляються в результаті як фізичного розпилення енергетичними іонами, так і хімічних реакцій між хімічно активними частинками та атомами матеріалів.

На поверхні скляного диска діаметром 12 см методом реактивного іонно-променевого травлення нами було отримано мікрорельєф, який відповідає стандарту компакт-диска (рис. 7). Після металізації поверхні алюмінієм отриманий диск повністю відтворився на стандартному пристрої для зчитування компакт-дисків.

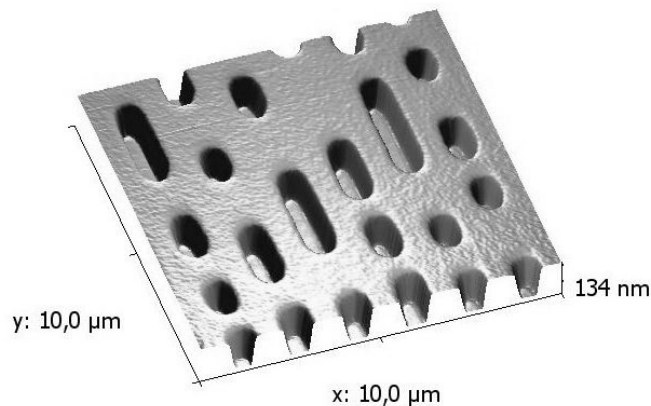


Рис. 7. Зона запису на скляному компакт-диску

При використанні в якості підкладок багатокомпонентних матеріалів, таких як силікатні стекла та ситали, необхідно враховувати, що різні компоненти будуть мати різні швидкості травлення. Щоб цього уникнути нами було запропоновано створювати мікрорельєфну структуру в додатковому прозорому шарі, який наносять на поверхню підкладки [22].

Авторами проводились дослідження з виготовлення додаткового прозорого шару з оксидів кремнію, гафнію, цирконію, які мають високу адгезію до силікатного скла, високі часову стабільність характеристик і швидкості іонного травлення.

ня. Товщина шару прозорого діелектричного шару повинна в 2–5 разів перевищувати глибину пітів. Нанесення додаткових шарів для отримання високої чистоти може здійснюватися електропроменевим випаровуванням.

## Висновки

1. У світі спостерігається швидке зростання документів, представлених у цифровому вигляді, значна частина яких підлягає тривалому або постійному зберіганню. Відсутність носіїв, спроможних забезпечувати гарантований тривалий (десятки й навіть сотні років) термін зберігання даних, що представлені в цифровій формі, не дозволяє чітко визначити необхідні терміни зберігання електронних документів.

2. Використання оптичних носіїв дозволяє вирішувати основні проблеми по забезпеченню довготермінового зберігання цифрової інформації за рахунок комплексу їхніх властивостей (безконтактності процесу реєстрації даних, мікрорельєфного представлення даних, зворотної сумісності між оптичними носіями різних поколінь, використання режиму реєстрації WORM).

3. Оптичні носії для довготермінового зберігання даних можуть бути створені на базі використання прозорих підкладок, на яких методами селективного травлення утворюються мікрорельєфні структури, що представляють інформацію, записану на носії. У такому випадку терміни зберігання інформації на оптичних носіях можуть бути істотно збільшені (до 200–300 років). Використання прозорих підкладок із монокристалічних матеріалів дозволяє отримати термін зберігання даних понад 1000 років.

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. — М., 2000, 22-24 ноября. — С. 61–62.

2. Смит Б. Исследовательская деятельность Европейского Союза в области культурного наследия // Труды конф. «Информация для всех: культура и технологии информационного общества». — М., 2003, 1-5 декабря. — С. П1-3-1–П1-3-18.

3. Day M. Integrated Metadata Schema Registries // URL: <http://www.ukoln.ac.uk/metadata/htm>.

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. Марченко П. Проект концепції архівного зберігання електронних документів // Студії з архівної справи та документознавства. — 2005. — Т. 13. URL: [http://www.archives.gov.ua/Publicat/Studii/Studii\\_2005.13.03-06.php#3-2](http://www.archives.gov.ua/Publicat/Studii/Studii_2005.13.03-06.php#3-2)

6. Горбов И.В. Архивное хранение цифровой информации на оптических носителях // Вісник Донецького університету. — Серія А. Природничі науки. — 2005. — № 2. — С. 419–426.

7. <http://www.rosettaproject.org/about-us/disk/concept>

8. Мартынюк Я.В., Верба А.А., Скороход И.А. Наноразмерные системы записи и считывания информации тонкослойных структур металлов (Al, Zr) и их соединений // Материалы VII Между-

нар. российско-украинского семинара «Нанофизика и наноэлектроника». — С.-Пб. — 2006, 1-4 октября. — С. 57.

9. Устинов В.А. Обеспечение физической сохранности архивных документов // Техника кино и телевидения. — 2000. — № 6. — С. 44–48.

10. Digital Preservation Management: Implementing Short-Term Strategies for Long-Term Problems // <http://www.library.cornell.edu/iris/tutorial/dpm>.

11. Baibich M.N., Broto J.B., Fert A., Nguyen Van Dau F., Petroff F., Etienne P., Creuzet G., Frederich A. and Chazelas J. Basic Considerations on the Growth of Metallic Layers by Molecular Beam Epitaxy: Application to Cr/Fe, Ag/Fe and Cu/Co Multilayers // Phys. Rev. Lett. — 1988. — 61. — 2472.

12. Phase Change Recording in 12-inch. True WORM Technology // [www.plasmon.com](http://www.plasmon.com).

13. Good Practices Handbook // [http://www.minervaeurope.org/publications/goodpractices1\\_3.htm](http://www.minervaeurope.org/publications/goodpractices1_3.htm)

14. HD-Rosetta archival preservation services // <http://www.norsam.com>

15. Okino Y., Irie M., Kubo T., Okuda M. Estimating a Life Expectancy of High-Density Recordable optical Discs // Proc. SPTE. — 2005. — Vol. 5966. — P. 5966 17-1–5966 17-4

16. Стекланный CD намного лучше пластикового // [www.pcnews.ru](http://www.pcnews.ru) (23.10.2006)/

17. Патентный опис 2006/0040142A1 США. МПК G11D 5/706. Crystallized Glass for Information Recording Medium, Crystallized Glass Substrate, and Information Recording Medium Using the Crystallized Glass Substrate / Zou X., Azegami K. (Япония). Ноуа corporation; Заявл. 07.04.2005.

18. Металеві носії для довготермінного зберігання інформації / Петров В.В., Крючин А.А., Шанойло С.М. та ін. — К.: Наук. думка, 2005. — 132 с.

19. Оптические диски. История, состояние, перспективы развития / Петров В.В., Крючин А.А., Шанойло С.М. и др. — К.: Наук. думка, 2004. — 174 с.

20. Пат. 73611 Україна МПК G 11 7/00. Носій для довготермінного зберігання інформації / В.В. Петров, С.П. Семиноженко, В.М. Пузиков, О.Я. Данько, А.А. Крючин, С.М. Шанойло, Л.В. Бутенко, І.О. Косско (Україна); Заявл. 25.04.2003; Опубл. 15.08.2005.; Бюл. № 8, 2005. — 2 с.

21. Overview of WORM Technology Storing Fixedcontent Noncrasable Data // [www.datalink.com](http://www.datalink.com)

22. Заявка 20060154 на патент України від 14.02.06. Спосіб виготовлення оптичного носія для довготермінного зберігання даних / В.В. Петров, І.В. Горбов, А.А. Крючин, В.О. Беляковський. Заявник ІПРІ НАН України.

23. Berghammer P. Storage Vision Predicts Boom and Highlights Synergies Between Formats. — <http://www.oto-online.com>.

24. Петров В.В., Крючин А.А., Шанойло С.М. Новейшие технологии долговременного хранения электронных информационных ресурсов [Электронный ресурс] // Б-ки нац. акад. наук: пробл. функционирования, тенденции развития. — Электрон. дан. (1 файл). — К., 2005. — Вып. 3. — Режим доступа // <http://www.nbuv.gov.ua/articles/2005/05pvveir.html>.

Надійшла до редакції 21.05.2007