

УДК 004.085

І. В. Косяк

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

Особливості побудови систем запису оптичних дисків високої щільності

Проведено аналіз і дослідження систем мастерингу оптичних дисків надщільного запису. Розглянуто особливості розробки та побудови систем для запису оптичних дисків високої щільності. Представлено умови підвищення щільності запису оптичних дисків.

Ключові слова: оптичний диск, мастеринг, диск-оригінал, запис інформації, формат запису, лазер.

Уперше практичне використання оптичного запису інформації було застосовано в 1972 році фірмою Philips, яка створила оптичний відеодиск (Video long play), що став прообразом сучасного оптичного диска форматів CD-Audio й CD-R. Наступним кроком стала розробка в 1978 році фірмою Philips оптичного диска з цифровим записом звуку. В 1982 році Philips і Sony представили новий стандарт лазерного диска — CD-DA (Compact Disk Digital Audio), що визначав спосіб запису й відтворення звуку та розміри нового носія: діаметр — 12 см, товщина — 1,2 см. У 1985 році ті ж самі Philips і Sony анонсували новий лазерний диск формату CD-ROM (Compact Disc Read-only memory), а в 1988 році формату CD-R (Compact Disc-Recordable).

У середині 1990 років рядом компаній велися розробки зі створення нового носія інформації високої щільності на основі технології CD. Першим розвитком цих робіт став стандарт DVD-Read-Only disks, представлений у 1997 році [1]. Стандарт детально викладав фізичні характеристики дисків, призначених для запису відео, аудіо і даних. Подальшим розвитком цих робіт стали перезаписувані диски DVD-RW й одноразово записувані диски DVD-R [1].

У червні 2002 був офіційно оголошений новий фізичний формат оптичної пам'яті 3-го покоління — Blu-ray-формат. У 2006 році розпочато серійний випуск приводів Blue-ray. Об'єм записаної інформації для одношарових дисків формату Blu-ray склав 25 Гб, двошарових — 50 Гб. У 2010 році випущено багатошарові диски запису BD-XL формату Blu-ray. Ємність тришарових дисків BD-XL склала 100 Гб і чотиришарових 128 Гб відповідно [2].

© І. В. Косяк

Треба зазначити, що існує ще одна оптична дискова система UDO (Ultra Density Optical), яка стоїть відокремлено від інших систем запису оптичної інформації. Оптичний дисковий запам'ятовуючий пристрій UDO було розроблено як заміну для 9,1 Гб магнітооптичних цифрових носіїв. Уперше про формат UDO було заявлено фірмою Sony 1 листопада 2000 року. Потім розвитком даної технології продовжила займатися компанія Plasmon. На цей час існують специфікації UDO і UDO2, які відрізняються інформаційним обсягом диска 30 і 60 Гб відповідно. UDO2 було введено у квітні 2007 року [3]. Недоліком оптичної дискової системи UDO є надмірна вартість як самих пристроїв, так і дисків порівняно з іншими.

З кожним роком неухильно зростають обсяги інформації в електронній формі та незмірно зростає швидкість обміну інформацією. Обсяги обробки та збереження інформації вже обчислюються сотнями і тисячами мегабайт. Таким чином, створення швидких і надійних пристроїв високої щільності запису завжди буде актуальним питанням.

Перспективними форматами запису оптичної інформації є формати надщільного запису Blu-ray та UDO, які дозволяють суттєво збільшити об'єми запису інформації, швидкість доступу та підвищити надійність збереження інформації.

У таблиці представлені для порівняння специфікації основних існуючих на сьогодні форматів оптичних дисків [1–7]. Такі важливі параметри як лінійна швидкість і швидкість передачі даних представлені для випадку швидкості запису-відтворення 1X.

Специфікації діючих форматів запису оптичних дисків

	CD	DVD	Blu-ray	UDO-30
Ємність	0,7 Гб	4,7 Гб	25 Гб	15 Гб сторона
Довжина хвилі лазера, [нм]	780	650	405 ± 5	405–410
Апертура	0,45	0,6	0,85	0,7
Товщина підкладки, [мм]	1,2	0,6 ± 0,03	0,1 ± 0,003	0,1 ± 0,005
Діаметр плями лазера, [мкм]	2,11	1,32	0,58	0,69
Крок доріжки, [мкм]	1,5	0,74 ± 0,01	0,32 ± 0,003	0,37 ± 0,02
Похибка фокусування, [нм]	≤ 500	≤ 200	≤ 45	≤ 300
Радіальна похибка, [нм]	≤ 100	≤ 22	≤ 9	≤ 40
Лінійна швидкість, [м/с]	1,2 ± 0,01	3,49 ± 0,03	4,92	35 Гц
Мін. розмір пітів, [мкм]	0,82	0,4	0,149	≈0,3
Щільність запису, [Мб/см ²]	7,94	53,7	285,4	150,3
Канальна модуляція, біт	14	16 RLL(2,10)	17 PP	RLL(1,7)
Швид. передачі даних, [Мб/с], [Мбіт/с]	0,176 1,408	1,26 10,08	4,496 35,965	12 макс. 96 макс.
Канальна швидкість, [Мбіт/с]	4,3218	26,15625	66,000	?

Продовження таблиці

Радіальні биття, [мкм]	≤ 140	≤ 100	≤ 75	?
Осьові биття, [мкм]	≤ 500	≤ 300	≤ 300	≤ 50
Тривалість канального біта 1 Т, [нс]	231	38,3	15	?
Довжина канального біта, [мкм]	0,273	0,133	0,074	?

Основою для виробництва компакт-дисків будь-яких форматів є станції лазерного запису, які забезпечують рельєфний запис дисків-оригіналів для оптичної пам'яті, і є одними з найбільш складних сучасних оптико-електронних систем.

Аналіз досліджень і публікацій [1–21] свідчить про те, що висвітленню проблеми побудови та роботи станцій лазерного запису приділяється надто мало уваги. В доступній літературі є тільки повідомлення про створення таких станцій (систем мастерингу) відомими компаніями, де зазначаються їхні стислі характеристики. Інформація про технологічні особливості й тонкощі їхньої побудови залишається недоступною і закритою. Вартість таких систем мастерингу перебуває в межах \$2–5 млн. Тому для створення вітчизняної станції лазерного запису необхідно було вирішити складне науково-технічне завдання.

В Інституті проблем реєстрації інформації НАН України створена єдина діюча станція лазерного запису в Україні. Актуальною задачею залишається вдосконалення її роботи та дослідження нових принципів її побудови. Дана робота присвячена аналізу та дослідженню систем мастерингу оптичних дисків надщільного запису та можливості реалізації системи запису оптичних дисків високої щільності.

Умови підвищення щільності запису оптичних дисків

Межа роздільності оптичного запису обумовлена дифракцією світла, що визначає мінімальний діаметр плями у фокальній площині. При визначенні дифракційної межі роздільності використовується умовний критерій Релея

$$d = \frac{1,22 \cdot \lambda}{NA},$$

де d — діаметр плями лазера; λ — довжина хвилі лазера; NA — апертура об'єктива.

Є два критерії визначення діаметра плями лазера: діаметр за рівнем половинної потужності лазера в центрі картини розподілу інтенсивності та діаметр першого темного кільця d на круговій картині розподілу інтенсивності, відомої як диск Ейрі [8]. Коефіцієнт 1,22 в критерії Релея є наслідком сприйняття зору людини. Оскільки чутливість фоторезисту відрізняється від чутливості очей, то замість 1,22 повинен використовуватись інший коефіцієнт k . Зазвичай для фоторезисту $k \approx 0,8$. Таким чином, роздільність (або мінімальний розмір запису пітів) приблизно дорівнює λ . Але в переважній більшості випадків, при визначенні діаметра плями лазера, використовують $k \approx 1,22$. У таблиці показані для порівняння діаметри плями лазера для різних систем запису оптичних дисків, які відповідні

діаметру першого темного кільця d на круговій картині розподілу інтенсивності при $k \approx 1,22$.

Для збільшення роздільності оптичного запису (тобто зменшення величини d) використовують:

- зменшення довжини хвилі світла, λ ;
- збільшення апертури об'єктива, NA ;
- зміни характеристик фоторезисту, k ;
- високороздільчу оптичну систему.

Два основні підходи до зменшення розміру плями лазера — зменшення λ та збільшення NA , тим не менш, мають суттєві проблеми. По-перше чутливість матеріалу фоторезисту, яким покривають диск-оригінал, залежить від довжини хвилі джерела світла, а по-друге апертура об'єктива не може бути більшою $NA = 0,9-0,95$. З підвищенням апертури об'єктива зменшується глибина фокуса оптичної системи, що суттєво підвищує вимоги до системи автофокусування та якості виготовлення диска-оригіналу. Для значного підвищення апертури NA застосовують твердотільну та рідку імерсію, що ускладнює загалом конструкцію системи запису оптичних дисків.

Під зміною характеристик фоторезисту слід розуміти збільшення контрасту зображення плями. Для збільшення контрасту чутливість фоторезисту до впливу лазерного випромінювання повинна бути нелінійною — слабка чутливість до малих значень інтенсивності та сильна до великих.

Зменшення розмірів плями лазера також досягають застосуванням високороздільних оптичних систем, за допомогою яких формується просторовий профіль лазерного променя, що призводить до розподілу інтенсивності в дифракційному зображенні плями лазера [9–12]. Для побудови високороздільної оптичної системи використовують аподизацію, просторові фільтри, маски, дифракційні решітки, оптичні призми.

У роботі [10] наведено розроблену високороздільну оптичну систему для мас-терингу і результати проведених експериментів. Показано, що при використанні лазера $\lambda = 405$ нм і об'єктива з апертурою $NA = 0,95$ за допомогою оптичної системи отримано діаметр плями лазера 223 нм. У даній оптичній схемі використано дворівневий коліматор. На першому рівні розміщено просторовий фільтр з діаметром отвору 20 мкм, на другому — з діаметром отвору 2 мкм. На думку авторів їхній метод збільшення роздільності оптичного запису, порівняно з традиційними, є більш простим і зручним для повторення у виробництві.

Аналіз систем запису оптичних дисків-оригіналів високої щільності

Однією з великих переваг оптичних дисків, як CD, DVD так і Blu-Ray є простота і низька вартість тиражування дисків. Мастеринг оптичних дисків є ключовим кроком у створенні штампа, з яких ROM (read-only memory) диски копіюються.

На сьогоднішній день для запису оптичних дисків-оригіналів високої щільності або мастерингу оптичних дисків доступні 3 системи, які відрізняються способами запису і різними технологічними підходами. До дисків високої щільності насамперед відносяться диски форматів Blu-Ray та DVD. Згідно специфікації на

формат Blu-Ray мінімальні розміри пітів становлять 149 нм (для формату BDXL — 112 нм) і крок доріжки 320 нм [2]. Для запису пітів таких малих розмірів були розроблені інноваційні технології, завдяки яким створено наступні масте-ринг-системи:

- система з глибоким ультрафіолетовим опроміненням і з рідкою імерсією;
- система з фазовим переходом (Phase Transition Mastering system — PTM);
- система електронно-променевого мастерингу (Electron Beam Mastering).

В основу системи мастерингу з рідкою імерсією (*deep-UV liquid immersion mastering system*) покладено ідею, яка використовується в імерсійних мікроскопах — введення між об'єктивом мікроскопа і предметом досліджень рідини для посилення яскравості й розширення меж збільшення зображення. Для використання рідини в динамічних системах, таких як мастеринг, необхідна підтримка стабільної рідкої плівки між об'єктивом і рухомим диском-оригіналом. Це досягається за рахунок локальної підтримки водяної плівки між передньою лінзою об'єктива і фоторезистом, розміщеним на диску-оригіналі, що обертається (рис. 1).

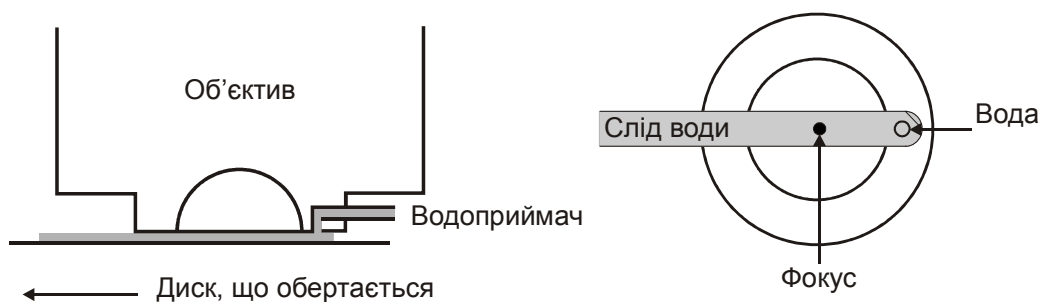


Рис. 1. Схематика ідеї застосування рідкої імерсії у мастерингу

Як імерсійна рідина використовується вода, яка є прозорою для глибокого ультрафіолету і сумісна з фоторезистом та його подальшою обробкою (процес травлення) [13]. Показано, що апертура при цьому становить $NA \approx 1,2$. Вода постійно подається через отвір водоприймача (рис. 1) під достатньо високим тиском, щоб уникнути включень газу. Коли об'єктив перебуває у фокусі, слід від води, має, як правило, товщину 7 мкм і ширину 200 мкм при лінійній швидкості до 5 м/сек. Ці розміри слідів води призводять до мінімального споживання рідини і обмежують зусилля, що надаються на об'єктив водою. Для видалення води є окремий пристрій, розташований нижче за течією від об'єктива.

Система мастерингу з глибоким ультрафіолетовим опроміненням і з рідкою імерсією «LBR 266 mastering system» формату Blu-Ray була розроблена фірмою *Philips Optical Disc Technology Centre* [13] і створена зусиллями співробітників *Singulus Mastering B.V.* в 2005 році [14]. В системі «LBR 266 mastering system» застосовано лазер з довжиною хвилі 266 нм, і вона здатна записувати необхідні структури розміром до 150 нм у довжину. Для отримання опромінення з довжиною хвилі 266 нм було використано твердотільний лазер з довжиною хвилі 532 нм зі складною схемою включення зовнішніх резонаторів і фазового модулятора.

Головним недоліком систем мастерингу з рідкою імерсією є поява невідповідних канальному коду NRZI пітів, що пов'язано з присутністю в струмені води

розчинених пухирців атмосферних газів, які призводять до появи помилок в інформації при зчитуванні диска. Основна проблема застосування рідинної імерсії в мастеринг системах полягає в підтримці стабільної рідинної плівки між нерухомим об'єктивом і рухомим диском-оригіналом.

Система мастерингу з фазовим переходом (PTM-мастеринг) використовує спосіб запису на диску-оригіналі малих структур (пітів) за допомогою теплового впливу лазерного випромінювання на фоторезист замість світлового впливу при фотохімічному процесі. Основна ідея цього способу полягає у використанні спеціального неорганічного матеріалу, якому властивий фазовий перехід від аморфного до кристалічного стану під дією лазерного випромінювання. [2]. В системі мастерингу з фазовим переходом, на відміну від системи мастерингу з глибоким ультрафіолетовим опроміненням і з рідкою імерсією, використовується напівпровідниковий лазер з довжиною хвилі 405 нм.

Зміна фази стану неорганічного фоторезисту викликана тепловим ефектом реакції. Тільки ті ділянки фоторезисту, які нагріваються вище порогової температури реагують на лазерний промінь і кристалізуються. В цьому полягає суть PTM-мастерингу — записані розміри структур менше ніж розміри сфокусованої плями лазера (рис. 2). Тонкий кремнієвий шар 100 нм [15] використовується як підкладка на диску-оригіналі для розпилення неорганічного матеріалу, в основному через його помірну теплопровідність, яка не набагато більша, ніж у звичайних стеклах для майстер дисків [2]. Опромінені (або кристалізовані) ділянки неорганічного резисту розчиняються у стандартному проявнику для органічних фоторезистів. Однак тепловий ефект вимагає прийняття особливих заходів для підтримання постійної ширини записаних пітів, корегуючи потужністю лазерного випромінювання відповідною модуляцією каналного коду.

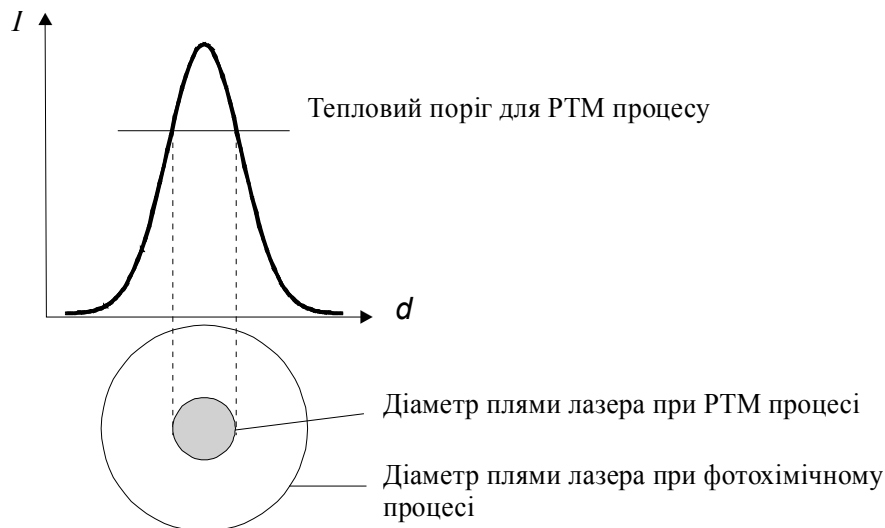


Рис. 2. Розміри плями сфокусованого лазерного променя при фотохімічному і термічному процесях

Як неорганічний фоторезист застосовується композиційний матеріал на основі сульфїду цинку й оксиду кремнію $ZnS-SiO_2$ [15].

У рекордері системи мастерингу з фазовим переходом (PTM) використовується об'єктив з апертурою 0,95. Оптична головка й електроніка приводів для лазерної системи PTM дуже схожі на ті, які використовуються в рекордерах Blu-Ray. Можливе застосування різних багатоімпульсних стратегій для поліпшення якості сигналу. Процес зміни фази супроводжується зміною відбивної здатності. Таким чином, процес запису можна спостерігати за зміною відбивної здатності й швидко визначати оптимальні умови запису. Це є ключовою особливістю PTM-систем.

Система мастерингу з фазовим переходом «PTR-3000» була розроблена *Sony Disc Technology Inc.* у 2004 році. Спосіб формування пітів за допомогою PTM-мастерингу дозволив скоротити число виробничих процесів з 11 до 5 [16]. Ця система виявилася найбільш досконалою і менш кошторисною для виготовлення штампів [2]. Фірма *Singulus Mastering B.V.* створила свою PTM-мастеринг-систему «Singulus Crystalline» у 2007 році [15].

У PTM-процесі використовуються кремнієві пластини у вигляді тонкого шару та неорганічний фоторезист, що дозволяє зробити матриці безпосередньо після проявлення кремнієвих пластин. Крім того, оскільки неорганічний фоторезист твердий і надійний, можна тиражувати оригінальні матриці шляхом реплікації більше 10 разів без погіршення якості сигналу.

У такий спосіб PTM є ідеальною системою як для масового виробництва дисків, так і для дослідницьких розробок.

У системі електронно-променевого мастерингу для збільшення роздільності оптичного запису замість лазера використовується джерело електронних пучків. Основна ідея та принцип роботи електронно-променевої системи були розроблені *Pioneer Corporation*. Електронний пучок випромінюється емітером (катодом) електронів і фокусується на поверхні диска двома лінзами, прискорювальна напруга при цьому досягає 50 кВ. Такий високоенергетичний пучок ефективно знижує розсіювання електронів у фоторезисті і дозволяє записувати структури розміром 50 нм [17]. Діюча промислова установка системи електронно-променевого мастерингу «EBR-200» була створена компанією *Obducat Inc.* у двох варіантах: для науково-дослідних робіт і виробництва мастер-штампів для оптичних дисків високої щільності [18].

Головною складовою в системі електронно-променевого мастерингу є електронно-променева колонка (рис. 3). Вона складається з випромінювача електронних пучків — емітера, виробленого із гексабориду лантану (LaB₆), електронної оптики, двох апертур, запираючого електрода, високошвидкісного дефлектора, системи фокусування.

Максимальна частота повторення імпульсів 25 МГц. Дефлектор керує положенням променя в радіальному та тангенціальному напрямках до 400 нм зі смугою пропускання в 50 МГц. Він використовується для контролю ширини лінії шляхом відхилення в радіальному напрямку [19].

Але на сьогоднішній день залишаються ключовими питання щодо ефективності використання системи електронно-променевого мастерингу для запису формату Blu-Ray. Це викликано насамперед уповільненою швидкістю запису, яка триває майже 10 год. [2]. Лінійна швидкість запису коливається в межах 0,4–0,9 м/с проти лінійної швидкості 1X формату Blu-Ray 4,92 м/с, яка використовується на інших системах мастерингу. Повільна швидкість запису пояснюється неефек-

тивною системою модуляції каналним кодом електронного пучка, яка здійснюється за допомогою пари пластин анода з часом наростання фронту імпульсу близько 10 нс [17], а тривалість найкоротшого сигнального піта 2Т формату Blu-Ray 30 нс. Для отримання необхідної геометрії записаних пітів і уповільнюють швидкість запису майже в 10 раз.

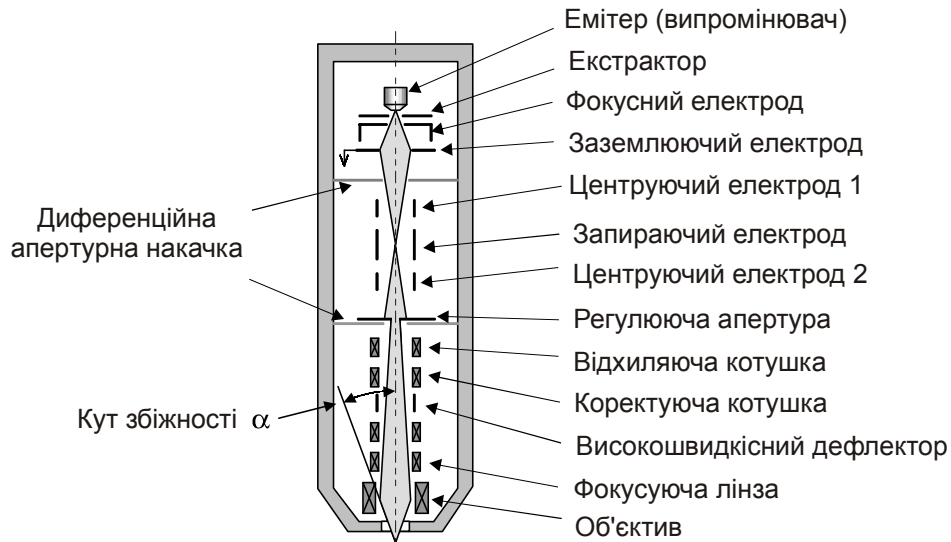


Рис. 3. Електронно-променева колонка

Перспективним напрямом використання систем електронно-променевого мастерингу є їхнє використання при створенні твердих дисків (HDD) із щільністю запису вище 1 Тбіт/дюйм для попередньої розмітки доріжок [19].

Слід також згадати ще про одну систему запису оптичних дисків-оригіналів високої щільності, що тільки розвивається, систему термічного запису або лазерної термічної літографії [20–22]. У системі термічного запису використовується спосіб запису на диску-оригіналі за допомогою теплового впливу лазерного випромінювання, що подібний до системи мастерингу з фазовим переходом. Записані розміри структур менше ніж розміри сфокусованої плями лазера. Головна відмінність полягає у використанні нового органічного фоторезисту (терморезисту), який під дією теплового впливу лазерного випромінювання локально випаровується. Таким чином, процес проявлення диска-оригіналу після запису відсутній. У роботі [20] повідомляється, що отримано розміри пітів 40 нм при запису лазером з довжиною хвилі 405 нм і апертурою 0,85. В іншій роботі [22] експериментально отримано сформовані структури розмірами 100–150 нм при запису лазером з довжиною хвилі 650 нм і апертурою 0,65.

Недоліком даного способу запису дисків-оригіналів є широкі коливання розмірів записаних структур, унаслідок навіть незначних коливань потужності випромінювання лазера і нелінійній чутливості терморезисту. Цей спосіб вимагає особливих стратегій запису, формування модуляційного сигналу і надзвичайно високої стабільності випромінювання лазера. На сьогоднішній день спосіб термічного запису практичного застосування в системах мастерингу не знайшов.

Розробка системи запису оптичних дисків високої щільності

Побудова систем запису оптичних дисків високої щільності, таких як DVD і Blu-Ray, вимагає проектування нового обладнання та створення дуже низького механічного зв'язку між системою і зовнішнім оточуючим середовищем. На рис. 4 представлено узагальнену схему діючої станції лазерного запису оптичних носіїв інформації. При переході на нові формати запису DVD і Blu-Ray на станції лазерного запису було виконано розробку нових системних блоків. Для усунення небажаних механічних коливань оптико-механічний блок розташований на гранітній плиті, яка тримається на спеціальних опорах.

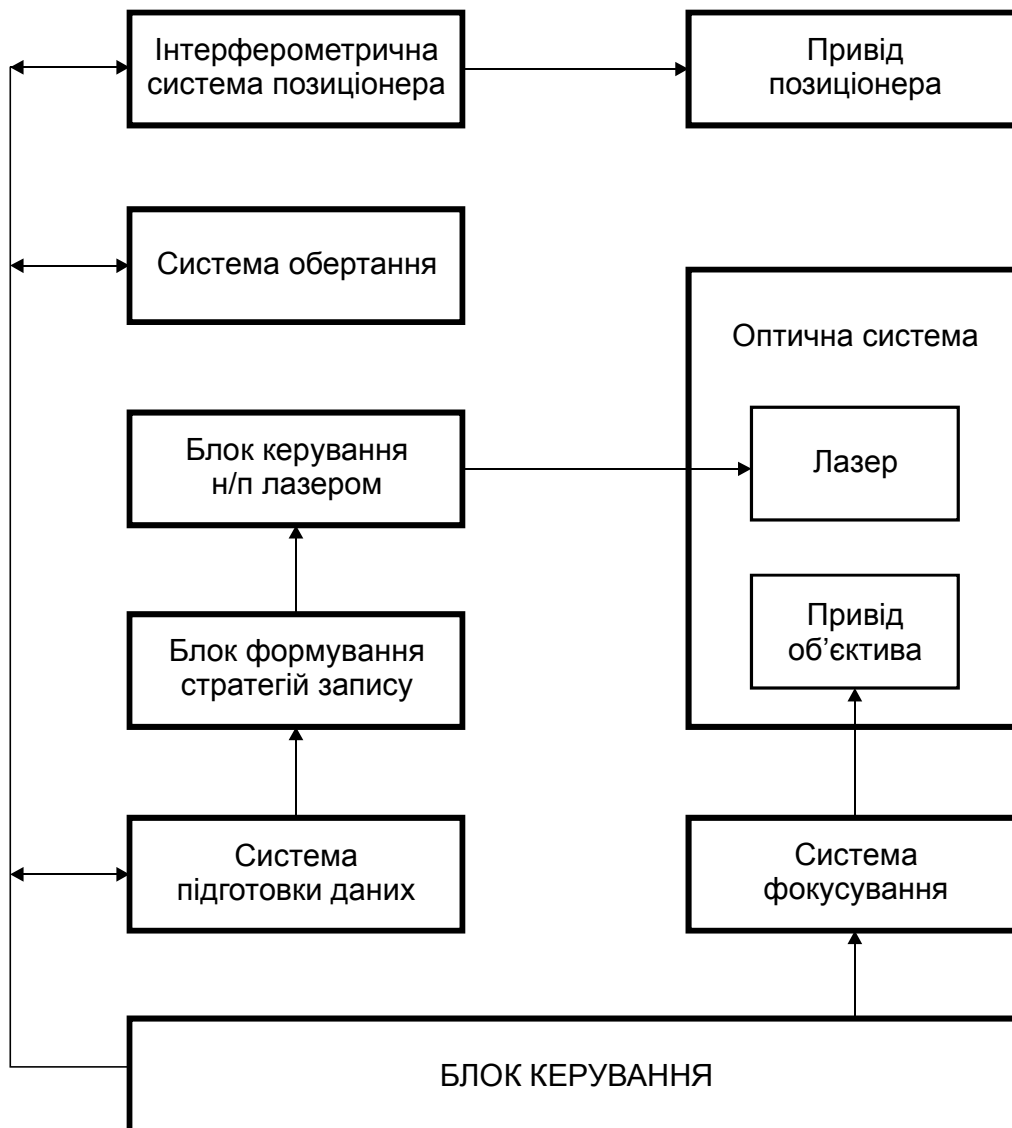


Рис. 4. Узагальнена функціональна схема станції лазерного запису

У приводах систем обертання і позиціонування застосовуються аеростатичні опори, які завдяки відсутності тертя і вібрацій мають підвищену точність обертання й переміщення та мінімальне радіальне биття.

З метою підвищення точності виміру координати руху позиціонера було розроблено нову схему управління приводом позиціонера. Система приводу позиціонування станції лазерного запису призначена для утримання променя лазера в радіальному напрямку відповідно до закону обертання диска-оригіналу. При цьому необхідно вимірювати лінійні переміщення з точністю до десятих часток нанометра й динамічну точність керування масою позиціонера в десятки кілограм до одиниць нанометрів. Для вирішення цього завдання був розроблений лазерний цифровий інтерференційний далекомір з абсолютним відліком координати й точністю $\leq 0,6$ нм. Обробка інтерференційних сигналів виконана на програмному рівні [23]. Вимірювальна система приводу позиціонера побудована на основі синусно-косинусного інтерполятора з системою стеження [24]. За специфікацією стандарту Blu-Ray радіальна похибка стеження за доріжкою повинна бути ≤ 9 нм [2].

У системах мастерингу при запису дисків-оригіналів форматів Blu-ray і DVD істотно підвищуються вимоги до системи автоматичного регулювання фокусування. Це пов'язано через більш високу точність утримання точки фокуса на реєструвальній поверхні диска, збільшення швидкості запису і досить великої маси фокусуємого об'єктива, який має високу жорсткість своєї підвіски у виконавчому елементі сервоприводу, що обумовлена вимогами до відсутності перекосів при переміщенні.

Для запису структур пітів розмірами менш ніж 0,5 мкм необхідно використовувати фокусуєчі об'єктиви з числовою апертурою $NA = 0,85-0,95$. Зменшення довжини хвилі лазера і збільшення апертури веде до зменшення глибини фокуса оптичної системи $\Delta z = \pm \lambda / 2NA^2$. При використанні об'єктива з апертурою $NA = 0,85$ і довжини хвилі лазера $\lambda = 405$ нм глибина фокуса буде становити $\pm 0,28$ мкм. Для порівняння глибина фокуса при використанні формату CD становить $\pm 1,9$ мкм. Вертикальні биття диска, що перевищують глибину фокуса, приводять до викривлень записуваних мікрорельєфних структур. При запису формату Blu-ray залишкова середньоквадратична помилка автофокусування не повинна перевищувати 32 нм [2].

Враховуючи зазначені вище вимоги в розробленій системі фокусування для підвищення її динамічних властивостей застосовано, як виконавчий пристрій, замість традиційного електромагнітного п'єзоелектричний механізм. Результати досліджень показали, що п'єзоелектричний сервопривід системи автоматичного фокусування має на порядок більшу швидкодію [25].

Для підвищення надійності роботи системи фокусування в складі станції лазерного запису застосовується окремий лазер довжиною хвилі 650 нм. Промінь цього лазера введено в оптичний канал запису. Цей лазер працює на довжині хвилі, до якої фоторезист не чутливий.

У зв'язку з істотним зменшенням розмірів пітів із 820 нм (формат CD) до 149 нм (формат Blu-Ray) підвищуються вимоги до стабільності параметрів роботи лазера та пристрою керування лазером. Сфокусований промінь лазера повинен мати мінімальні аберації (кома, дефокусування, астигматизм). Відмінність випромінювання лазера від гауссова пучка повинна бути мінімальною. Для вирішення цих

вимог був розроблений пристрій керування напівпровідниковим лазером довжиною хвилі 405 нм [26]. Наявність в створеному пристроєві керування напівпровідниковим лазером можливості регулювання опорного струму (Bias) забезпечує більш широкі можливості використання різних реєструвальних матеріалів на основі барвників для диска-оригіналу.

Експериментальні результати

Проведені експериментальні записи дисків-оригіналів на вдосконаленій станції лазерного запису оптичних носіїв інформації. Як реєструвальні середовища використовувалися стандартний органічний фоторезист, дослідні зразки реєструвального шару з органічного фоторезисту з додаванням поліметинових барвників, експериментальні зразки неорганічних фоторезистів на основі халькогенідних склоподібних напівпровідників спеціально створених для використання в системах мастерингу з фазовим переходом [27, 28]. Для одержання мікрорельєфу на поверхні диска-оригіналу з неорганічним фоторезистом після запису було застосовано селективне хімічне травлення. Після проведеного експерименту з оптичного запису інформації на такому реєструвальному шарі було отримано розміри ширини пітів, що становлять 400 нм (рис. 5). Результати запису на органічному фоторезисті показали ширину пітів ≈ 450 нм.

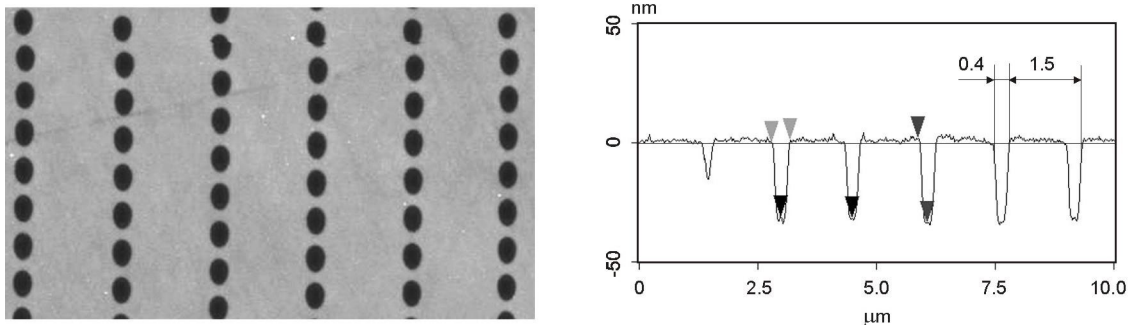


Рис. 5. Зображення пітів, отримане після запису на неорганічному фоторезисті на основі халькогенідних склоподібних напівпровідників

Аналіз результатів записів дисків-оригіналів, проведених на станції лазерного запису, показав, що для зменшення розмірів пітів необхідне подальше вдосконалення оптичної системи із застосуванням інших об'єктивів для формування більш вузького променя лазера. Також краще робити записи на органічному фоторезисті з використанням висококонтрастного проявника.

Висновок

Проведено аналіз і дослідження систем мастерингу оптичних дисків високої щільності. Показано, що система мастерингу з фазовим переходом є найбільш перспективною системою для масового виробництва дисків високої щільності формату Blu-ray. Розглянуто особливості розробки та побудови систем для запису оп-

тичних дисків високої щільності. Представлено умови підвищення щільності запису оптичних дисків.

Для зменшення розмірів ширини пітів до 300 нм потрібне подальше вдосконалення оптичної системи. Для отримання пітів з розмірами 150 нм і менше необхідно використовувати як реєструвальні середовища неорганічні фоторезисти на основі халькогенідних склоподібних напівпровідників і розвивати стратегії запису.

1. *120 mm DVD — Read-Only Disk*. — Standard ECMA-267. — [3-rd ed.]. — April 2001.
2. *White Paper Blu-ray Disc Format — 1.C Physical Format Specifications for BD-ROM / Blu-ray Disc Association*. — [8-th ed.]. — December 2012.
3. *Data Interchange on 130 mm Rewritable and Write Once Read Many Ultra Density Optical (UDO) Disk Cartridges — Capacity: 60 Gbytes per Cartridge — Second Generation*. — Standard ECMA-380. — [1-th ed.]. — December 2007.
4. *Bernhard Wondra Next Generation Disc Mastering with 375 and 405 nm Diode Lasers / Bernhard Wondra, Harald Rossmeier // TOPTICA Photonics AG*. — A-1003, January 2007.
5. *Yamamoto M. The Technology Innovation in Optical Disc Mastering / M. Yamamoto*. — Sony Corporation. — Oct. 21, 2003.
6. *Van de Nes A.S. High-density Optical Data Storage / Van de Nes A.S., Braat J.J.M., Pereira S.F. // Reports On Progress In Physics*. — 2006. — Vol. 69. — P.2323–2363.
7. *Data Interchange on Read-Only 120 mm Optical Data Disks (CD-ROM)*. — Standard ECMA-130. — [2-nd ed.]. — June 1996.
8. *Оптические дисковые системы / Боухьюз Г., Браат Дж., Хейсер А. [и др.]: пер. с англ. под ред. М.Ф. Стельмаха*. — М.: Радио и связь, 1991. — 280 с.
9. *Walker E. Beam Shaping for Optical Data Storage / Walker E., Milster T. // Proc. SPIE*. — 2001/10. — Vol. 4333. — P. 73–92.
10. *Super-Resolution Optical Mastering System Using Blue Laser and High-Numeric Aperture Lens / Xiaodong Fan, Duanyi Xu, Guosheng Qi [et al.] // Proc. SPIE. Advances in Optical Data Storage Technology*. — 2005. — Vol. 5643. — P. 160–164.
11. *Ultra Long High Resolution Beam by Multi-Zone Rotationally Symmetrical Complex Pupil Filter / Yingshun Xu, Janak Singh, Colin J. R. Sheppard, Nanguang Chen // Opt. Express*. — 2007. — Vol. 15. — P. 6409–6414.
12. *Пат. США N 7330418, МПК G 11 B 5/09. Method of Adjusting Laser Spot Size for Reading and Recording Information from Optical Recording Medium in Accordance with Track Pitch / Kazuhiko Nakane; опубл. 27.11.2001*.
13. *Liquid Immersion Deep-UV Optical Disc Mastering for High Data Capacity ROM discs / Neijzen Jaap H.M., Meindersb Erwin R., Boamfaa Marius I., Dianyong Chenc // Proc. SPIE. Seventh International Symposium on Optical Storage*. — 2005. — Vol. 5966.
14. *LBR 266 — Mastering Technology for High Density Formats: Already in the Market // Special Issue Media-Tech Showcase & Conference*. — September, 2005.
15. *Jelm Franse. Singulus Mastering CrystalLine. High Density Format Inline Mastering System / Jelm Franse // Media-Tech Showcase & Conference*. — March 6–7, 2007.
16. *Phase Transition Mastering*. — URL: <http://www.sonydad.com/inc/tech/ptm.html>.

17. *Practical Electron Beam Recorder for High-Density Optical and Magnetic Disk Mastering* / H. Kitahara, Y. Kojima, M. Kobayashi [et al.] // *Japanese Journal of Applied Physics*. — 2006. — Vol. 45. — P. 1401–1406.
18. *Fabrication of Optical Disk Mastering Using Electron Beam and Embossing Process* / C.T. Pan, S.C. Lo, J.C. Yang, Y.J. Chen // *Optical and Quantum Electronics*. — 2007. — Vol. 39. — P. 693–705.
19. *Electron Beam Recorder for Patterned Media Mastering* / Hiroaki Kitahara, Yuhei Uno, Hiroaki Suzuki [et al.] // *Japanese Journal of Applied Physics*. — 2010. — Vol. 49. — P. 06GE02-1–06GE02-9.
20. *Jingsong Wei. Super-Resolution Nanopatterns and Optical Recording in Chalcogenide Phase Change Thin Films by Direct Laser Writing* / Jingsong Wei, Xinbing Jiao // *Proc. SPIE. Eighth International Symposium on Optical Storage and 2008 International Workshop on Information Data Storage*. — 2009. — Vol. 7125. — P. 712505-1–712505-5.
21. *Nanoscale Fabrication Using Thermal Lithography Technique With Blue Laser* / Chung Ping Liu, Yao Xian Huang, Che Chuan Hsu [et al.] // *IEEE Transactions on Magnetics*. — 2009. — Vol. 45. — P. 2206–2208.
22. *405 nm Laser Thermal Lithography of 40 nm Pattern Using Super Resolution Organic Resist Material* / Y. Usami, T. Watanabe, Y. Kanazawa [et al.] // *Applied Physics Express*. — 2009. — 2. — P. 126502-1–126502-3.
23. *Пути совершенствования характеристик запоминающих устройств большой емкости* / В.В. Петров, А.А. Крючин, А.И. Брицкий [и др.] // *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*. — 2010. — Т. 12, № 2. — С. 12–24.
24. *Косяк І.В. Удосконалення вимірювальної системи приводу позиціонера станції лазерного запису* / І.В. Косяк // *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*. — 2008. — Т. 10, № 2. — С. 83–86.
25. *Бріцький О.І. Шляхи вдосконалення сервопривода системи автоматичного фокусування станції лазерного запису оптичної інформації* / О. І. Бріцький, В. О. Атаєв, В. М. Христін // *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*. — 2007. — Т. 9, № 4. — С. 107–118.
26. *Косяк І.В. Система записи оптических дисков высокой плотности* / І.В. Косяк // *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*. — 2012. — Т. 14, № 3. — С. 12–19.
27. *Крючин А.А. Анализ методов получения наноразмерных рельефных структур на поверхности носителей информации* / А.А. Крючин, С. А. Костюкевич // *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*. — 2010. — Т. 12, № 1. — С. 3–11.
28. *Реєструвальні матеріали для лазерної термолітографії* / А.А. Крючин, В.М. Рубіш, С.О. Костюкевич [та ін.] // *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*. — 2012. — Т. 14, № 3. — С. 3–11.

Надійшла до редакції 13.03.2014