

Приложение на дифракцията при измервания в оптоелектрониката

Беркант Гъоч

Application of diffraction measurements in optoelectronics: The aims of this article are connected with application of optical measurement methods in education in electronics. They are used for some of peculiarities' evaluation of different types compact discs used as optical storage memories. A semiconductor laser diode is used as light beam source during measurements. The compact disc irradiated by laser beam at certain conditions operates as a diffraction grating. By measuring geometrical features of the diffraction patterns and using results from diffraction grating's theory students can determine the average size of track pitch of different types compact discs (CD-ROM; CD-R: 650 MB, 700 MB, 790 MB, 870 MB, 1300 MB and DVD 4,7 GB). The length of the spiral track is calculated too. Different manners for recording data on compact discs are considered. Comparison between obtained data helps students to understand and clear up peculiarities of different types CDs and possibilities of their applications.

Key words: compact discs, education.

ВЪВЕДЕНИЕ

Компакт-дискете са широко използвани като оптични дискови памети за съхранение на информация. Има много видове дискове, които се различават по капацитет, физични свойства на носителите и методите за запис на информация [1]. Това разнообразие прави трудно разбирането и разграничаването на особеностите на дисковите памети от студентите. По време на обучението в курса по оптоелектроника студентите се запознават с елементи от теорията на явлениято дифракция и свойствата на различните видове компактдискове. Експериментите и изчисленията, представени в тази разработка позволяват по-доброто разбиране и изучаване на:

- оптичен метод за измерване, основан на дифракция на светлината от повърхността на диска;
- структурата на различни видове оптични дискове за съхранение на данни: CD-DA (цифрово аудио), CD-ROM (памет само за четене), CD-R (еднократно записваем диск), CD-RW (презаписваем) и DVD;
- различни поколения дискове (650 MB, 700 MB, 790 MB, 870 MB, 1 300 MB; 4 700 MB);

По време на измерванията студентите могат да определят експериментално радиалната плътност на спиралната писта (стъпката от съседни пътечки). Пътечката е непрекъсната спирала линия. За CD-ROM и DVD-ROM дискове всяка физическа пътечка се състои от поредица от нееднородности, които могат да се регистрират от четящото устройство, наречени маркери, а в областите, където липсват маркери, повърхността е плосък отражателен слой.

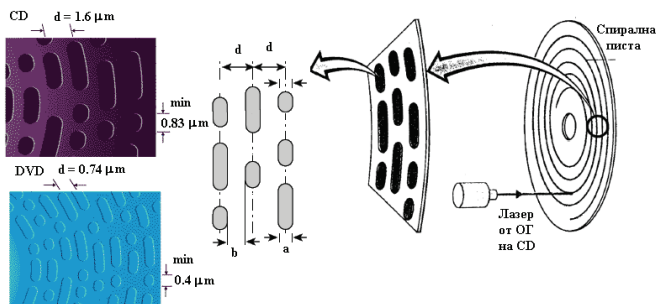
Таблица 1. Основни параметри на някои компактдискове (CD).

	CD с двойна плътност	Стандартен CD
Капацитет	1.3GB (2048B/sector)	CD-ROM (Mode1)/-R/-RW: 650MB (2048B/sector)
Дължина на вълната	780nm	
Обектив	Възпроизвеждане: NA=0.50 Запис/Възпр.: NA=0.55	Възпроизвеждане: NA=0.45 Запис/Възпр.: NA=0.50
Размери	Диаметър: 120mm Дебелина: 1.2mm	
Разстояние между листите	1.1 µm	1.6 µm
Минимална дължина на маркер	0.623 µm	0.833 µm
Скорост на сканиране	0.90 m/s	1.2 - 1.4 m/s
Поправка на грешки	CIRC7	CIRC
Модулация	EFM	
http://www.licensing.philips.com/		

Кодираната информация се представя като варира дължината на маркера или чрез промяна на разстоянието между маркери. Дълбочината на маркера трябва да бъде такава, че да отговаря на изискванията за интерференчно разпознаване на записаната информация [2]. За други видове оптични дискове пистата (пътечката) може да се образува и по други начини. Например за CD-WORM (Write Once - Read Many) подредането на маркерите с данни е по предварително изготвена спирала - бразда [4].

Стойностите на стъпката на пистата за различни видове CD са дадени в Таблица 1. Намаление на стъпката води до увеличаване на дължината на спиралната писта, което увеличава капацитета на дисковете.

Набраздената отражателна повърхност на CD и DVD е с постоянна стъпка и може да се разглежда като дифракционна решетка с централно (радиална) симетрия.



Фиг. 1. Различия в радиалната гъстота на пистите при CD и DVD.

На фиг. 1 са представени разликите в стъпките на писти за CD и DVD. Както може да се види стъпките при CD са по-големи в сравнение с тези на DVD. Размерът на пистата за фабрично записан диск (CD-ROM) е $1,6 \mu\text{m}$, а за DVD-ROM е $0,74 \mu\text{m}$ [2-10]. Освен това има разлики и в минимална дължина на маркерите. Тя е $0,83 \mu\text{m}$ за CD-ROM и $0,4 \mu\text{m}$ за DVD-ROM. При CD дължината на вълната на използвания лазер е $\lambda = 780 \text{ nm}$ и минимална дължина на маркера е $0,83 \mu\text{m}$, а при DVD $\lambda = 650 \text{ nm}$, като минимална дължина на маркера е $0,4 \mu\text{m}$ [2-10]. Това води до нарастване на информационната плътност по дължина на пистата и на радиалната гъстота на пистите. При DVD пистата е по-тясна ($0,74 \mu\text{m}$) и спиралата е по-гъста отколкото при CD ($1,1 \div 1,6 \mu\text{m}$) [2-10], което позволява по-голяма плътност на записа върху една и съща площ.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Дискът представлява отражателна дифракционна решетка, чиито диспергиращи елементи по радиуса се формират от спирална писта с маркери с пространствен период d – константа на решетката.

При CD-ROM две съседни пътечки са разделени с ивица. Ако означим ширината на пътечката с a (обикновено $0,5 \mu\text{m}$), а на ивицата с b (обикновено $1,1 \mu\text{m}$, Фиг. 1), константата на решетката е $d = a + b$. Константата е еднаква върху цялата повърхност на диска.

Светлинен сноп, падащ нормално върху диска в дадена точка, дифрактира в двете посоки на диаметъра, преминаващ през тази точка. Ако светлинният сноп е достатъчно тесен, осветената част на диска се държи като линейна дифракционна решетка, чиито щрихи на осветения малък участък може да се приемат за успоредни прави линии.

От теорията на дифракционната решетка е известно условието за определяне

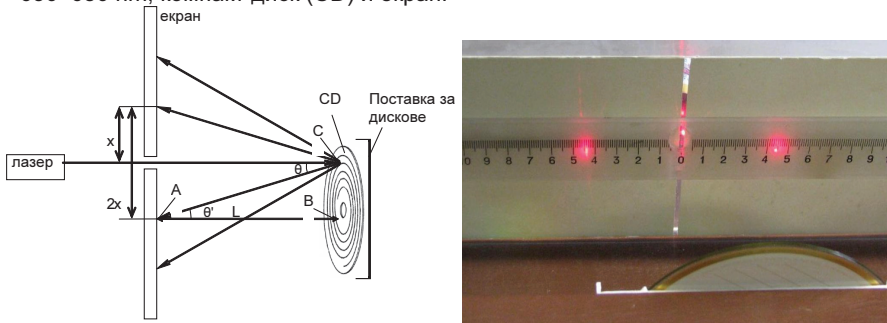
на дифракционните максимумите за монохроматична светлина:

$$d \cdot \sin \theta = k \lambda, \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots), \quad (1)$$

където θ е ъгълът между отклонения сноп и нормалата към равнината на решетката, а k е порядъкът на съответния дифракционен максимум. Изразът (1) е валиден за решетки, които работят както с преминала, така и с отразена светлина. Тъй като положението на максимумите (освен централния, съответстващ на $k = 0$) зависи от дължината на вълната λ , следва, че решетката разлага бялата светлина в спектър.

Описание на опитната уредба.

Опитна уредба е показана на Фиг. 2. Тя се състои от полупроводников лазер с $\lambda = 630 \pm 680 \text{ nm}$, компакт диск (CD) и екран.



Фиг. 2. Схема и снимка на опитна уредба.

От формула (1) ,за $k = 1$ (първи порядък), за константата d се получава изразът:

$$d = \frac{\lambda}{\sin \theta'} \quad (2)$$

Ъгъл $\theta' = \theta$. За правоъгълния триъгълник $\Delta ABC \sin \theta' = BC/AC = x/AC$

По Питагоровата теорема $(AC)^2 = (BC)^2 + (AB)^2 = x^2 + L^2$,

$$\frac{1}{\sin \theta'} = \frac{\sqrt{x^2 + L^2}}{x} = \sqrt{\frac{x^2 + L^2}{x^2}} = \sqrt{1 + \frac{L^2}{x^2}}$$

Като се замести в (2):

$$d = \lambda \frac{1}{\sin \theta'} = \lambda \sqrt{1 + \left(\frac{L}{x}\right)^2} \quad (3)$$

където x е разстоянието от централния максимум до първия дифракционен максимум, а L е разстоянието между компактдиска и скалата. За да се определи x , се измерва разстоянието $2x$ между двата максимума от първи порядък и след това се взема половината от това разстояние. Разстоянията x и L се измерват с точност до един милиметър.

Измервания, изчисления и анализ на получените резултати.

В таблица 2 се нанасят измерените стойности за $2x$ и L за три вида оптични дискове.

На поставката за дискове се поставя **CD-R 74min, CD-R 80min, CD-R 90min, CD-R 99min и DVD**. Разстоянието между екрана и CD е $L = 100 \text{ mm}$. С помощта на линейка се измерва разстоянието между първите дифракционни максимуми $2x$ (с точност 1 mm).

По формула (3) се изчислява константата на решетката.

За **CD-R 74 min** се получава:

$$d = 655 \text{ nm} \sqrt{1 + \left(\frac{100 \text{ mm}}{46 \text{ mm}}\right)^2} = 655 * 2,392885 = 1567 \text{ nm} \approx 1,57 \mu\text{m}$$

Резултати получени по описания метод са представени в Таблица 2.

Таблица

$$\lambda_{cp} = 655 \text{ nm}, L = \text{const} = 100 \text{ mm}$$

Тип носител	CD-ROM	CD-R 74min	CD-R 80min	CD-R 90min	CD-R 99min	DVD (SS SL)
2x, mm	90	92	96	114	122	376
d, μm	1,60	1,57	1,51	1,32	1,26	0,742

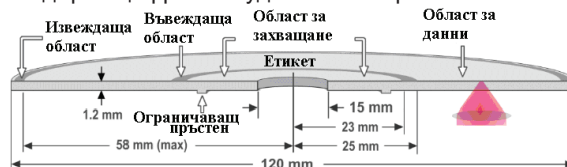
В Таблица 2 съкращение за DVD - SS означава едностранен, SL означава едностранен.

Изчисляване на дължината на спирална пистата. Знае се, че информацията върху CD е записана в една непрекъсната спирална писта [2, 7, 9]. Определянето на дължината ѝ е интересна задача. Физическата дължина на спиралните писта за CD и DVD може да се определи чрез представяне на уравнението на Архимедова спирала в правоъгълни координати. За опростяване спиралната писта е възможно да се представи чрез поредица от концентрични кръгове, чиито радиус се променя с определена стъпка. В този случай дължината на пистата за оптичен диск може да бъде изчислена:

$$L = \frac{\pi \cdot (R_{out}^2 - R_{in}^2)}{TP}, \quad (4)$$

където L - е дължина на спирала; R_{out} - е външен радиус; R_{in} - е вътрешен радиус; TP- стъпка на спиралната писта.

Въвеждащата област на аудио компакт диск съдържа таблица на съдържанието, списък до 99 цифрови аудио записи и също така служи за синхронизиране на лазера. Въвеждащата област съдържа прости кодове, които позволяват на аудио CD плейъра да разпознае края на диска. Област за данни е мястото, където се съдържа цифровия аудио запис – фиг. 3.



Фиг. 3. Размери на различните области при CD [9].

На фиг. 3 радиусът на въвеждащата област е от R_{in} = 23 mm до R_{out} = 25 mm; радиусът на областта за данни е от R_{in} = 25 mm до R_{out} = 58 mm; радиусът на извеждащата област е от R_{in} = 58 mm до R_{out} = 58,5 mm. Изчислява се дължина на пистата за отделни зони на диска и обща дължина спирала за стандартен CD-ROM:

- За въвеждаща област:

$$L = \frac{\pi \cdot (25^2 - 23^2) \cdot 10^{-6}}{1,6 \cdot 10^{-6}} = 189 \text{ m.}$$

- Област за данни:

$$L = \frac{\pi \cdot (58^2 - 25^2) \cdot 10^{-6}}{1,6 \cdot 10^{-6}} = 5 \text{ 378 m.}$$

- Извеждаща област:

$$L = \frac{\pi \cdot (58,5^2 - 58^2) \cdot 10^{-6}}{1,6 \cdot 10^{-6}} = 114 \text{ m.}$$

- Обща дължина на спирална писта за стандартен CD-ROM е 5 681 m.

За други оптични дискове общата дължина на спиралната писта е:
CD-R 700 MB - 6 003 m.

CD-R 790 MB - 6 870 м.

CD-R 870 MB - 7 225 м.

DVD 4 700 MB - 12 249 м.

Получените резултати позволяват да се докаже, че намаляването на стъпката на спиралната писта води до увеличаване на дължината λ , което увеличава капацитета на дисковите памети.

Стандартът за оптични дискови памети ECMA-130 (ECMA - European Computer Manufacturers Association, асоциация на европейските производители) позволява отклонение от около $\pm 0,1 \mu\text{m}$. Спиралната писта за CD-ROM трябва да е със стъпка $1,6 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$. Сравненията между експериментално получените резултати и стойностите по стандарти [2-4] показват добра корелация.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определянето на някои параметри на различни видове оптични дискови памети (CD-ROM; CD-R: 650 MB, 700 MB, 790 MB, 870 MB и DVD 4,7 GB) позволява на студентите да се запознаят със структурата на оптични дискови памети от различни поколения и начините за запис и четене на информация. Позволява им да се запознаят и практически да използват методи за измерване на малки разстояния, като стъпка на спирална писта и дължината λ , с помощта на сравнително прости и достъпни оптични измервания. Получените експериментални резултати се съгласуват много добре с данните предоставени от производителите на оптични памети.

ЛИТЕРАТУРА

[1] J. D. Lenk, Lenk's laser handbook-featuring CD, CDV, and CD-ROM technology, New York, McGraw-Hill, Inc., 1992.

[2] Data interchange on read-only 120 mm optical data discs, Standard ECMA-130, 2nd Edition - June 1996.

[3] Sony Establishes Double Density CD-ROM/-R/-RW Formats, http://www.sony.net/SonyInfo/News/Press_Archive/200007/00-0705/.

[4] Basic Specifications of Double Density CD-ROM/-R/-RW formats, September 2000, <http://www.licensing.philips.com/>.

[5] Five Slit Diffraction <http://www.mwit.ac.th/Physicslab/hbase/phyopt/mulslid.html>.

[6] <http://www.media.utah.edu/dvdworkshop>

[7] Sony CRX200E DD CD-RW, February 19, 2002, <http://www.cdrinfo.com/Sections/Reviews/Specific.aspx?ArticleId=6135>.

[8] What are CD-ROM Mode-1, Mode-2 and XA? <http://sony.storagesupport.com/node/6405>.

[9] Introduction to CD and CD-ROM, Graham Sharpless, Deluxe Global Media Services Ltd., July 2003.

[10] <http://www.disctrionics.co.uk/cdref/cdbasic5.htm>.

За контакти:

гл. ас д-р Беркант Гьоч, Катедра "Физика", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 218, e-mail: b_gyoch@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.



РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ „АНГЕЛ КЪНЧЕВ”
UNIVERSITY OF RUSE „ANGEL KANCHEV“

ДИПЛОМА

Програмният комитет на
Научната конференция RU&SU'15
награждава с КРИСТАЛЕН ПРИЗ
“THE BEST PAPER”
д-р БЕРКАНТ ГЪОЧ
автор на доклада

“Приложение на дифракцията при измервания
в оптоелектрониката”

DIPLOMA

The Programme Committee of
the Scientific Conference RU&SU'15
Awards the Crystal Prize
"THE BEST PAPER"
to BERKANT GYOCH, PhD
author of the paper

“Application of diffraction measurements
in optoelectronics”

РЕКТОР
RECTOR

Чл.-кор. проф. д.т.н. Христо Белоев
Prof. DSc Hristo Beloev

10.10.2015