

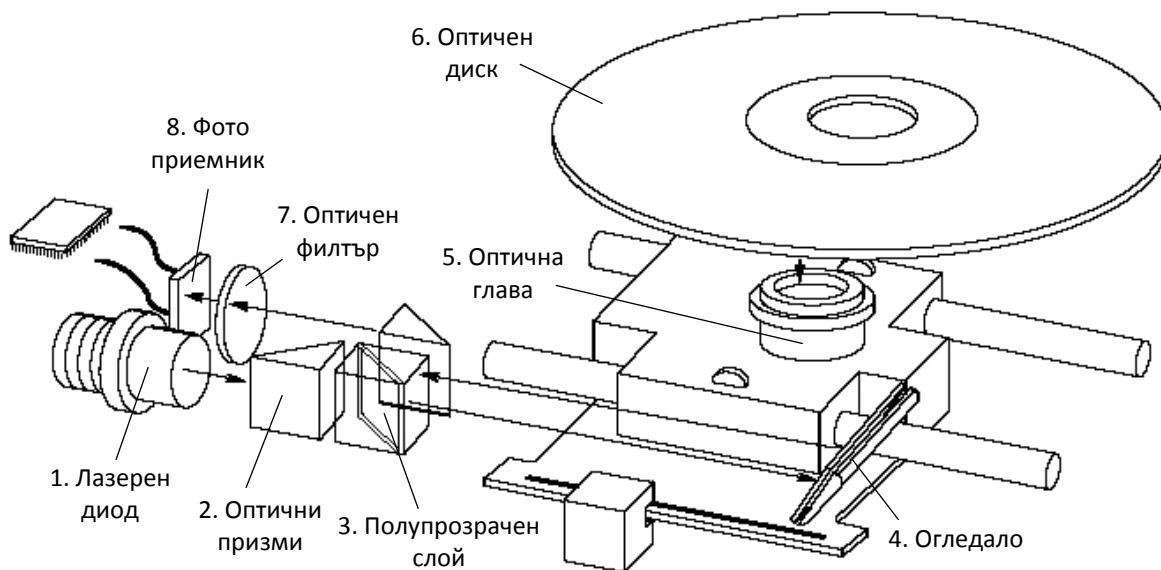
## Външни запомнящи устройства. Оптични дискове.

### I. Въведение

Оптичните дискове се използват с цел съхранение на цифрово аудио и видео, както и други видове цифрови данни под формата на файлове. Дискът е изработен от пластмаса. Външният диаметър на диска е 120 mm или 80 mm, а диаметъра на отвора за шпиндела на двигателя – 15 mm. Дебелината на диска е 1.2 mm.

Четенето на информацията при всички видове оптични дискове се реализира по оптичен път чрез използване на лазерен лъч. Информацията на диска е записана по време на производство на диска или чрез лазерен лъч. При четенето и записа се използва един и същ източник на лазерен лъч (лазерен диод), но с различна мощност. При повечето видове оптични дискове записът се реализира на ниво блокове, които са разположени последователно върху една пътечка под формата на Архимедова спирала. Както секторите при твърдите дискове, блоковете при оптичните дискове, освен потребителски данни съдържат и служебна информация. Тя е необходима, за да може блокът да се адресира и да се откриват и евентуално отстраняват грешки, възникнали по време на четене. Записът на информация се реализира в така наречения запомнящ слой. Материалът от който е изготвен запомнящият слой зависи от типа на оптичен диск. Той може да е органична боя или специална сплав. Грешките при четене се получават поради неточно фокусиране на лазерния лъч в запомнящия слой. То се дължи на както на вибрации, така и на микро драскотини и прах по повърхността на диска. Запомнящият слой е на точно определена дълбочина в подложката и съдържа данните, записани на диска. Един диск може да има един или няколко запомнящи слоя.

На Фиг. 1 е показано схематично реализирането на операция четене при оптичен диск.



Фиг. 1. Четене на информация от оптичен диск

Четенето се реализира чрез лазерен лъч, който трябва да се фокусира в запомнящия слой на диска. Източникът на лазерен лъч е лазерен диод (1). Лазерният лъч преминава през група оптични призми (2) и достига до огледало (4). Целта на огледалото е да пречупи лъча на  $90^\circ$ , за да премине през оптичната глава (5). Тя е изградена като система от лещи, които имат за задача да фокусират лазерния лъч точно в запомнящия слой на оптични диск (6). След като лазерният лъч достигне до запомнящия слой, той се отразява от друг слой наречен отражателен. Отражателният слой има за задача да върне в обратна посока лазерния лъч, интензитета на който носи информация за данните, записани в запомнящия слой. Отраженият лъч преминава по обратния път и достига до системата от призми. Там той се пречупва на  $90^\circ$  от полупрозрачния огледален слой (3). Той пропуска лъча, когато предвижването му е отляво-надясно на фигурата и го пречупва на  $90^\circ$  при посока отлясно-наляво. Следва ново пречупване на лъча от призма с цел насочването му към оптичен филтър (7). Той пропуска светлина с точно определена дължина на вълната – тази на лазерния лъч. Целта е системата да остане работоспособна, дори когато върху фото приемника (8) попада светлина. Фото приемникът е фото диод или фото резистор, който има за задача да преобразува интензитета на лазерния лъч до друг, лесно измерим сигнал (ток или напрежение). Този сигнал се обработва апаратно от хардуера на диска и програмно от фирмения софтуер с цел декодиране на данните.

## II. Видове оптични дискове

В зависимост от предназначението и начина на функциониране оптичните дискове се делят на: CD дискове; DVD дискове; Blu-ray дискове и HVD дискове.

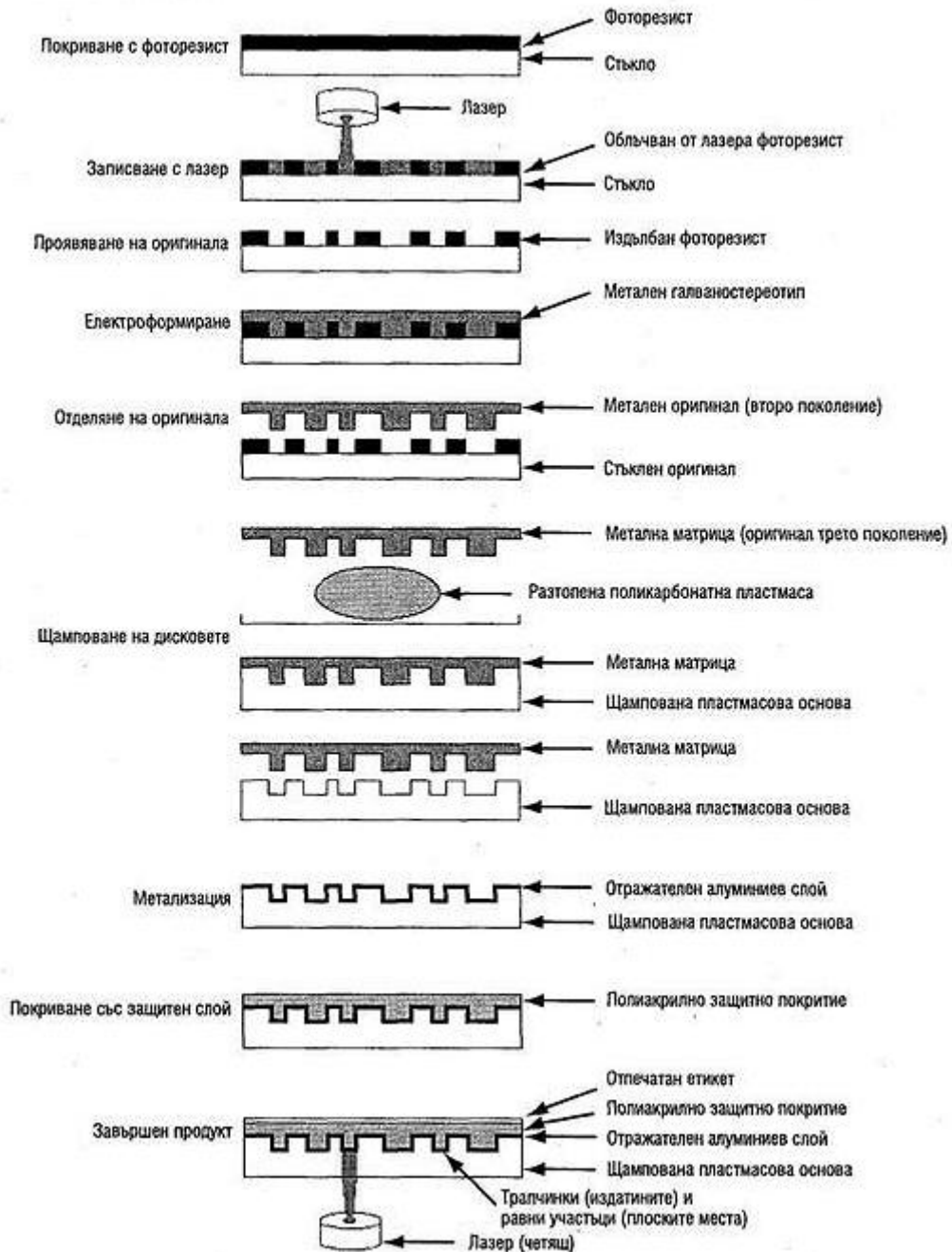
### 2.1. Компакт дискове (CD)

Компакт дискове (CD) са първите масово произвеждани оптични дискове. В началото целта е била запис на цифрово аудио с цел гарантиране на повторимост на качеството на записа, което при използването по това време аудио касети е било невъзможно. През 1978 г. Philips и Sony започват производството на CD-DA (CD-Digital Audio) дискове. При тези дискове аудио сигналът се преобразува от аналогов до цифров чрез дискретизация по *време* и *амплитуда*. За целта се използва аналогово-цифров преобразувател (АЦП). Тези два вида дискретизация са необходими, за да може аналоговия аудио сигнал да се опише с краен брой битове. Честотата на дискретизация при CD-Audio дисковете е 44.1 kHz, а всяка дискрета се описва с 16 бита. Това е прието да се нарича CD качество на цифровия запис. За възпроизвеждането на цифровия аудио сигнал е необходима система, която го преобразува до аналогов. Това се реализира чрез цифрово-аналогов преобразувател (ЦАП) и аналогов филтър. ЦАП преобразува цифровия сигнал до аналогов, който грубо описва реалния аналогов сигнал, поради крайния брой битове с които той е бил дискретизиран. Сигналът от ЦАП се филтрира с ниско-честотен филтър, за да се премахнат високочестотните съставлящи с цел по плавен преход от едно ниво към друго ниво на сигнала. Дисковете от тип CD-DA отдавна не се произвеждат, тъй като другите CD дискове може да съдържат произволни цифрови данни, включително и файлове с цифрово аудио в различни аудио формати.

#### 2.1.1 CD-ROM дискове

Първите оптични дискове, които може да съдържат произволни цифрови данни под формата на файлове, са CD-ROM дисковете. Те се анонасят на пазара през 1982 г.

Записът на данните се реализира по време на производството на диска. Поради тази причина те се наричат CD-ROM дискове (прави се аналогия с ROM паметите).

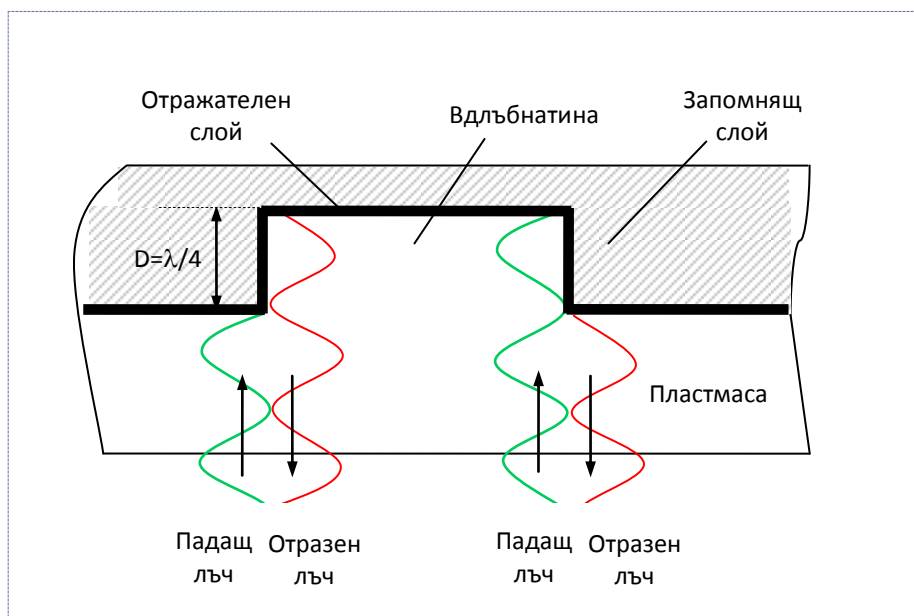


Фиг. 2. Последователност на производство на CD-ROM дискове

На Фиг. 2 е показана последователността на производство на CD-ROM дискове. Технологичният цикъл започва с нанасяне на фоторезистивен материал (променя структурата си при облъчване със светлина с определена дължина на вълната) върху стъклена подложка с формата и размерите на оптичния диск. Дебелината на този слой се контролира чрез скоростта на въртене на стъклената подложка. Следва облъчване на фоторезиста с лазерен лъч чрез който реално се кодират данните. Движението на лазерната глава е по Архимедова спирала. Така се образува последователност от осветени и неосветени участъци по протежение на спиралата (пътечка). Следва процес наречен „проявяване на оригинала“. При него се отстраняват участъците, които са били

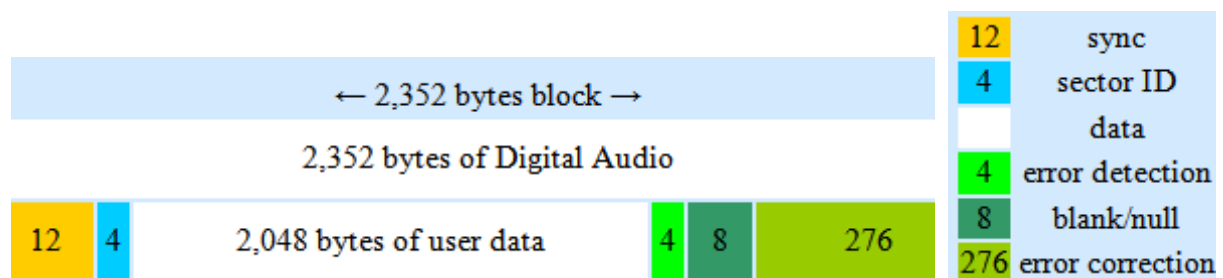
осветени. Това се реализира чрез специален разтвор. На следващата стъпка се получава „метален галваностереотип“. За целта върху фоторезиста чрез електроформиране се нанася метален слой. Този слой формира „метален оригинал от 2-ро поколение“, който се отделя от фоторезиста чрез начупване на стъклената подложка. От него се получава металната матрица (метален оригинал от 3-то поколение), която се използва при производството на CD-ROM дисковете. Матрицата се формира от метална основа за която се залепя металния оригинал от 2-ро поколение. Производството на CD-ROM дискове се реализира чрез поточни линии в следната последователност. Размеква се до точно определена температура парче поликарбонатна пластмаса. Чрез щамповане (притискане на матрицата към пластмасата) се получава основата на бъдещия компакт диск (щампована пластмасова основа). В тази основа се формира запомнящия слой. Чрез метализация върху запомнящия слой се нанася отражателен слой, най-често алуминиева сплав. За да се защити от външни влияния (прах, надраскване) върху отражателния слой се нанася защитно покритие от пластмаса (полиакрил). Остава последния етап – залепяне на етикет или нанасяне на идентификационни надписи.

Информацията, която е записана в запомнящия слой, е кодирана като вдлъбнатини и равни участъци по протежение на пътеката. Тя трябва да се декодира чрез лазерния лъч. Параметърът, който може лесно да бъде измерен, е интензитета на лазерния лъч. Декодирането на началото и края на вдлъбнатините по протежение на пътеката, което се използва при CD-ROM дисковете, е лесно за реализиране и евтино. За целта е необходимо дълбочината на вдлъбнатините трябва да е точно фиксирана. На практика тя лесно се контролира, тъй като това е дебелината на слоя от фоторезист. На Фиг. 3 е показано как се декодира информацията при четене от CD-ROM диск. Ако дълбочината на всяка вдлъбнатина  $D$  е точно  $\lambda/4$ , където  $\lambda$  е дължината на вълната на лазерния лъч лесно може да се детектира началото и края на всяка вдлъбнатина. В този случай, при преминаване на лъча от равен участък към вдлъбнатина и от вдлъбнатина към равен участък ще се измери нисък интензитет на лъча, тъй като падащия (зелен) и отразения (червен) лъч ще бъдат в противофаза. При всички други случаи интензитета на лъча ще бъде висок.



Фиг. 3. Декодиране на информация при четене от CD-ROM диск

На Фиг. 4 е показан формата на блока с данни при CD-DA и CD-ROM диск.



Фиг. 4. Съдържание на блок от CD-ROM диск

При CD-DA дисковете блокът с данни е 2352 байта и съдържа цифрово аудио. При CD-ROM дисковете, данните, достъпни за потребителя, са 2048 байта, но размерът на блока отново е 2352 байта. Допълнителните байтове са служебна информация:

- 12 байта за синхронизация (детектиране на начало на блок);
- 4 байта за номер на блока;
- 4 байта за детектиране грешни байтове в блока;
- 276 байта са резервирани за ECC (Error Correction Codes) байтове.

Съществен е размерът на ECC байтовете, но без тях няма да е възможно прочитане на съдържанието на блоковете, ако има прах и малки драскотини по диска.

Базовата скорост на четене на блоковете от CD дисковете е 75 блока/сек (150 KiB/s). Тя се означава като скорост 1x. Всяка друга възможна скорост е кратна на базовата скорост 1x. Например скорост 52x е 52 пъти по-висока от тази на 1x и следователно е 7800 KiB/s.

Дисковете от тип CD-ROM са подходящи когато е необходимо получаването на голям брой дискове, тъй като това е най-евтиния CD носител. Когато се налага получаване на няколко до десетки диска може да се използват CD-R или CD-RW дискове.

### 2.1.2 CD-R дискове

Дисковете от тип CD-R (Compact Disc-Recordable) позволяват еднократен запис от страна на потребителя. Следователно, те са WORM (Write Once Read Many) тип дискове – записват се еднократно и се четат многократно. Анонсират се на пазара през 1988 г. от фирмите Philips и Sony. Стандартният CD-R диск е с външен диаметър 120 mm или 80 mm, а дебелината на подложката е 1.2 mm. На тях може да се запише цифрово аудио с времетраене 74-79 минути или файлове с размер 650-702 MiB. Дължината на вълната на лазерния лъч  $\lambda$  е 780 nm. Разстоянието между съседните обороти на пътечката в радиална посока е 1.60  $\mu$ m.

Запомнящият слой при CD-R дисковете е вид органична боя, например Cyanine, Phthalocyanine или Azo. Записът на информация се свежда до „прогаряне“ на боята в определени участъци чрез лазерен лъч с необходимата за целта мощност (мощност при запис). Четенето се реализира със същият лазерен диод, но с намалена мощност (мощност при четене). На практика „прогорените“ участъци стават черни на цвят. Ако при четене лазерният лъч попадне в „прогорен“ участък, той се поглъща и отразения лъч е с малък интензитет. В противен случай, отразения лъч е с висок интензитет. Така може да

се кодира информацията чрез промяна на интензитета на отразения лазерен лъч, подобно на CD-ROM дисковете.

### **2.1.3 CD-RW дискове**

Дисковете от тип CD-RW (Compact Disc- ReWritable) позволяват многократен презапис (по стандарт до 1000 записа). Следователно, те са WORM (Write-Many Read-Many) тип дискове – записват се многократно и се четат многократно. Анонсират на пазара през 1997 г. Запомнящият слой е от специална сплав, най-често от сребро (Ag), индий (In), антимон (Sb) и телур (Te). Тази сплав може да бъде в аморфно или кристално състояние. Това състояние зависи от температурата до която се загрява сплавта. При температура от около 400°C кристалната решетка на сплавта преминава в аморфно състояние. При загряване при по-ниска от 400°C аморфното състояние се променя до кристална решетка. При стайна температура състоянието на сплавта се запазва. За да се постигнат две различни високи температури се използва лазерен диод с две мощности при запис. Информацията се кодира в зависимост от отражателната способност на различните участъци на запомнящия слой. Участъците с кристална структура отразяват силно и интензитета на отразения лъч е висок. Участъците с аморфна структура разсейват лъча и отразения лъч е нисък интензитет.

## **2.2. DVD дискове**

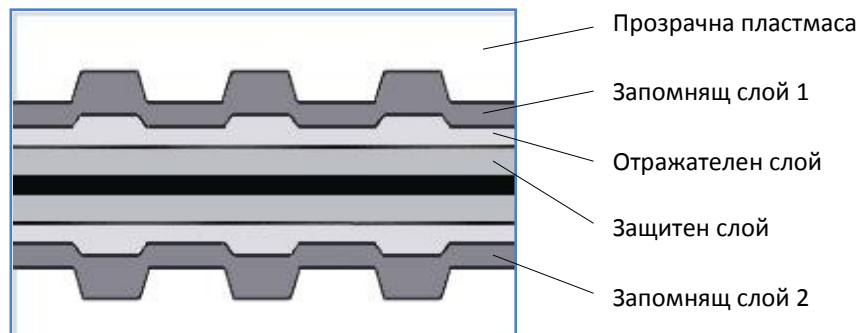
Първите дискове от този тип са се наричали Digital Video Disc. Целта е била създаване на лесно преносима медия за цифрови видео записи (кодиране MPEG 4). Така се гарантира еднакво качество на записа, независимо колко пъти е гледан филма. Тези DVD са били алтернатива на VHS видео касетите при които записът е аналогов. В последствие, след разработване на файлова система за DVD, започва производството на Digital Versatile Disc (DVD), на които могат да бъдат записвани произволни файлове. Различните видове DVD са следните: DVD-R, DVD+R, DVD-RW, DVD+RW и DVD-RAM. Дисковете от тип DVD-R, DVD-RW и DVD-RAM са стандартизирани от DVD-Forum. Дисковете от тип DVD+R и DVD+RW не са стандартизирани. Съвременните DVD устройства могат да четат и записват всички типове DVD дискове.

Основният проблем на DVD технологията е сравнително малкият им капацитет, който на настоящия етап не е достатъчен за запис на висококачествено видео (4K, 8K качество) с продължителност на пълнометражен филм. Минималният капацитет на DVD е 4.7 GiB, а максималният – 18.8 GiB. При DVD дисковете се използва лазер с дължина на вълната 650 nm. Дебелината на подложката е както при CD дисковете – 1.2 mm. Запомнящият слой е на дълбочина 0.6 mm – по средата на дебелината на диска. Разстоянието между съседните обороти на пътечката в радиална посока е 0.74 μm.

### **2.2.1 DVD-R дискове**

Дисковете от тип DVD Recordable (DVD-R) са от тип WORM (Write-Once, Read-Many) – позволяват еднократен запис и многократно четене. Запомнящият слой при тези дискове е от органична боя, както при CD-R дисковете. Записът и четенето се реализира с лазерен лъч с дължина на вълната  $\lambda=650$  nm и мощност 8-10 mW. Дисковете могат да съдържат един или два запомнящи слоя. При еднослойните дискове капацитета е 4.7 GiB, а при двуслойните – 9.4 GiB. Скоростта на запис е по-ниска в сравнение с CD-R дисковете: 1x (11.08 Mib/s), 2x (22.16 Mib/s) и 4x (44.32 Mib/s).

Информацията се записва на една пътечка (groove) под формата на Архимедова спирала. Освен данните, пътечката съдържа и служебна информация, свързана с насочване на записващия лазер (серво информация) и информация за началото и края на всеки блок данни. На Фиг. 5 е показана структурата на двуслоен DVD-R диск.



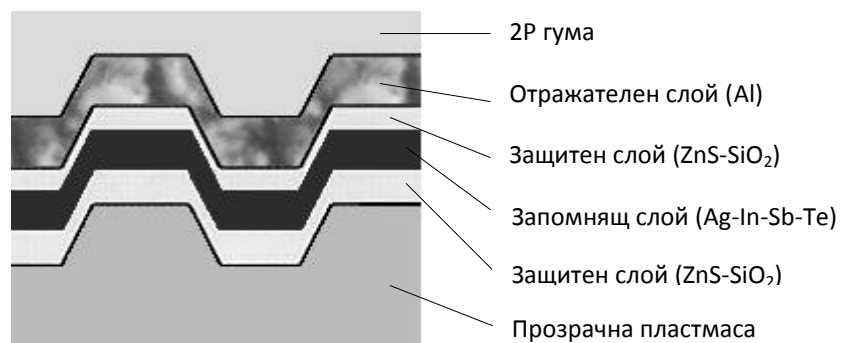
**Фиг. 5.** Структура на двуслоен DVD-R диск

Всеки запомнящ слой позволява запис на 4.7 GiB данни. Над всеки запомнящ свой има отражателен слой от алуминиева сплав. Над всеки отражателния слой има защитен слой. При тези дискове се налага завъртане на диска, когато трябва да бъде прочетена или записана информацията от/в другия слой.

### 2.2.2 DVD-RW дискове

Дисковете от тип DVD Rewritable (DVD-RW) са от тип WORM (Write-Many Read-Many). Съгласно стандарта, тези дискове позволяват до 1000 презаписа на информацията. Както при CD-RW дисковете, така и при DVD-RW дисковете запомнящия слой е сплав, най-често от сребро, индий, антимон и телур. Тъй като се налага загряване на сплавта до две високи температури, мощността на лазерния лъч при запис е с две нива – мощност за изтриване и мощност за запис. Скоростта при запис е 1x и 2x. Дисковете могат да бъдат еднослойни и двуслойни и четирислойни. Следователно капацитета на тези дискове е 4.7 GiB, 9.4 GiB или 18.8 GiB. Четирислойните дискове са двустранни. От всяка страна има по два запомнящи слоя, разположени един над друг. За да е възможно селективно четене и запис от конкретен слой, отражателния слой над запомнящ слой 1 е отражателен за запомнящ слой 1, но пропуска лъча с по-висока мощност, за да може той да се фокусира в запомнящ слой 2. Отражателен слой 2 отразява лъча, фокусиран в запомнящ слой 2.

На Фиг. 6 е показана структурата на едностранен и еднослойен DVD-RW диск.



**Фиг. 6.** Структура на едностранен и еднослойен DVD-RW диск

Разликата между DVD-RW дисковете и DVD+DW дисковете е в дължината на вълната на лазерния лъч. Докато при стандартните DVD дискове се работи с дължина на вълната от 650 nm, нестандартните използват лазер с дължина на вълната 655 nm. Нестандартните дискове имат малко по-висока скорост при запис: 1350-3240 KiB/s срещу 1350 KiB/s при стандартните дискове.

### 2.3. Blu-ray дискове

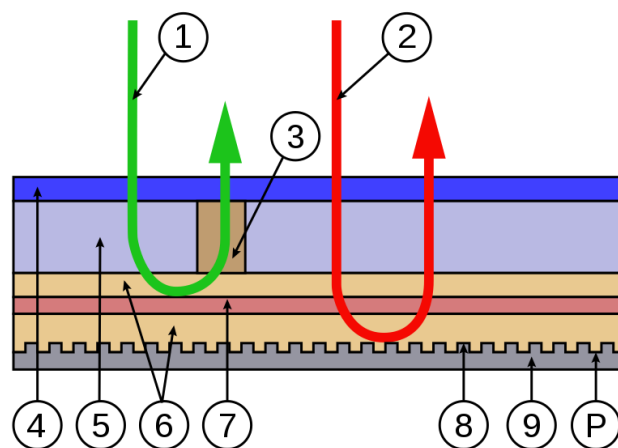
Тези дискове са алтернатива на DVD технологията, като целта е предоставяне на медиа за пренос на цифрови видео записи с високо качество. Прекият конкурент на Blu-ray дисковете бяха HD-DVD дисковете, които вече не се произвеждат. HD-DVD дисковете имат капацитет от 15 GB, а двуслойните 30 GB. Според физическия формат HD-DVD дисковете се делят на: HD DVD-ROM, HD DVD-R и HD DVD-RW. Капацитетът на еднослойните Blu-ray дискове е 25GB; двуслойните са с капацитет 50GB; трислойните са с капацитет 100GB, а капацитетът на четирослойните е 128GB. За да се постигне висока плътност на записа се използва лазерен лъч, чиято дължина на вълната е в синия (по-точно виолетовия) спектър ( $\lambda=405$  nm). Целта е лазерният лъч да се фокусира в точка с по-малка площ и това да позволи по-висока плътност на записа. Дебелината на подложката отново е 1.2 mm, но запомнящият слой е на дълбочина само 0.1 mm от повърхността на диска. Тази малка дълбочина позволява по-малко разсейване на лъча при преминаването му през подложката. Разстоянието между съседните обороти на пътечката в радиална посока е 0.32  $\mu$ m.

Видовете Blu-ray дискове са следните:

- BD-ROM – само за четене (предимно за домашно видео).
- BD-R – еднократен запис.
- BD-RE – многократно презаписваеми (до 1000 пъти).
- BD-XL – многократно презаписваеми, многослойни.
- Blu-Ray 3D – за 3D филми.

### 2.4. HVD дискове

Холограмните дискове - Holographic Versatile Disc (HVD) – използват кодиране на информацията в запомнящия слой в дълбочина (3D запис). Така се постига много висока плътност на записа и капацитет до 400 GiB.



Фиг. 7. Структура на HVD диск (източник Wikipedia)

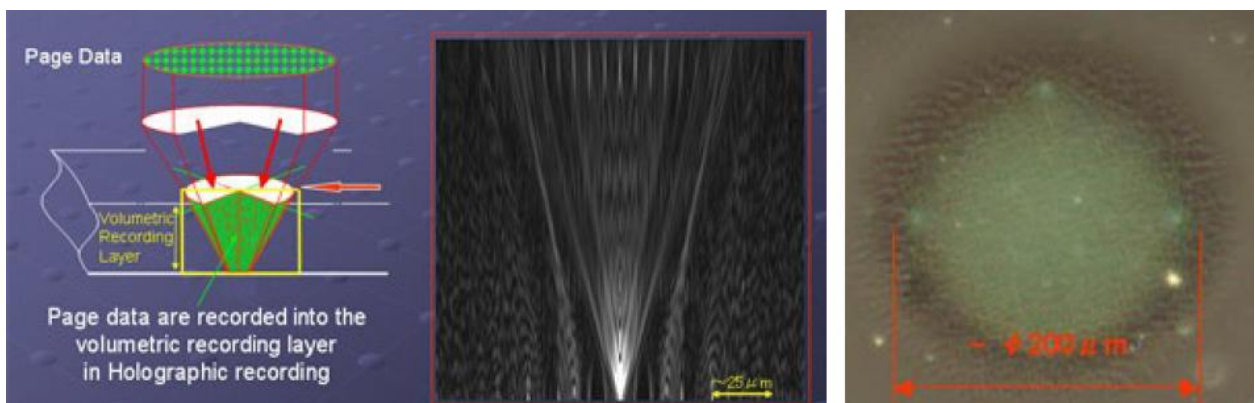


На Фиг. 7 е показана структурата на HVD диск. Използвани са следните означения:

1. Зелен записващ/четящ лазер (532 nm).
2. Червен позициониращ/адресен лазер (650 nm).
3. Холограма (данни).
4. Поликарбонатен слой.
5. Слой от Фотополимер (съдържа информацията).
6. Отделящ слой (интервал).
7. Дихроично огледало (отразява синьо-зелената светлина).
8. Алуминиев отражателен слой (отразява червената светлина).
9. Прозрачна предпазна основа.

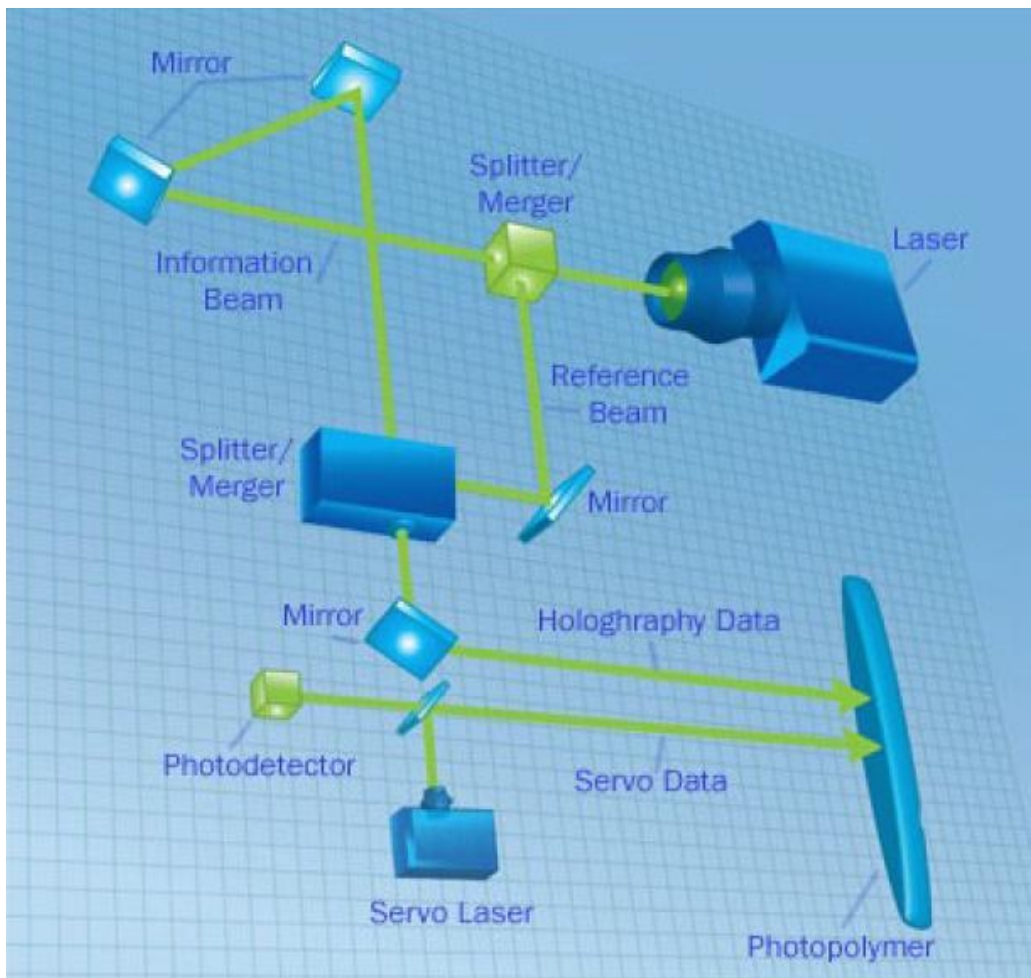
При тези дискове се използват два лазера – единият в синьо-зеления спектър, а другият – в червеният спектър. Синьо-зеленият лазер се използва при запис и четене и е с дължина на вълната  $\lambda=532\text{nm}$ . Червеният лазер ( $\lambda=650\text{nm}$ ) се използва с цел адресиране и позициониране. Синьо-зеленият лазер се използва за четене на информацията записана в холографския слой на диска (фотополимер), докато червеният лазер чете серво информацията, която е необходима за позициониране на четящата лазерна глава (както при CD и DVD). Тъй като запомнящият (холографски) слой е над слоя със серво информация, не трябва да се допуска синьо-зеленият лазер да достигне до серво слоя. За целта под запомнящия е дихроично огледало, което отразява синьо-зелената светлина и пропуска червената светлина.

Процесът на запис на информация върху един HVD започва с кодиране на информацията в двоични данни, които се съхраняват в пространствен светлинен модулатор - Spatial Light Modulator (SLM). Единиците и нулите се кодират като непрозрачни или полупрозрачни области от една "страница". Една „страница“ е минималното количество информация, което се записва на диска – приблизително 60,000 бита. В страницата информацията се записва пространствено – пресечен конус с основи съответно 500 $\mu\text{m}$  и 200 $\mu\text{m}$  (виж Фиг. 8).



Фиг. 8. Рентгенова снимка на „страница“ от HVD диск

Лазерният лъч преминава през оптичен сплитер (виж Фиг. 9). Формират се два лъча – информационен (information beam) и опорен (reference beam). Лъчът, който преминава през SLM става информационен, а другият – опорният – се използва за адресиране на данните (серво данни). Когато лазерният лъч преминава през SLM, части от светлината се блокират от непрозрачните области на страницата, а други преминават през полупрозрачни области.



Фиг. 9. Лазерно-оптична система на HVD диск

По този начин информационният лъч модулира информацията, записана в SLM. Следва обединяване на двата лъча (интерференция) и запис на информацията в записващия слой под формата на холограма. За да се прочетат данните от HVD, трябва да извлече информацията, съхранена в холограмата. За целта лазер проектира светлинен лъч върху холограматата. Този лъч е идентичен с опорният лъч. Получава се дифракция на светлината. Тя зависи от информацията, записана в всяка холограма (страница). Получената светлина пресъздава образа на данните от страницата. Този лъч достига до CMOS оптичен сензор. Следва декодиране на данните до нули и единици.

### III. Въпроси и задачи за самостоятелна работа

1. Защо базовата скорост на четене при CD дисковете е точно 150 KiB/s?
2. Използвайте допълнителни източници на информация и отговорете на въпроса: Каква е разликата между запис с отворена и затворена сесия? Колко информация се губи за всяка нова сесия?
3. Използвайте допълнителни източници и отговорете на въпроса: От какъв материал е отражателен слой 1 при двуслойните едностранни дискове?

4. Анализирайте цените на съвременните Blu-ray четящо-записващи устройства. Какъв тип видео файлове могат да записват и четат. Направете сравнителен анализ на тези типове файлове.
5. Анализирайте им ли на пазара комерсиални HVD дискове.
6. Има ли оптични дискове, които могат да се използват с цел запис на филми с 4K и 8K качество? Какъв трябва да е капацитета на диска, ако на него трябва да се запише филм с 4K или 8K качество който има продължителност 90 минути?
7. Опишете как функционира оптиката на HVD дисковете (справка Фиг. 9).
8. Как се намаляват вибрациите чрез механиката на оптичната глава?