

УДК 004.085

Є. В. Беляк

Інститут проблем реєстрації інформації НАН України  
вул. М. Шпака, 2, 03113 Київ, Україна

## Технологія нанесення люмінесцентних ідентифікаційних елементів на поверхню оптичного диска

*Проведено аналіз проблеми неліцензійного копіювання оптичних носіїв інформації. Запропоновано метод їх комплексного захисту шляхом нанесення на поверхню диска люмінесцентних шарів та подальшого запису сфокусованим лазерним світлом ідентифікаційних міток. З цією метою експериментально досліджено можливість застосування фотополімерів на основі композитних піразолінових барвників, що люмінесцують при опроміненні УФ світлом.*

**Ключові слова:** оптичний диск, неліцензійне копіювання, люмінесцентний фотополімер, піразолінові барвники, RGB-тріада, люмінесцентний штрих-код, пошкоджені сектори.

### Вступ

Однією з основних переваг роботи з оптичними дисками є надзвичайна зручність виконання процедур відтворення та запису інформації. Нажаль, це водночас надає широкі можливості для представників тіньового бізнесу, що займаються тиражуванням контрафактної продукції. Постійно зростаючі об'єми «піратських» дисків завдають значних збитків, блокуючи у масштабах країни розвиток цілих галузей індустрії, таких як розробка програмного забезпечення й розповсюдження на оптичних дисках комерційних аудіо- та відеоматеріалів. Статистика свідчить, що в Україні за станом на 2005 рік ліцензійні компакт-диски склали лише 32 % повного обсягу продукції аудіоносіїв. Як показує досвід боротьби з поширенням неліцензійних носіїв інформації, поодинокі заходи у цій сфері виявляють свою неефективність; стратегія, спрямована на подолання даного явища, вимагає комплексного підходу, що складатиметься з наступних пунктів:

- формування у громадян правової свідомості;
- розвитку методів програмного та фізичного захисту;
- розробки ідентифікаційних елементів.

Споживач, орієнтований на придбання ліцензійних дисків, повинен мати можливість надійної ідентифікації обраної продукції. Останнім часом контрафактні

носії мають якісні обкладинки, їх виробники часто намагаються відтворити візуальні ідентифікаційні елементи оригінального диска: штрих-код, голографічні мітки тощо. Саме це спонукало розпочати дослідження по розробці люмінесцентних ідентифікаційних елементів, прозорі шари яких наносяться як на обкладинку, так і на робочу поверхню оптичного диска й надалі зчитуються лише при опроміненні ультрафіолетовим світлом [2, 3]. Запропонована методика комплексного захисту носіїв інформації містить у собі широкий діапазон підходів, серед яких: візуальна ідентифікація якісного люмінесцентного зображення та мікротексту на обкладинці диска; зчитування ручним сканером одновимірного люмінесцентного штрих-коду; фізичний захист носія шляхом створення навмисно пошкоджених секторів; запис значних об'ємів ліцензійної інформації у двовимірному люмінесцентному штрих-коді (рис. 1).

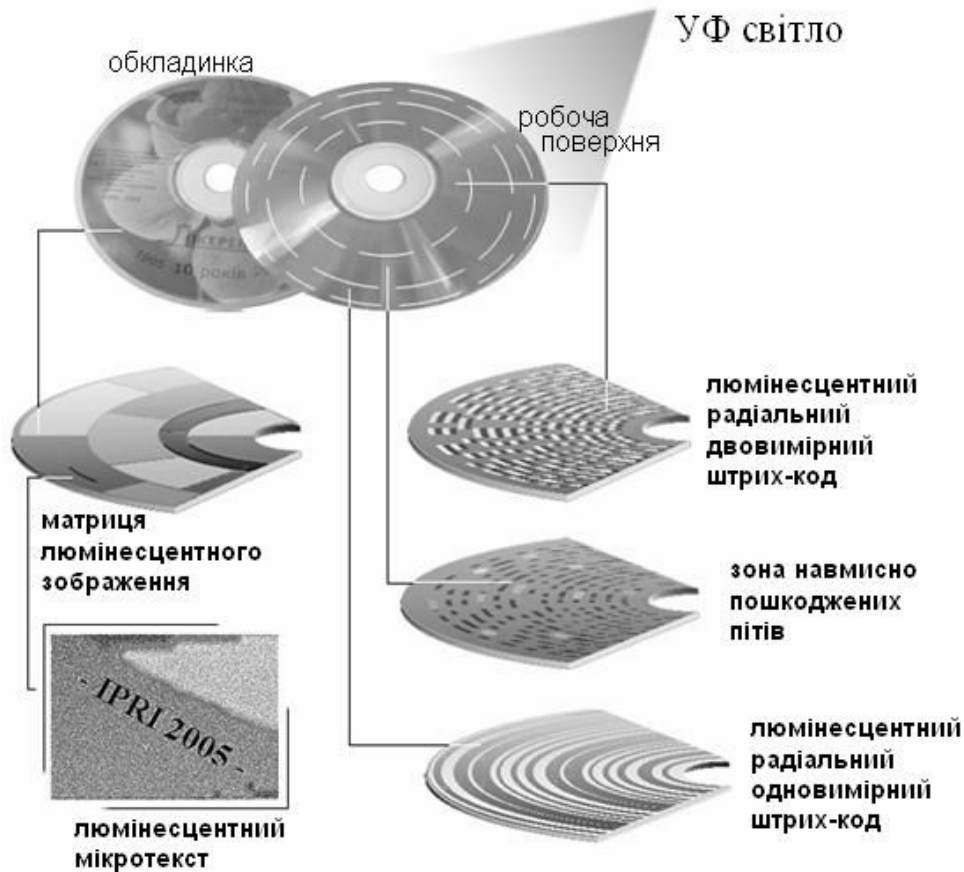


Рис. 1. Люмінесцентне захисне покриття оптичних дисків

### Формування матриці люмінесцентного зображення

Люмінесцентне зображення займає обкладинку диска, доповнюючи малюнок на її поверхні. Являючи собою ефективний елемент візуальної ідентифікації та значно покращуючи ергономічність носія, воно має бути яскравим, різнокольоро-

вим та записаним з великою роздільною здатністю. Як показали дослідження, нанесення зображення через трафарет не відповідає у повній мірі зазначеним вимогам та може бути легко підроблено. У зв'язку з цим було запропоновано попередньо сформувати на поверхні носія RGB-матрицю, що включає до себе елементи трьох основних кольорів (червоного, зеленого та синього), які складаються у RGB-тріади та розташовуються у вигляді концентричних кілець (рис. 2). Для того, щоб при постійному розмірі елементів матриці (200×200 мкм, що відповідає середній роздільній здатності поліграфії мікротексту) структура тріад не порушувалась, кожен два кільця люмінесцентної матриці розділяються проміжним кільцем. Запис зображення відбувається подібно до запису інформації на оптичний диск: лазерний промінь фокусується на поверхні обкладинки диска у пляму з радіусом 100 мкм та знебарвлює шляхом руйнування барвника окремі елементи тріад, надаючи відповідним областям заданого кольору. Інтенсивність люмінесцентного світіння кожного з барвників, що відповідають основним кольорам RGB-матриці, має бути при цьому підібрана таким чином, щоб до лазерного запису поверхня диска під УФ опроміненням сприймалась як яскраво біла. Після нанесення рисунка лазер фокусується на поверхні носія у пляму мінімального розміру (для ІЧ лазера з апертурою та довжиною хвилі лазера приводу CD-ROM радіус плями складатиме 0,85 мкм) та на окремих ділянках, наприклад, внутрішніх та зовнішніх областях оптичного диска, записує мікротекст.

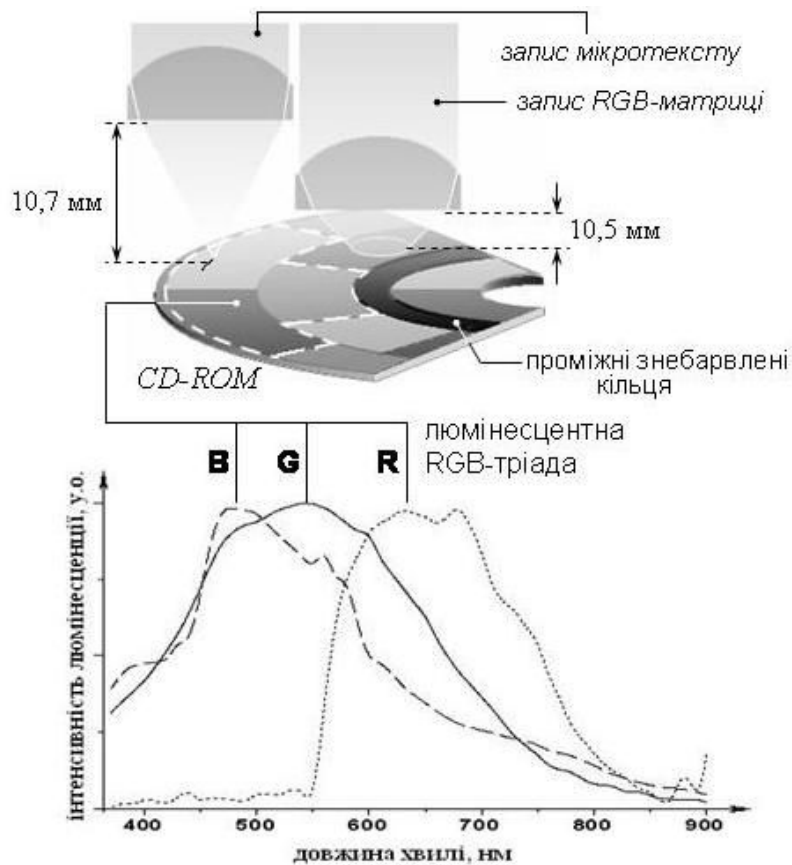


Рис. 2. Запис матриці люмінесцентного зображення та мікротексту

У ході експериментальних досліджень було синтезовано композитні піразолінові барвники, на основі яких може бути сформовано шар фотополімеру [2, 3] для запису матриці люмінесцентного зображення. Переваги даного класу барвників полягають у наступному:

- високому квантовому виході люмінесценції (60–70 %);
- можливості вибору барвника з необхідним значенням довжини хвилі люмінесценції;
- високій фоточутливості барвника до опромінення сфокусованим лазерним ІЧ світлом;
- стабільності оптичних характеристик барвника як перед, так і після опромінення лазером.

З метою збільшення фоточутливості люмінесцентного матеріалу було досліджено суміші барвника з лаком «Rengolux 3203-015 clear», що застигає при опроміненні УФ світлом та використовується в якості захисного покриття оптичних дисків. Максимальна контрастність запису, якої вдалося при цьому досягти, складала 5:1. Для збільшення яскравості світіння люмінесцентного матеріалу до суміші було додано білий цеоліт з субмікронними порами. Дослідження, підтвердивши заздалегідь проведений теоретичний аналіз, показали, що включення піразолінового барвника до матриці цеоліту вдвічі збільшує інтенсивність люмінесценції барвника. Нажаль, коефіцієнт поглинання матеріалу для діапазону довжин хвиль, у якому відбувається зчитування інформації з компакт-диска ( $\lambda = 780$  нм) та DVD-носія ( $\lambda = 650$  нм), збільшується при цьому принаймні в чотири рази, тому композитний люмінесцентний барвник із включенням цеоліту не може використовуватися при формуванні люмінесцентного шару на робочій поверхні оптичного диска, хоча і надає значні переваги при створенні люмінесцентної обкладинки диска.

Такі ідентифікаційні елементи легко відтворюються, приваблюють зовнішнім виглядом та наочно демонструють покупцю те, що обраний оптичний диск не є контрафактною продукцією. Люмінесцентне зображення при цьому відтворюється шляхом опромінення носія інтенсивним УФ світлом подібно до ідентифікації грошових знаків та цінних паперів, а мікротекст може бути зчитано звичайним люмінесцентним мікроскопом.

### **Нанесення люмінесцентного шару на робочу поверхню оптичного диска**

Люмінесцентний шар на робочій поверхні оптичного диска є прозорим (коефіцієнт поглинання для довжин хвиль оптичних систем зчитування CD/DVD приводів  $k_a \leq 20$  %) включає до себе області одновимірного люмінесцентного радіального штрих-коду, двовимірного люмінесцентного радіального штрих-коду, а також зону пошкоджених секторів. Подібно до матриці люмінесцентного зображення захисні елементи на робочій поверхні оптичного диска записуються сфокусованим світлом лазера, що локально знебарвлює ділянки люмінесцентного шару. При цьому області одновимірного та двовимірного штрих-коду люмінесцують у оптичному діапазоні, довжини хвиль якого відрізняються від довжини хвилі зондуючого променя, й, таким чином, не спотворюють сигнал зчитування, в той час,

як спектр люмінесценції незасвічених ділянок зони пошкоджених секторів включає до себе дану довжину хвилі.

Одновимірний люмінесцентний радіальний штрих-код представляє собою набір люмінесцентних кілець різної товщини, що записуються, починаючи від зовнішнього краю оптичного диска, і займають більшу частину його поверхні. Такий штрих-код є невидимим без додаткового УФ опромінення й може бути зчитаним ручним сканером, за конструкцією близьким до сканера звичайного штрих-коду. Заміна у даному випадку смуг на кільця зумовлена саме тим, що код є невидимим, і при скануванні залишається можливість орієнтуватися лише на геометрію самого диска, проводячи сканером уздовж радіуса від центра до краю (рис. 3). Двовимірний код при цьому не зчитується, через те, що його елементи є значно меншими ніж товщина кілець штрих-коду та не відповідають роздільній здатності сканеру, а зона пошкоджених секторів люмінесцує на іншій довжині хвилі. Розташування кілець на зовнішній периферії робочої поверхні носія значно зменшує область двовимірного люмінесцентного радіального штрих-коду, таким чином, зменшуючи об'єм додаткової ліцензійної інформації що може бути записаною у цій області, але даний підхід забезпечує меншу кривину ділянок, що зчитуються ручним сканером, і, таким чином, покращує надійність його роботи.

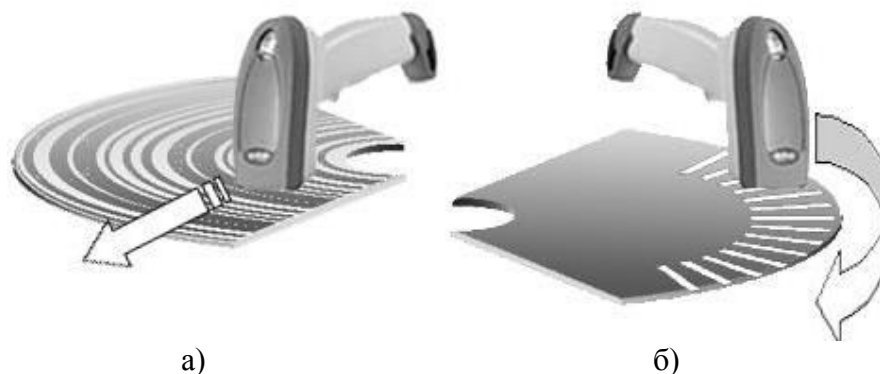


Рис. 3. Зчитування ручним сканером штрих-коду: а) радіального; б) звичайного

Під час запису сфокусованим променем лазера знебарвлюються ділянки між люмінесцентними кільцями штрих-коду, різна товщина проміжних кілець забезпечується наближенням об'єктива лазера до поверхні диска й, таким чином, частковим розфокусуванням плями лазерного променя (рис. 4).

Для компенсації різниці в інтенсивностях сфокусованого та розфокусованого променя можна запропонувати варіювання інтенсивності лазера чи часу запису проміжних кілець. Альтернативним варіантом виступає запис широкої смуги, як такої, що складається з кількох вузьких смуг, — даний підхід справляє враження більш надійного та технологічно простого.

Зона пошкоджених секторів являє собою вузьке кільце у центрі оптичного диска, незасвічені ділянки якої вносять спотворення при зчитуванні корисного сигналу. Даний захисний елемент має бути безпосередньо пов'язаним з методикою програмного захисту: спеціально вбудований програмний код слідкує за ура-

женими секторами і у разі, якщо вони зчитуються, ідентифікує диск, як контрафактний та блокує його роботу. Тому нелегальне копіювання захищеного диска стає можливим лише за умови зламу захисної системи та внесенні змін тексту програми.

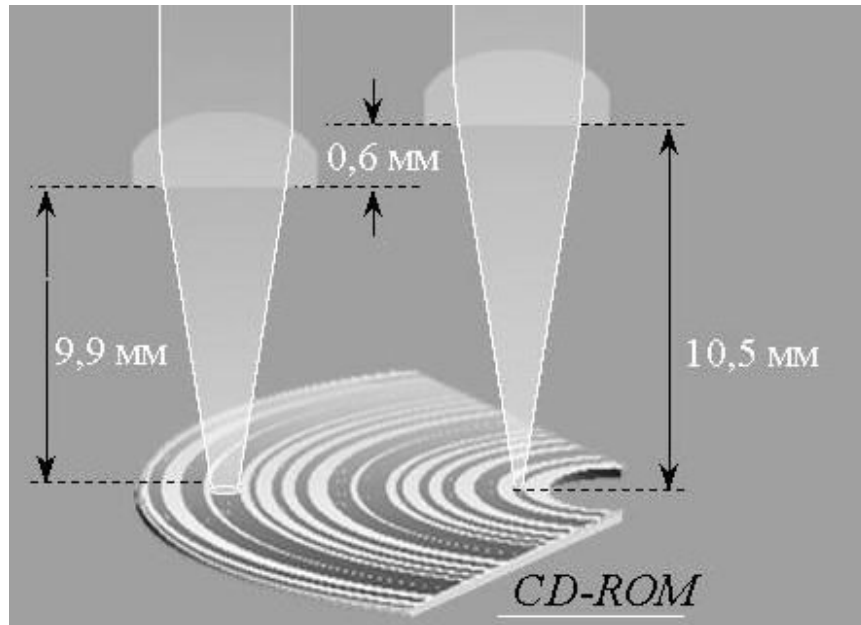


Рис. 4. Запис сфокусованим променем одновимірного люмінесцентного радіального штрих-коду

Структура двовимірного люмінесцентного радіального штрих-коду ідентична до структури пітів і лентів інформаційної зони оптичного диска; відмінність полягає лише у тому, що піти штрих-коду не дають сигналу, в той час як ленти люмінесцують при опроміненні. Такий штрих-код слід розглядати як додатковий міні-диск з ліцензійною інформацією, що може бути зчитаною пристроєм вбудованим у привід зчитування звичайних оптичних дисків. Процес зчитування люмінесцентного сигналу вимагає лише збільшення чутливості фотоприймачів у зв'язку з тим, що даний сигнал є просторово ізотропним та більш слабким ніж сигнал відбиття.

Усі операції по запису люмінесцентних захисних елементів може бути здійснено на одному пристрої, конструкція якого мало відрізняється від конструкції приводу запису оптичних дисків, у зв'язку з чим було запропоновано поєднання даних пристроїв. При цьому мається на увазі саме лазерний запис на поверхні вже підготовленого засобами поліграфії диска (з наявними RGB-тріадами та люмінесцентним шаром робочої поверхні). Комбінований пристрій міститиме принаймні три джерела світла: довгохвильове (видимого діапазону чи ІЧ) для запису захисних елементів та короткохвильове (видимого діапазону чи УФ) для зчитування двовимірного штрих-коду, перше з яких можна сумістити лазером для зчитування компакт-дисків, а друге зчитуватиме носії «Blu-Ray» та HDDVD; для DVD-носіїв знадобиться окремий лазерний діод. Іншою особливістю нанесення захисних еле-

ментів є потреба у фокусуванні лазерного променя у плями з різним діаметром; найбільша відстань від поверхні диска при цьому буде при записі мікротексту, пошкоджених секторів та елементів двовимірного люмінесцентного радіального штрих-коду, найменша — при записі широких кілець одновимірного люмінесцентного радіального штрих-коду. Як показують дослідження в області багат шарового запису, необхідність активного вертикального руху лінзи об'єктива викликає посилення негативних ефектів від несиметричних аберацій, і може вимагати внесення змін до оптико-механічної схеми пристрою, зокрема, використання спеціальних асиметричних лінз та оптичної системи Галілея [4]. Але математичне моделювання процесу нанесення люмінесцентних захисних елементів показало, що різниця між вертикальним рухом об'єктива при їхньому записі та рухом при зчитуванні інформації з двошарових дисків (DVD, HDDVD) є незначною. У таблиці наведені результати проведених розрахунків, які свідчать на користь припущення про те, що оптико-механічна схема комбінованого приводу не потребуватиме значної модернізації.

Рух оптичної голівки при зчитуванні інформації з оптичного диска та записі на його поверхні люмінесцентних захисних елементів

| Тип носія   | Числова апертура (NA) | Глибина інформаційного шару (мм) | Вертикальний рух оптичної голівки носія (мм) |  |
|---|-----------------------|----------------------------------|--|--|
|   |                       |                                  | при зчитуванні інформації                    | при записі люмінесцентних захисних елементів |
| <i>Компакт-диски CD-ROM (Compact Disc)</i>  |                       |                                  |  |  |
| <b>CD</b>   | 0,45                  | 1,2                              | 0,1  | 0,79 (↑0,73 – ↓0,06)                         |
| <i>Цифровий універсальний диск DVD (Digital Versatile Disc)</i>                                 |                       |                                  |  |  |
| <b>DVD5, DVD10</b>  | 0,6                   | 0,6                              | 0,05   | 0,54 (↑0,35 – ↓0,19)                         |
| <b>DVD9</b>   | 0,6                   | 0,6/1,2                          | 0,4  | 0,54 (↑0,35 – ↓0,19)                         |
| <b>DVD18</b>  | 0,6                   | 0,3 / 0,6                        | 0,22   | 0,54 (↑0,35 – ↓0,19)                         |
| <i>Цифровий універсальний диск високої ємності HD-DVD (High Density Digital Versatile Disc)</i> |                       |                                  |  |  |
| <b>HD-DVD15</b>   | 0,65                  | 0,6                              | 0,02   | 0,52 (↑0,34 – ↓0,18)                         |
| <b>HD-DVD30</b>   | 0,65                  | 0,6/1,2                          | 0,36   | 0,52 (↑0,34 – ↓0,18)                         |
| <i>Оптичний диск «Blu-ray» (Blu-ray Disc)</i>   |                       |                                  |  |  |
| <b>BR25</b>   | 0,85                  | 0,1                              | 0,02   | 0,24 (↑0,04 – ↓0,2)                          |
| <b>BR50</b>   | 0,85                  | 0,1/0,2                          | 0,26   | 0,24 (↑0,04 – ↓0,2)                          |

Варто зазначити, що запропонована методика запису захисних елементів на робочій поверхні диска повністю виключає можливість нелегального тиражування оптичних дисків шляхом дуплікації, що на сьогоднішній день є основною галуззю тіньового бізнесу оптичних носіїв. При лазерному записі штрих-коду та зони пошкоджених секторів неодмінно порушиться і шар барвника диска з одноразо-

вим записом, а записану інформацію буде втрачено. Таким чином, навіть за умови повного відтворення технологічного процесу нанесення люмінесцентних захисних елементів на шляху виробників контрафактної продукції виникнуть суттєві перепони, що полягають у необхідності фабричного тиражування носіїв інформації.

## Висновки

1. Стратегія, спрямована на подолання явища неліцензійного копіювання оптичних носіїв інформації, вимагає комплексного підходу, одним з найбільш важливих пунктів якого є розробка ідентифікаційних елементів.

2. Нанесення люмінесцентних захисних елементів може містити у собі широкий діапазон підходів, серед яких: візуальна ідентифікація якісного люмінесцентного зображення та мікротексту на обкладинці диска; зчитування ручним сканером одновимірного люмінесцентного штрих-коду; фізичний захист носія шляхом створення навмисно пошкоджених секторів; запис значних об'ємів ліцензійної інформації у двовимірному люмінесцентному штрих-кодi.

3. Фотополімери на основі композитних піразолінових барвників можуть розглядатися як ефективний матеріал для люмінесцентних захисних елементів. Серед переваг даного класу барвників: яскраве люмінесцентне світіння, широкий діапазон спектрів люмінесценції діапазону видимого світла, висока фоточутливість барвника при опроміненні сфокусованим лазерним світлом, стабільність оптичних характеристик.

4. Усі операції по запису люмінесцентних захисних елементів може бути здійснено на пристрої, подібному за конструкцією до приводу запису та зчитування оптичних дисків.

1. IFPI Enforcement Bulletin: June 2005 ([www.ifpi.org.ua](http://www.ifpi.org.ua)).

2. Беляк Е.В., Кравец В.Г., Крючин А.А., Косско И.А., Погодина А.А. Использование красителей с люминесцентным откликом для создания регистрирующих сред и защиты компакт-дисков // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2002. — Т. 4, № 3. — С. 15–22.

3. Пат. України № 66954, МПК<sup>6</sup> G11 B7/24. Спосіб захисту компакт-дисків з використанням люмінесцентного захисного шару / Кравец В.Г., Пригун О.В., Беляк Є.В., Крючин А.А. (Україна); Опубл. 2004; Бюл. № 6.

4. Ishikawa M., Kawata Y, Egami C., Sugihara O. and Okamoto N. Reflection-Type Confocal Readout for Multilayered Optical Memory // Opt. Lett. — 1998. — Vol. 23, N 23. — С. 1781–1783.

Надійшла до редакції 29.08.2006