

УДК 004.085

**І. В. Косяк**

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

## **Керування напівпровідниковим лазером у системах запису оптичних дисків**

*Проведено аналіз принципів побудови систем управління напівпровідниковим лазером. Розглянуто особливості управління напівпровідниковим лазером для системи запису оптичних дисків. Запропоновано реалізацію пристрою управління напівпровідниковим лазером довжиною хвилі 405 нм для запису форматів Blu-ray, DVD і CD.*

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

Першим практичним диском оптичного запису інформації був оптичний відеодиск (Video long play), створений у 1972 році фірмою Philips. А вже в 1982 році Philips і Sony представили новий стандарт лазерного диска — CD-DA (Compact Disk Digital Audio), що визначав спосіб запису та відтворення звуку і розміри нового носія: діаметр — 12 см, товщина — 1,2 см. У 1985 році тіж 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) [1]. Наступним кроком стала розробка у 1997 році стандарту DVD-Read-Only disks [2], і в подальшому диски DVD-RW й одноразово записувані диски DVD-R.

У 2006 році розпочався серійний випуск оптичних дисків і приводів нового фізичного формату оптичної пам'яті 3-го покоління — формату Blu-ray. Об'єм записаної інформації для одношарових дисків формату Blu-ray склав 25 Гб, двошарових 50 Гб. У 2010 році випущено багатшарові диски запису BD-XL формату Blu-ray. Ємність тришарових дисків BD-XL склала 100 Гб і чотиришарових 128 Гб відповідно [3].

Однією із основних переваг оптичних дисків CD, DVD, а тепер і Blu-Ray, є простота та низька вартість тиражування дисків. Мастеринг оптичних дисків є ключовим кроком у створенні штампів, з яких диски ROM (read-only memory) копіюються.

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.

© І. В. Косяк

Аналіз досліджень і публікацій [2–13] свідчить про те, що висвітленню проблеми побудови та роботи станцій лазерного запису приділяється досить мало уваги. У доступній літературі є тільки повідомлення про створення таких станцій відомими компаніями, де відзначаються їхні короткі характеристики. Вартість систем мастерингу перебуває в межах \$2–5 млн.

Інформація про технологічні особливості та тонкощі їхньої побудови залишається недоступною і закритою. Тому для створення вітчизняної станції лазерного запису необхідно розв'язати складне науково-технічне завдання.

В Інституті проблем реєстрації інформації НАН України була створена єдина діюча станція лазерного запису в Україні. Актуальним завданням залишається вдосконалення її роботи та дослідження нових принципів її побудови. Дана робота присвячена аналізу та дослідженню побудови пристрою керування напівпровідниковим лазером довжиною хвилі 405 нм для систем запису оптичних дисків високої щільності.

### **Аналіз вимог до джерела імпульсного лазерного випромінювання**

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:

— мінімальне значення джиттера. Самий короткий піт *Blu-Ray* має довжину 149 нм. Трестіння фази модулюючого сигналу може змінити довжину, початкове та кінцеве положення піта, що призведе до розсинхронізації і, як наслідок, спотворення переданої інформації.

— якість променя лазера. Мінімальні аберації (кома, дефокусування, астигматизм). Відмінність випромінювання лазера від гауссова пучка повинна бути мінімальною.

— багаторівнева потужність випромінювання лазера при запису. Застосовуючи різні рівні потужності у формуванні імпульсів каналного кодування, домагаються оптимальних форм і розмірів записуваних пітів для надійного зчитування інформації з диска.

— стабільність потужності випромінювання лазера. Будь-яке коливання потужності негайно призводить до різної ширини записуваних пітів.

### **Реалізація пристрою керування напівпровідниковим лазером довжиною хвилі 405 нм**

При побудові системи запису оптичних дисків високої щільності, зокрема форматів CD, Blu-ray і DVD, виникає необхідність у розробці блоку пристрою керування напівпровідниковим лазером довжиною хвилі 405 нм, який забезпечуватиме необхідну за параметрами форматів CD, Blu-ray і DVD модуляцію лазерного випромінювання на станції лазерного запису. Швидкість модуляції оптичного випромінювання напівпровідникового лазера для формату Blu-ray дорівнює 66 Мбіт/с.

Необхідне керування напівпровідниковим лазером забезпечується схемотехнічними прийомами та засобами. Потужність випромінювання  $P_L$  напівпровідни-

кового лазера чітко залежить від струму  $I_L$  у так званій активній зоні його роботи. Отже модуляція лазерного випромінювання здійснюється шляхом модуляції струму накачування  $I_L$ . При невеликих рівнях струму  $I_L$  напівпровідниковий лазер діє як світлодіод і генерує некогерентне оптичне випромінювання невеликої потужності. При досягненні граничного рівня струму  $I_L$  оптичні коливання в лазерному резонаторі генеруються, стають когерентними; різко зростає потужність випромінювання  $P_L$ . Значення граничного струму  $I_P$  напівпровідникового лазера залежить від його номінальної потужності та довжини хвилі випромінювання. Для лазерів довжиною хвилі  $\lambda = 405$  нм і номінальною потужністю  $P_L = 60\text{--}150$  мВт струм порогу  $I_P$  лежить у межах  $35\text{--}50$  мА, відповідно при  $P_L = 200\text{--}250$  мВт струм порогу  $I_P = 100\text{--}130$  мА. У розробленому пристрої керування використовується лазер на 100 мВт зі струмом порогу 37 мА.

Принципова схема розробленого пристрою побудована з використанням аналогових і цифрових компонентів. Функціональна схема пристрою керування напівпровідниковим лазером представлена на рис. 1.

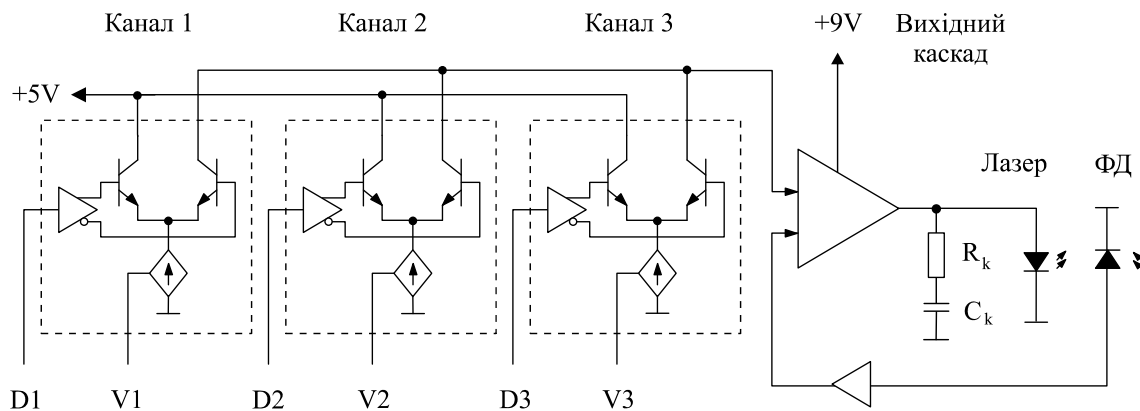


Рис. 1. Функціональна схема пристрою керування напівпровідниковим лазером

У пристрої використовуються три незалежних канали керування потужністю випромінювання лазера з розділним керуванням по струму та модуляції. Канали керування побудовані на надвисокочастотних біполярних транзисторах, включених за схемою з диференціальними каскадами навантажених на незалежні керувані джерела струму. Всі три канали з'єднані паралельно і в такий спосіб являють собою єдине керуване джерело струму для кінцевого каскаду посилення потужності сигналу, навантаженням якого є напівпровідниковий лазер.

Модуляція лазерного випромінювання здійснюється по входах D1, D2, D3 інформаційними сигналами  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$ ,  $U_3(t)$ , які відповідають, перетвореному відповідно до стратегії запису, сигналу каналного кодування. Вибір стратегії запису залежить від швидкості запису, складу фоторезисту, потужності лазера. Значення струму в кожному каналі  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  встановлюється окремо регулюванням рівня напруги на входах V1, V2, V3. Сумарний струм на виході кінцевого каскаду дорівнює сумі струмів  $I_L = I_1 + I_2 + I_3$ . Контроль струму лазера контролюється на цифровому індикаторі. Вихідний каскад виконано за схемою з відкритим колектором, що дозволяє «заземлити» катод напівпровідникового лазера.

На рис. 2 наведено приклад формування однорівневого, дворівневого і трирівневого управління потужністю випромінювання напівпровідникового лазера. Трирівневий сигнал потужності випромінювання лазера використовується в основному в системі мастерингу з фазовим переходом (PTM-мастеринг). Застосовуючи різні рівні потужності у формуванні імпульсів каналного кодування, домагаються оптимальних форм і розмірів записуваних пітів для надійного зчитування інформації з диска.

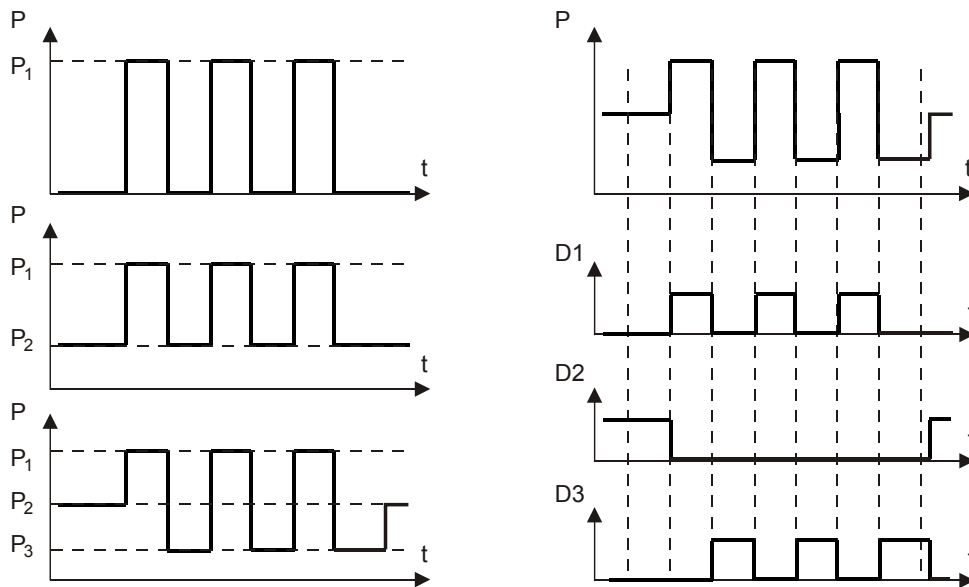


Рис. 2. Формування однорівневого, дворівневого та трирівневого управління потужністю випромінювання напівпровідникового лазера

Завдяки використанню трьох незалежних каналів керування потужністю випромінювання лазера з роздільним керуванням по струму та модуляції можливо створити режим запису з регулюванням опорного струму лазера, так званим режимом зміщення (*Bias*).

Наявність у створеному пристроєві керування напівпровідниковим лазером можливості регулювання опорного струму (*Bias*) забезпечує більш широкі можливості використання різних реєструвальних матеріалів на основі барвників для диска-оригінала. На рис. 3 графічно представлено вихідну потужність лазерного випромінювання за наявності опорного струму у вихідному каскаді драйвера лазера.

Для усунення коливань потужності випромінювання напівпровідникового лазера до складу схеми введено ланцюг автоматичного регулювання потужності (АРП), Оптичний контроль потужності лазера виконується фотодіодом ФД, який забезпечує зворотній зв'язок у контурі управління і відображає середню оптичну потужність лазера (рис. 1).

Необхідно відзначити, що напівпровідниковий лазер є нелінійним статичним навантаженням. Спрощена еквівалентна електрична схема напівпровідникового лазера може бути представлена у вигляді послідовного з'єднання індуктивності  $L_s$  та паралельного  $RC$ -ланцюга, що представляє активну і ємнісну складову

імпедансу лазерного кристалу (рис. 4). Типові значення параметрів еквівалентної електричної схеми напівпровідникового лазера дорівнюють:  $R_s = 1\text{--}20\text{ Ом}$ ,  $C_s = 10\text{--}50\text{ пФ}$ ,  $L_s = 1\text{--}10\text{ нГ}$  [14, 15].

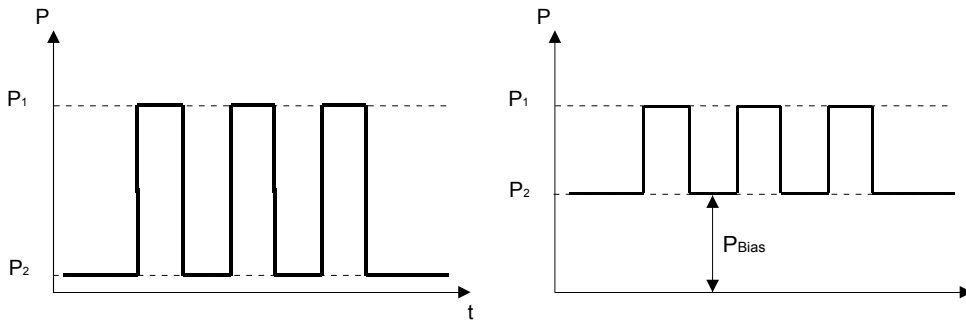


Рис. 3. Регулювання опорного струму у вихідному каскаді драйвера лазера

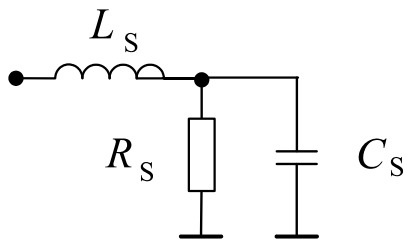


Рис. 4. Еквівалентна схема напівпровідникового лазера

При роботі напівпровідникового лазера з модуляційними частотами більше 10 МГц і малою тривалістю наростання фронту імпульсу  $< 10\text{ нс}$  неминуче виникають перехідні процеси у випромінюванні (рис. 5). Перехідні процеси при його випромінюванні мають характер повільно загасаючих коливань. У загальному випадку вони не є періодичними. Наявність загасаючих осциляцій у світловому відгуку напівпровідникового лазера може привести до викривлення інформації, що передається за допомогою імпульсно-кодової модуляції. Основна проблема полягає у формуванні прямокутних імпульсів із визначеною тривалістю наростання фронту, який повинен бути (у випадку запису на швидкості 1X) для стандарту Blue Ray  $\leq 1\text{ нс}$ . У таких умовах роботи драйвера виникають викривлення вершин імпульсів, так звані викиди з паразитними згасаючими коливаннями (рис. 5).

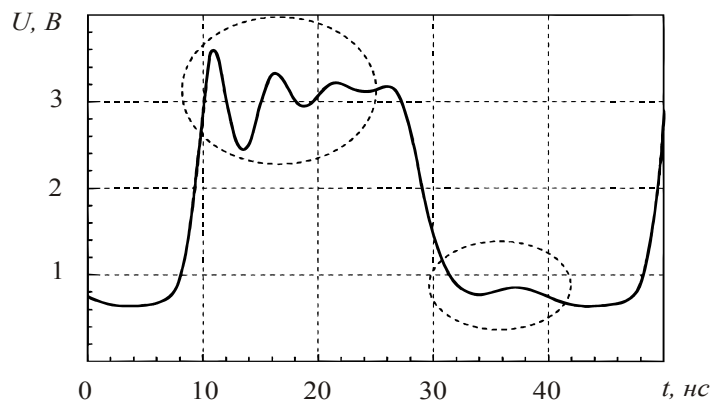


Рис. 5. Приклад наявності в сигналі паразитних згасаючих коливань

Наявність повільно загасаючих коливань викликана неузгодженістю вихідного опору кінцевого каскаду драйвера та вхідного опору напівпровідникового лазера по змінному струму. Для вирівнювання повного вхідного опору напівпровідникового лазера та компенсації паразитних реактивних опорів застосовано коригувальний ланцюг, що містить послідовно з'єднані конденсатор  $C_k$  і активний опір  $R_k$ , величина якого лежить у межах 5–50 Ом і залежить від вихідного опору кінцевого каскаду драйвера й типу лазера (рис. 1). Величина коригувальної ємності  $C_k = 1/(4\pi^2 \cdot f^2 \cdot L_s)$  вибирається так, щоб резонансна частота контуру, утвореного цією ємністю та паразитною індуктивністю  $L_s$ , відповідала необхідному значенню смуги пропуску драйвера.

## Експериментальні результати

Проведені експериментальні записи дисків-оригіналів на станції лазерного запису оптичних носіїв інформації з розробленим пристроєм керування напівпровідниковим лазером довжиною хвилі 405 нм в умовах реального запису сигналу формату CD на диски-оригінали. Як модуляційний сигнал використовувався сигнал імпульсно-кодової модуляції NRZI формату CD. На рис. 6 представлені зображення пітів отриманих при записі імпульсних сигналів на диски-оригінали, що вкриті шаром стандартного органічного фоторезисту.

Аналіз результатів записів дисків-оригіналів, проведених на станції лазерного запису, показав, що розміри пітів практично відповідають стандартним розмірам формату CD.

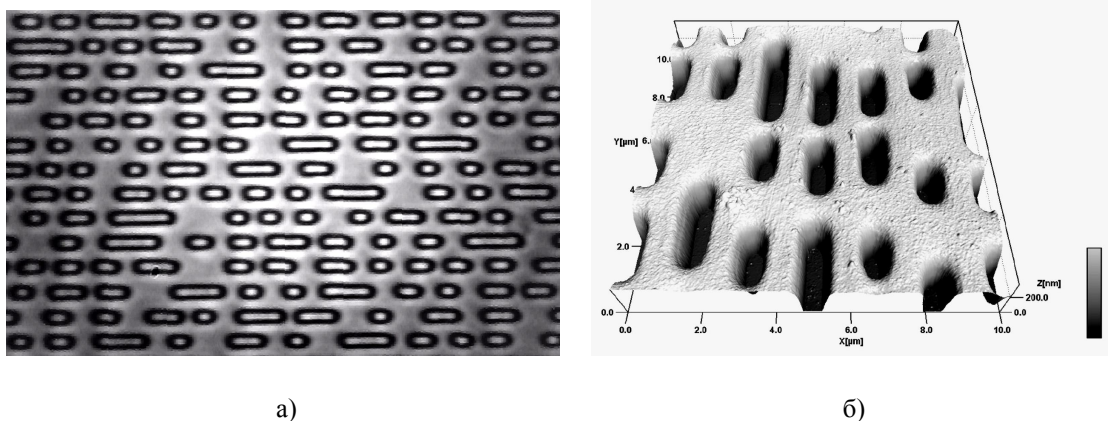


Рис. 6. Зображення пітів формату CD, записаних на органічному фоторезисті:  
 а) зображення отримане на оптичному мікроскопі;  
 б) зображення отримане на електронному мікроскопі

## Висновок

Проведено аналіз вимог до джерел імпульсного лазерного випромінювання. Виконано дослідження та розробку пристрою керування напівпровідниковим лазером у системах запису оптичних дисків. Основною особливістю розробленого пристрою є наявність 3-канального керування вихідною потужністю випромінювання лазера з можливістю регулювання опорного струму. Це дозволяє застосову-

вати різні рівні потужності у формуванні імпульсів каналного кодування, що забезпечує оптимальні форми і розміри записуваних пітів для надійного зчитування інформації з дисків і використовувати різні реєструвальні матеріали для диска-оригінала.

1. Косяк І.В. Особливості побудови систем запису оптичних дисків високої щільності. *Реєстрація, зберігання і оброб. даних*. 2014. Т. 16. № 2. С. 87–99.
2. 120 mm DVD — Read-Only Disk. Standard ECMA-267. 3rd ed. April 2001.
3. White Paper Blu-ray Disc Format — 1.C Physical Format Specifications for BD-ROM / Blu-ray Disc Association. 8th ed. December, 2012.
4. Duanyi Xu. Multi-dimensional Optical Storage. Tsinghua University Press and Springer Science Business Media Singapore, 2016. 667 p.
5. Gan Fuxi, Wang Yang. Data Storage at the Nanoscale: Advances and Applications. Pan Stanford Publishing, 2015. 740 p.
6. Kimihiro Saito. An application of OFDM method to optical disc recording. Proceedings Volume 10384, Optical Data Storage 2017: From New Materials to New Systems.
7. Takao Okabea, Keita Utsumia, Keito Oginob, Yuta Shinonagab. Electron beam mastering system using a vacuum-compatible hydrodynamic spindle. *Microelectronic Engineering*. 2015. Vol. 142. P. 64–69.
8. LBR 266 — Mastering Technology for High Density Formats: Already in the Market. Special Issue Media-Tech Showcase & Conference. September, 2005.
9. M8100 BD Mastering System. URL: <http://www.optical-disc.com>. URL: [http://www.optical-disc.com/resources/ProductDocuments/M8100\\_Spec\\_Sheet.pdf](http://www.optical-disc.com/resources/ProductDocuments/M8100_Spec_Sheet.pdf)
10. Phase Transition Mastering. URL: <http://www.sonydad.com/inc/tech/ptm.html>
11. Thermal Recording for High-Density Optical Disc Mastering / Nobuki Yamaoka, Shigenori Murakami, Yukihiro Sugawara, Seiro Ohshima, Toshihiko Takishita, and Fumihiko Yokogawa. *Japanese Journal of Applied Physics*. 2010. Vol. 49. P. 08KG03-1–08KG03-4.
12. Test Method for the Estimation of Lifetime of Optical Disks for Long-term Data Storage. Standard ECMA-396. 4rd Edition. June, 2017.
13. Bernhard Wondra, Harald Rossmeier. Next Generation Disc Mastering with 375 and 405 nm Diode Lasers. *TOPTICA Photonics AG*. A-1003. January, 2007.
- 14 Takahiro Numai. Fundamentals of Semiconductor Lasers. Springer Japan, 2015. 289 p
15. Hans Joachim Eichler. Lasers: basics, advances and applications. Cham, Switzerland: Springer, 2018. 511 p.

Надійшла до редакції 17.05.2019