

Раздел 2. Лекция 3.

Накопители на оптических дисках

Основы вопросы лекции

1. Физическая организация информации на оптическом диске. Технология записи оптических дисков. Конструкция и принцип действия оптического привода (накопителя). Основные разновидности оптических дисков (CD, DVD, DB, UDO). Перспективы развития.
2. Накопители на магнитооптических дисках. Принцип действия магнитооптического накопителя. Основные разновидности магнитооптических дисков. Перспективы развития.
3. Накопители на голографических дисках. Принцип действия голографического накопителя. Актуальное состояние технологии и перспективы развития.

1. Оптическая технология

В основе технологии лежит **принцип регистрации интенсивности лазерного луча, отраженного от рельефной** (или неоднородной с точки зрения оптики) **поверхности**.

Модулирование степени отражения лазерного луча:

- варьирования **рельефа** отражающего слоя (штампованные диски);
- варьирования **прозрачности** органического слоя, покрывающего слой отражающего материала (записываемые/перезаписываемые диски);
- создания эффекта **голограммы** за счет интерференции нескольких лучей, сфокусированных на разной глубине (голографические диски).

Для записи информации применяется **принцип «выжигания»** органического вещества (записываемые диски) или изменения фазового состояния вещества (перезаписываемые диски), расположенного над плоским отражающим слоем.

Отражающий и другие слои располагаются в глубине диска, изготовленного из прозрачного пластика (поликарбоната).

Работу с диском осуществляет оптический привод.

1. Оптический диск

Накопитель на оптических дисках (Optical Disc Drive, **ODD**) до 2010 года являлся основным устройством хранения данных на **сменных носителях** для настольных ПК и ноутбуков.

Начиная с первого массового диска, **CD** (CD-DA, CD-ROM), наиболее массовыми стали диски диаметром **12 см** и толщиной **1.2 мм**.

Существуют мини-диски диаметром **8 см**, но их использование ограничено компактными устройствами (напр., видеокамерами).

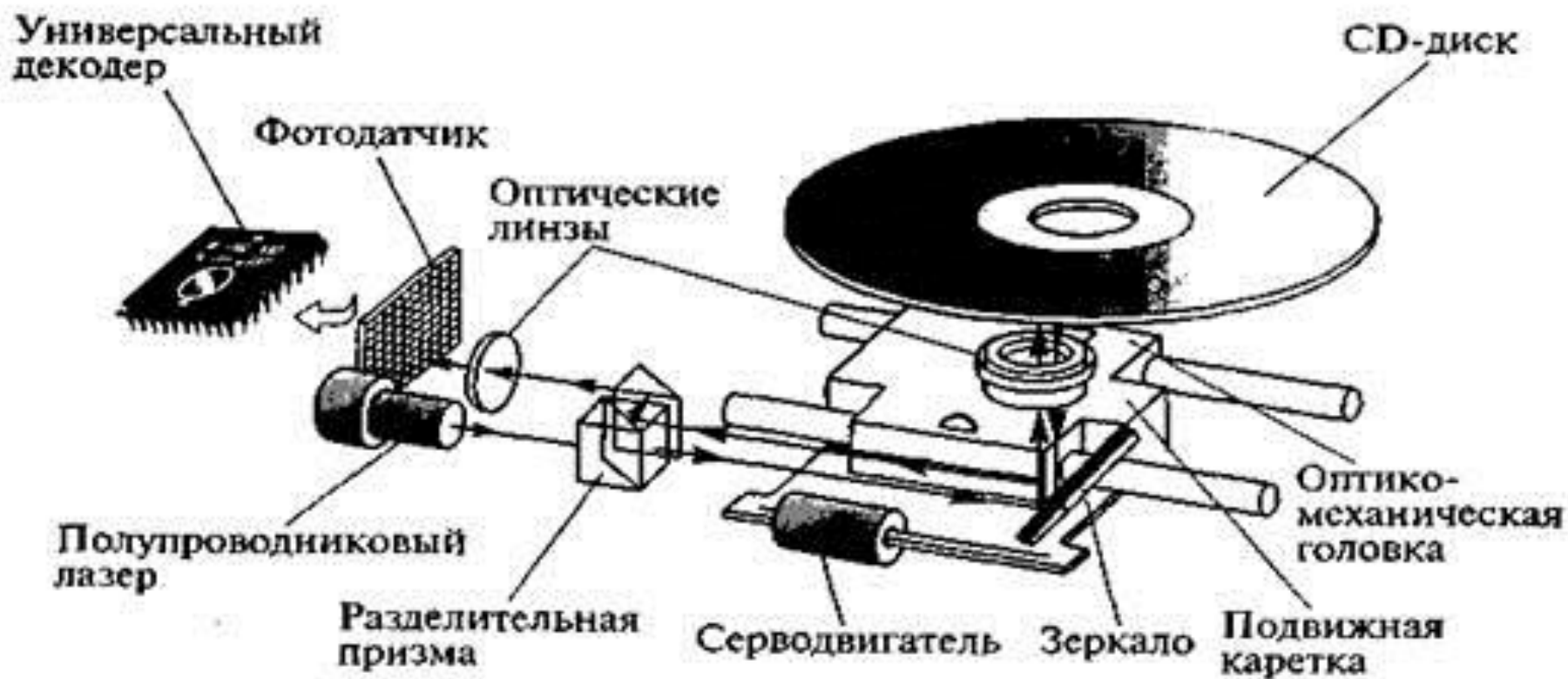
Оптический диск содержит центральное **отверстие** (для захвата в приводе) и **рабочую поверхность**, на которой нанесена **непрерывная спиральная дорожка**, от центра к краю. Служебные области располагаются в **начале и конце дорожки**.

Диски, не предназначенные для записи, изготавливаются методом литья, поэтому для **модуляции** выбран **метод физического рельефа**.

На дисках для **однократной** записи литьем выполнены границы дорожек (*groove*), а данные модулируются за счет **изменения прозрачности** органического красителя.

В **перезаписываемых** дисках используется метод изменения фазового состояния вещества.

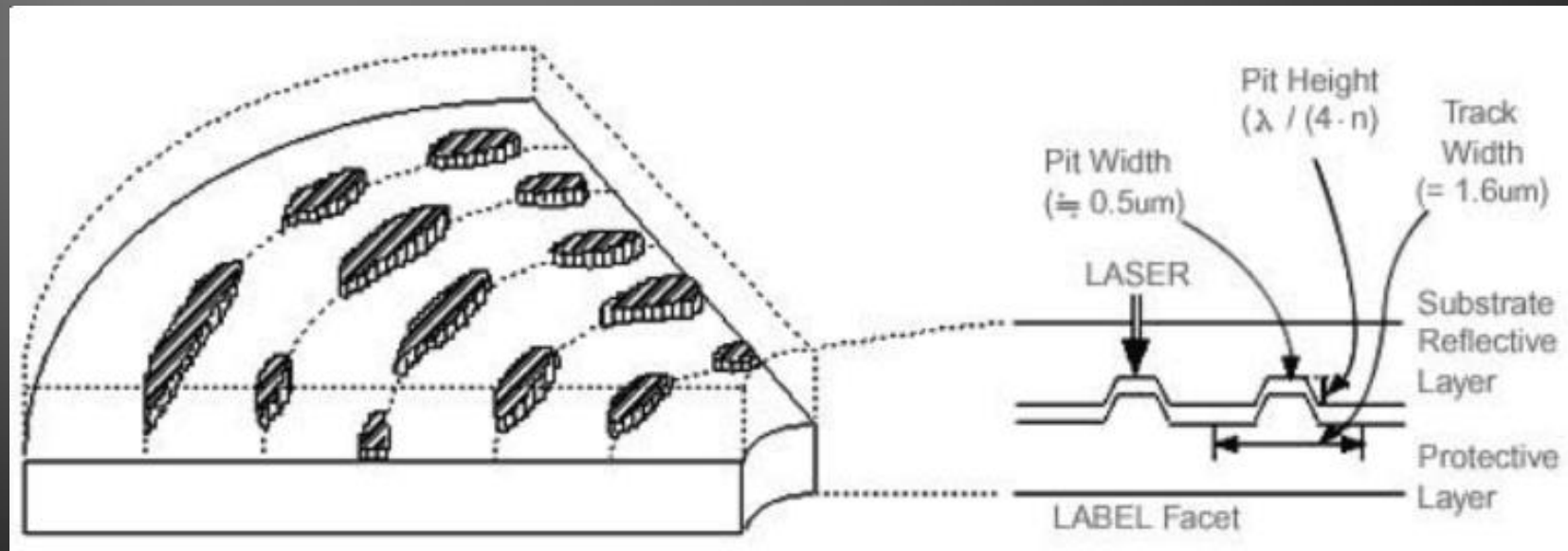
1. Оптический диск



1. Диски ROM (только для чтения)

Диски с неизменяемым содержимым (ROM) изготавливаются промышленным способом и не могут быть перезаписаны. В глубине такого диска имеется отражающий слой с рельефом, который имеет вид спиральной дорожки с расположенными на ней выступами (pits) переменной длины.

При чтении отраженный луч лазера отражается от плоской поверхности (land) и складывается с лучом испущенным. Высота питов подобрана таким образом, что отраженный от них луч находится в противофазе к лучу испущенному, что приводит к ослаблению отраженного луча.



1. Процесс изготовления ROM-дисков

Фотолитография

- на подложку из полированного стекла наносится тонкий (не более 0.1 мкм) слой фоторезиста;
- устройство, называемое Laser Beam Recorder, оставляет отметины в местах питов (в этих местах фоторезист будет смыт);
- фоторезист смывается, на поверхности стекла образуется микро-рельеф;
- на подложку наносится слой серебра (металлизируется подложка);
- на подложке «выращивается» первая маска из никелевого сплава;
- по первой маске изготавливаются литьевые формы (stampers);
- формы полируются, обрезаются, вырезается центральное отверстие;
- методом литья под высоким давлением изготавливается прозрачный субстрат из поликарбоната заданной толщины;
- со стороны рельефа наносится тонкий слой алюминия (золота, серебра или другого металла);
- поверхность металла наносится лаковое покрытие и печатается этикетка.

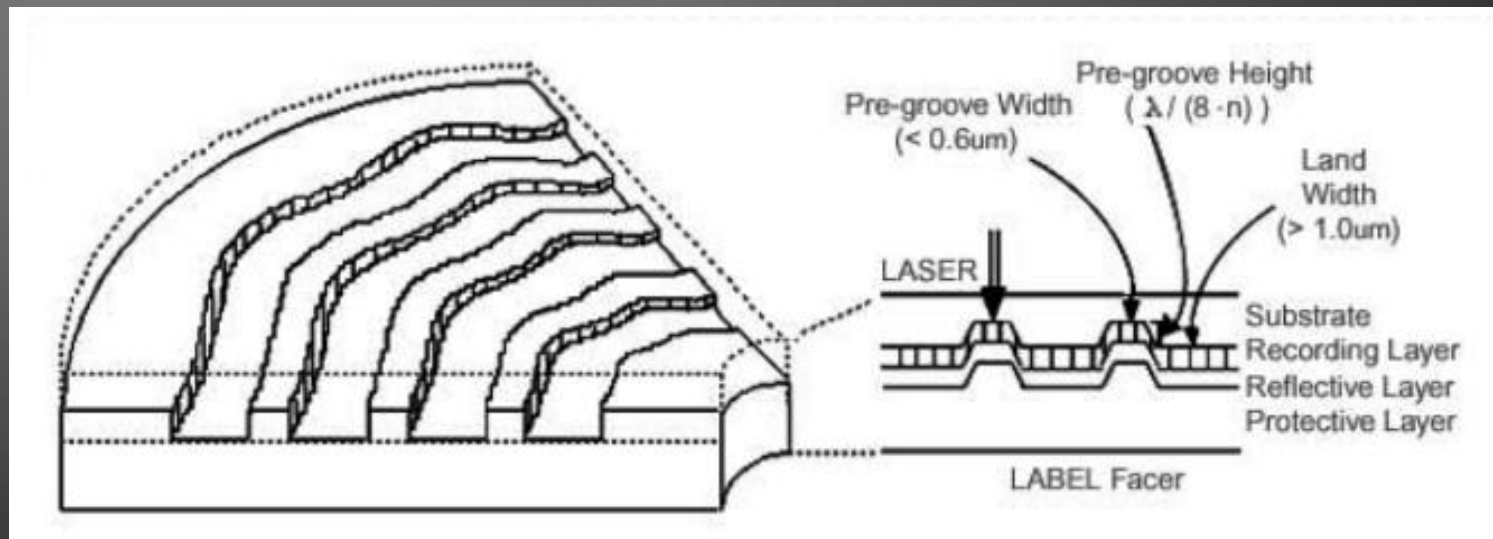
1. Однократно записываемые диски

Однократно записываемые диски (-R) состоят из светочувствительного органического слоя (dye), поликарбонатного слоя с объемными границами дорожек (groove) и отражающего слоя золотистого или серебристого цвета.

В процессе изготовления на подложке формируются волнообразные дорожки (pre-groove), а перед отражающим наносится светочувствительный слой. Частота колебания дорожек служит информацией для синхронизации.

При записи участки слоя dye «выжигаются» (темнеют) от воздействия лазера, имитируя тем самым расположение пиков штампованного диска.

После записи органический слой не восстанавливается, поэтому перезапись или стирание данных невозможна.

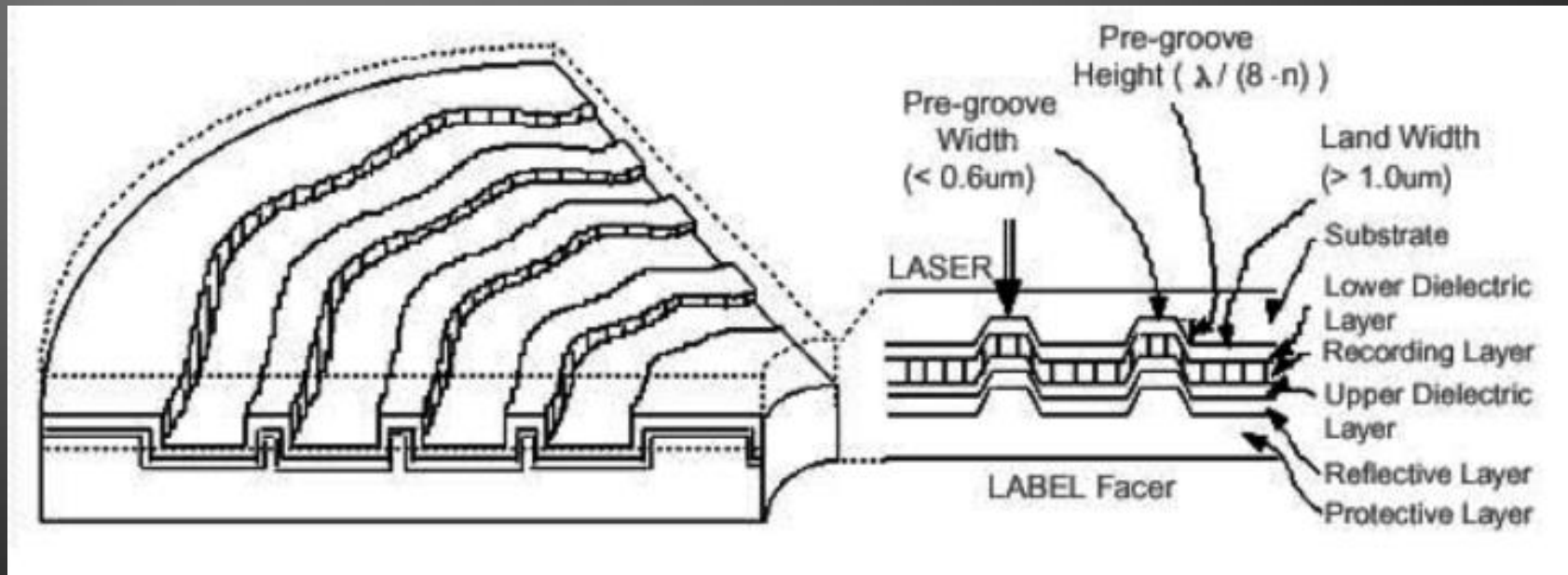


1. Перезаписываемые диски

Перезаписываемые (а точнее, стираемые) **диски** используют эффект изменения фазового состояния сплава редкоземельных металлов под действием заданной температуры.

Структура диска аналогична однократно записываемому, за исключением того, что светочувствительный слой с двух сторон защищен слоями диэлектрика, которые способствуют лучшему охлаждению после воздействия лазера.

Участки с кристаллическим состоянием лучше отражают свет, имитируя плоскую поверхность.



1. Перезаписываемые диски

Сплав, используемый в перезаписываемых дисках – это AgInSbTe .

При воздействии на это вещество лазером можно получить либо аморфную, либо кристаллическую форму. В первом случае требуется нагреть вещество до температуры плавления (500-700 °C) и быстро охладить. В аморфной форме сплав слабо пропускает световое излучение, что позволяет имитировать питы. Во втором случае нагрев выполняется выше температуры кристаллизации (200 °C), но ниже температуры плавления.

После охлаждения сплав оформляется в виде кристаллической структуры, что позволяет лучше пропускать световое излучение.

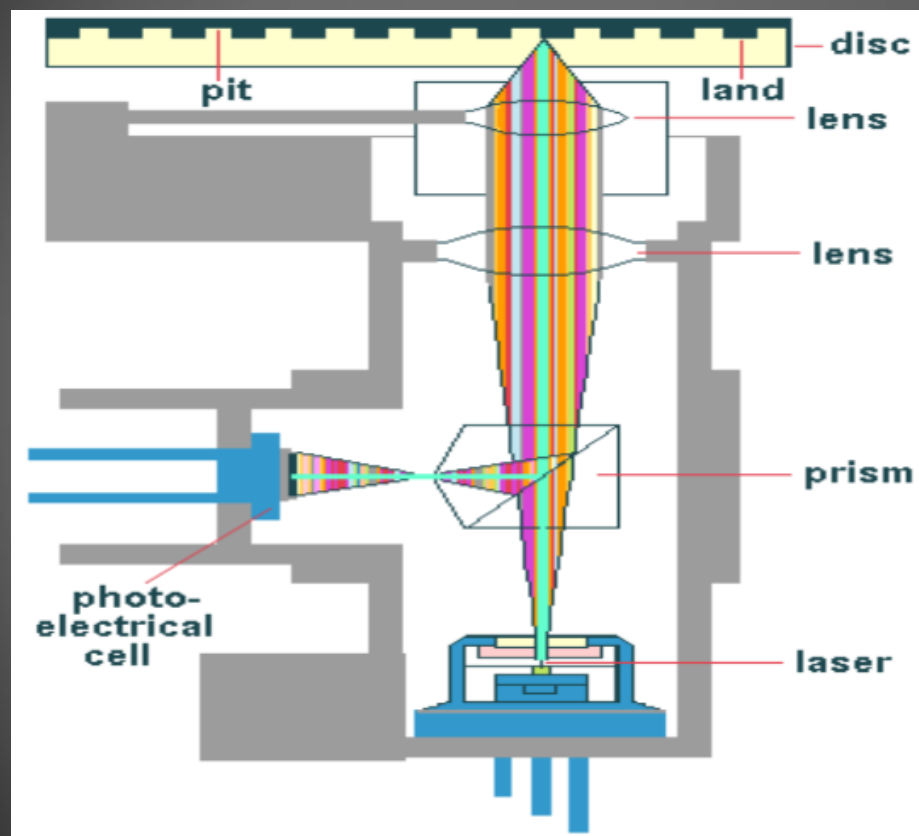
При записи лазер воздействует на спиральную дорожку (groove) попеременно мощностью двух номиналов (Write Power и Erase Power), формируя за один проход участки с кристаллической и аморфной формой сплава.

1. Лазерная головка

Чтение и запись данных на оптических дисках выполняется при помощи **лазерной головки**. Полупроводниковый лазер с определенной длиной волны излучения (зависит от физических параметров структуры штампованного диска) вместе с фотоприемником и набором оптических элементов помещен в цельный металлический корпус, который перемещается при помощи червячной передачи вдоль радиуса диска.

- ❖ В оптической технологии прямой и отраженный луч лазера проходят по одной оси и фактически объединяются, усиливая или ослабляя друг друга. При этом испущенный луч проходит призматическое зеркало без изменений, а отраженный, идущий с другой стороны, направляется на фотоприемник.
- ❖ В лазерной головке все элементы, кроме фокусирующей линзы, неподвижны. Последняя управляется электромагнитным приводом по двум осям для обеспечения фокусировки лазерного пятна и позиционирования его на спиральной дорожке.

1. Схема лазерной головки (PUN, Pickup Head)



Содержит:

- линзу;
- электромагнитный привод линзы;
- источник лазерного излучения (обычно полупроводниковый);
- оптическую систему (состоит из основной подвижной линзы, астигматической линзы для авто-фокусировки, коллиматорной линзы для формирования зеркал и призмы разделения лучей по числу лазерных источников и фоториетника, разделенного на зоны для осуществления фокусировки луча и трекинга дорожки).

1. Лазерная головка (Pickup Head)

В общем случае оптическая система РУН состоит из:

- основной подвижной линзы, осуществляющей фокусировку луча на поверхности.
- астигматической линзы, добавляющей астигматические свойства лазерному лучу (необходимо для работы системы авто-фокусировки).
- коллиматорной линзы, формирующей зеркала.
- призмы разделения лучей (по числу лазерных источников).

Фотоприемник разделен на зоны для осуществления фокусировки луча и трекинга дорожки. Конструкция может предусматривать несколько фотоприемников.

Луч лазера также может разделяться на части для осуществления трекинга по методу трех лучей.

Для фокусировки и трекинга могут понадобиться другие призмы и линзы в зависимости от конкретных методов, примененных в устройстве.

1. Оптические приводы

Накопители на оптических дисках, или **оптические приводы** (Optical Disc Drive, ODD) предназначены для чтения и/или записи оптических носителей информации (в зависимости от модели). Иногда они могут работать с несколькими дисками сразу (чейнджеры).

В общем случае по функциональности они подразделяются на следующие классы:

- Устройства для чтения (Readers) определенного типа дисков.
- Устройства для чтения и записи (Writers) определенного типа дисков.
- Устройства комбинированного типа, способные читать один вид носителей и читать/записывать другой вид (Combo drives).

В компьютерных системах применяются оптические приводы двух форм-факторов – 5.25” для настольных ПК и серверов и 5.25” slim для мобильных компьютеров. Внешние оптические приводы фактически содержат внутри привод одного из двух указанных типов.

1. Конструктивное исполнение

Принцип действия и основные элементы всех оптических приводов одинаковы, вне зависимости от функционала или поколения. Основные различия кроются в механике, отвечающей за подачу и крепление диска, и в конструкции оптической головки.

Диск может подаваться одним из следующих способов:

- Лоток (Tray).
- Кассета (Caddy).
- Ролики (Slot).
- Непосредственная установка на шпиндель (Top-load).
- Установка на выдвижную платформу (в приводах slim).

Как правило, массовые оптические диски не имеют картриджей и устанавливаются в привод непосредственно. Привод может быть оснащен системой смены дисков той или иной конструкции (Disc Changer), но в ПК, ноутбуках и серверах такие устройства практически не встречаются.

1. Методы фокусировки

Для обеспечения надежного считывания оптических свойств поверхности пятно лазерного луча должно очень точно позиционироваться на дорожке по двум осям – вертикальной и поперечной (третья ось обеспечивается вращением диска).

Следовательно, оптическая головка должна обеспечивать выполнение двух операций:

1. Фокусировки луча на поверхности (получение пятна лазера заданного диаметра).
2. Позиционирования луча на дорожке (tracking, треккинг).

Для обеих операций применяются различные свойства лазерного излучения. Причем наилучшим считается метод, требующий меньших затрат на оптические элементы.

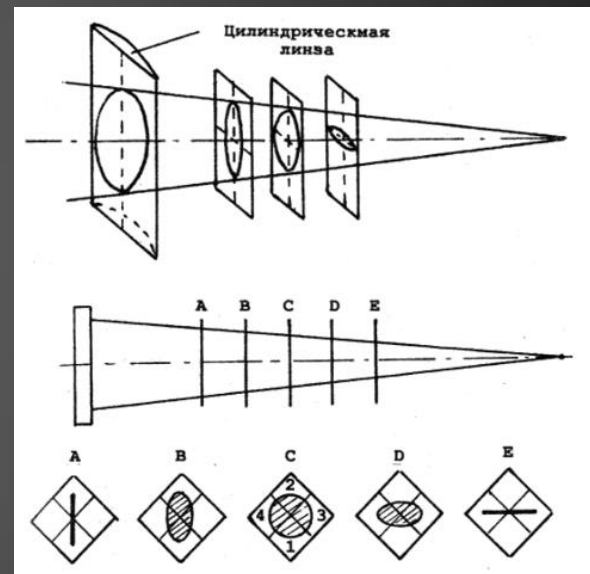
Фокусировка лазера требуется ввиду того, что форма диска не является идеально гладкой, кроме того, его крепление к шпинделю невозможно осуществить с высокой точностью.

Следовательно, диск испытывает постоянное биение в вертикальной плоскости.

1. Метод астигматизма пучка

Наиболее распространенный метод фокусировки, используемый во многих устройствах – это **метод астигматизма пучка**. Он использует свойство лазерного луча, прошедшего через астигматическую (цилиндрическую) линзу, изменять форму пучка в зависимости от расстояния до плоскости наблюдения.

Для реализации этого метода лазерный луч проходит через неподвижную астигматическую линзу. Фотоприемник, состоящий из 4 площадок, расположен таким образом, чтобы получать пятно круглой формы только тогда, когда лазерный луч отразился от поверхности на заданном расстоянии. Если расстояние до поверхности больше или меньше, то форма пятна будет вытянута по вертикали или горизонтали. Сравнив данные на 4 площадках, можно определить отклонение отражающей поверхности в ту или иную сторону.



1. Методы трекинга

Существует три базовых метода трекинга, которые применяются в различных оптических приводах. Данные методы имеют различную техническую сложность, требования к затратам на оптику и электронику, точность, чувствительность к фокусировке, глубине пит, ширине дорожки и т.д.

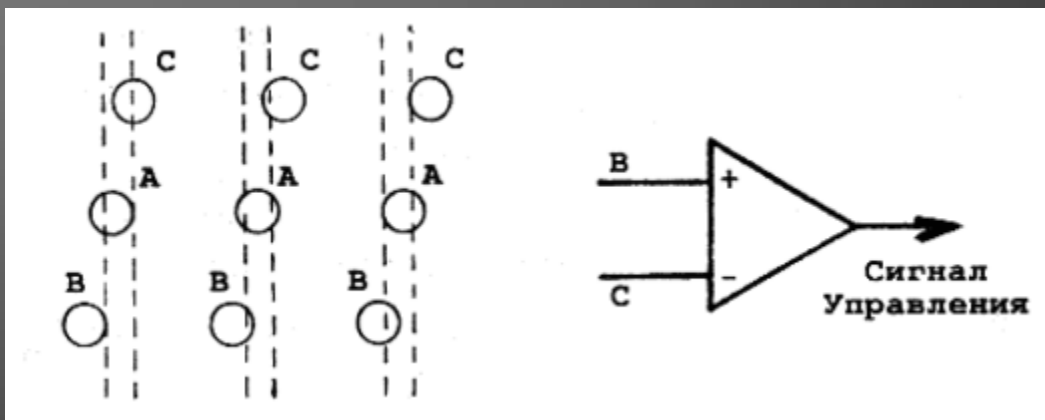
- 1) **Метод трех лучей** (three-beam) самый простой и старый, из-за громоздкости оптической системы практически не применяется.
- 2) **Метод дифракции** (push-pull) чувствителен к глубине пит и для дисков DVD и BD не применяется.
- 3) **Метод разности фаз** (differential phase) может применяться для питов различной глубины и нескольких слоев, и, несмотря на недостатки, является базовым методом для DVD и BD.

1. Метод трех лучей

Предусматривает разделение луча лазера на три, сфокусированные на расстоянии, равном ширине дорожки. Если центральный луч, используемый для чтения/записи данных, находится точно на дорожке, два крайних (управляющих) луча будут отражаться от междорожечных промежутков, а значит, не будут модулироваться.

Если основной луч сходит с дорожки, то на одном из крайних лучей появляется модулированный сигнал. Получив разность сигналов с двух управляющих лучей, можно вычислить направление треккинга.

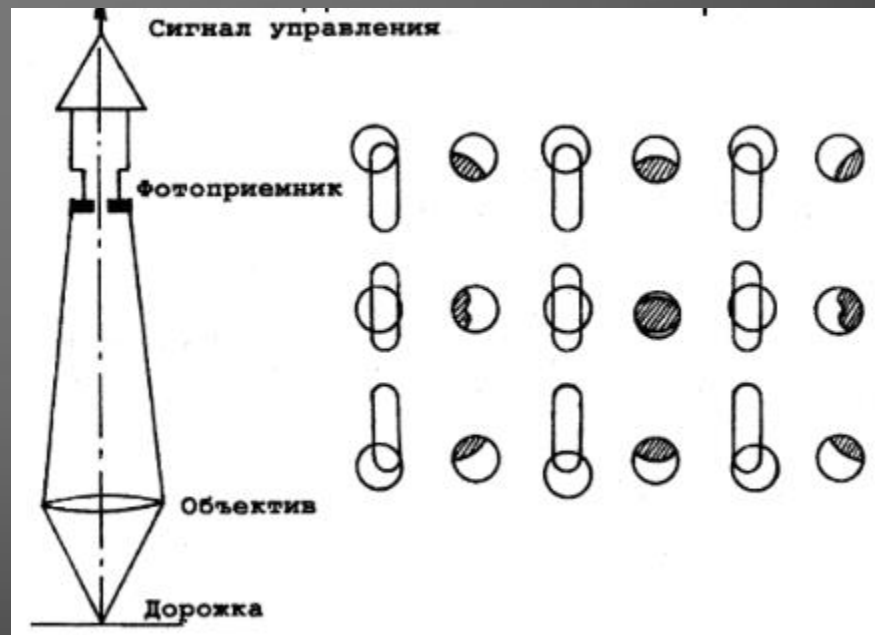
Недостаток метода: в необходимости отслеживания трех лучей и разделения основного луча на три части (с потерей мощности). Но он наиболее надежный.



1. Метод дифракции

Основывается на том, что мощность отраженного пучка из-за дифракции, вызванной пирами, распределена неоднородно. Если луч теряет дорожку, то на левой или правой части фотоприемника мощность луча становится больше, что можно использовать для выработки сигнала управления.

Данный метод наиболее прост в реализации. Однако он нормально работает при глубине пит $1/6-1/8 \lambda$, что возможно лишь при малой плотности данных и большой длине волны лазера.

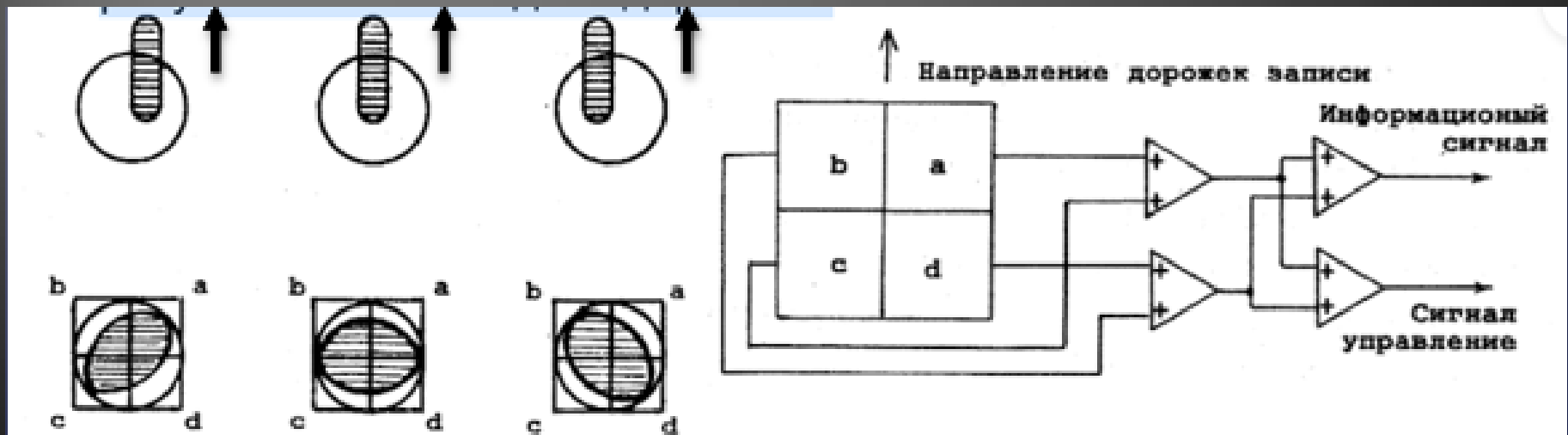


1. Метод разности фаз

Используется один луч, однако для вычисления положения на дорожке использует измерение фазового сдвига между информационным сигналом и разностным сигналом, полученным с двух пар фотоприемников. При смещении пятна относительно центра дорожки сигнал появляется раньше на левой или правой части 4-х секционного фотоприемника, что можно зафиксировать с помощью схем вычисления разности сигналов.

Преимущество данного метода в том, что он корректно работает при глубине питов $1/4 \lambda$ и меньше, и не требует перемещения фотоприемника.

Недостаток: в появлении ошибки при совпадении рисунка пит на соседних дорожках.



1. Модуляция и кодирование данных

Особенность формирования сигнала на поверхности оптического диска учтена при выборе методики модуляции и кодирования информации. В частности, для нейтрализации возможных дефектов применяется **двухуровневая схема избыточности с добавлением контрольных сумм.**

Для нейтрализации протяженных дефектов блоки данных перемежаются (скрэмблирование) с достаточно большим шагом.

Модуляция 8/14 (EFM— Eight to Fourteen Modulation):

Байты данных преобразуются в **14-битные символы**, в которых группы единиц разделены некоторым количеством нулей (в зависимости от метода кодировки). При этом единица соответствует потере сигнала (рассеиванию на пите), нули – отражению сигнала.

Символы данных организуются в каналные кадры (CD) или секторы (DVD, BD).

1. Поколение оптических дисков

На сегодня существует три поколения оптических дисков для хранения данных:

- CD – Compact Disc
- DVD – Digital Versatile Disc
- BD – Blu-ray Disc

Эти три поколения дисков отличаются по:

- плотности записи (физическим параметрам – ширине и глубине дорожек, размерам питов);
- логической структуре;
- типу применяемого для чтения/записи лазера.

Помимо массовых, существуют десятки других форматов, не получивших распространения или применяемых в узких областях. Кроме того, в процессе принятия того или иного стандарта выпускались гибридные диски, сочетающие характеристики двух форматов сразу.

1. Компакт-диск (CD)

Разработан Philips и Sony в 1983 году для задач хранения и распространения аудио в цифровом виде. Возможность копирования и записи не предусматривалась. Позже был приспособлен для хранения данных, реализована возможность записи.

Параметры диска:

- Диаметр 120 мм;
- Толщина 1.2 мм;
- Отражающий слой на глубине 1.2 мм (на уровне этикетки);
- Лазер $\lambda=780$ нм, инфракрасный;
- Шаг витков спирали – 1.6 мкм;
- Ширина дорожки – 0.5 мкм;
- Глубина питов – 0.125 мкм ($\lambda/6$);
- Емкость (исходная) – 74 мин., или 650 Мб;
- Емкость может быть увеличена до 80 мин (700 Мб), 90 мин (800 Мб) или 99 мин (900 Мб) за счет незначительного уплотнения дорожек.

1. Особенности CD

- Диск CD считывается и записывается лазером инфракрасного диапазона.
- Глубина питов подобрана таким образом, чтобы обеспечить возможность реализации любого из методов авто-фокусировки и треккинга.
- Толщина прозрачного слоя составляет практически всю толщину диска, что обеспечивает защиту даже от глубоких царапин. Вместе с тем диск очень уязвим с обратной стороны, в том числе для коррозии.
- Примененный метод кодирования данных обладает большой избыточностью и содержит большое количество служебных бит (даже больше, чем информационных). Кроме того, система организации блоков данных и их адресации ориентирована на цифровое аудио, что не очень удобно для хранения данных. Фактически секторная организация реализована «поверх» кадровой организации.

1. Формат DVD

Был создан в 1995 году на базе двух конкурирующих разработок – SDD (Pioneer, Toshiba и др.) и MMCD (Sony, Philips). Фактически была принята разработка Super-Density Disc, но с модуляцией EFM+, унаследованной от MMCD.

Он отличается алгоритмом преобразования и требует ввода на границе следующих подряд 14-разрядных кодов не трех, а только двух дополнительных битов, обеспечивающих условие ограничения размеров пита в диапазоне от 3 до 11 бит (т.е. между двумя последовательными единицами после кодирования не меньше 2 и не больше 10 нулей). Из каждого байта получаем не $14 + 3 = 17$, а $14 + 2 = 16$ кодовых битов. Изменение метода модуляции — только одно из множества форматных изменений, позволяющих в целом увеличить объем сохраняемых данных. Собственно переход к EFM+ добавляет еще 6% к объему диска.

1. Формат DVD

В 1997 году был дополнен форматами однократно записываемого диска DVD-R и перезаписываемого диска DVD-RAM, оба – уменьшенной емкости.

В 1999 году были предложены форматы DVD-RW, а также DVD-Video и DVD-Audio.

В 2000 году организация RW Alliance (HP, Philips, Sony, Verbatim, Ricoh, Yamaha и др.) предложила формат DVD+RW, годом позже – DVD+R.

С 2004 года в продаже имеются двухслойные диски DVD+R Dual Layer (DVD+R9), с 2005 – DVD-R Double Layer.

Двухслойные перезаписываемые диски на рынок так и не пошли.

1. Особенности технологии DVD в сравнении с CD

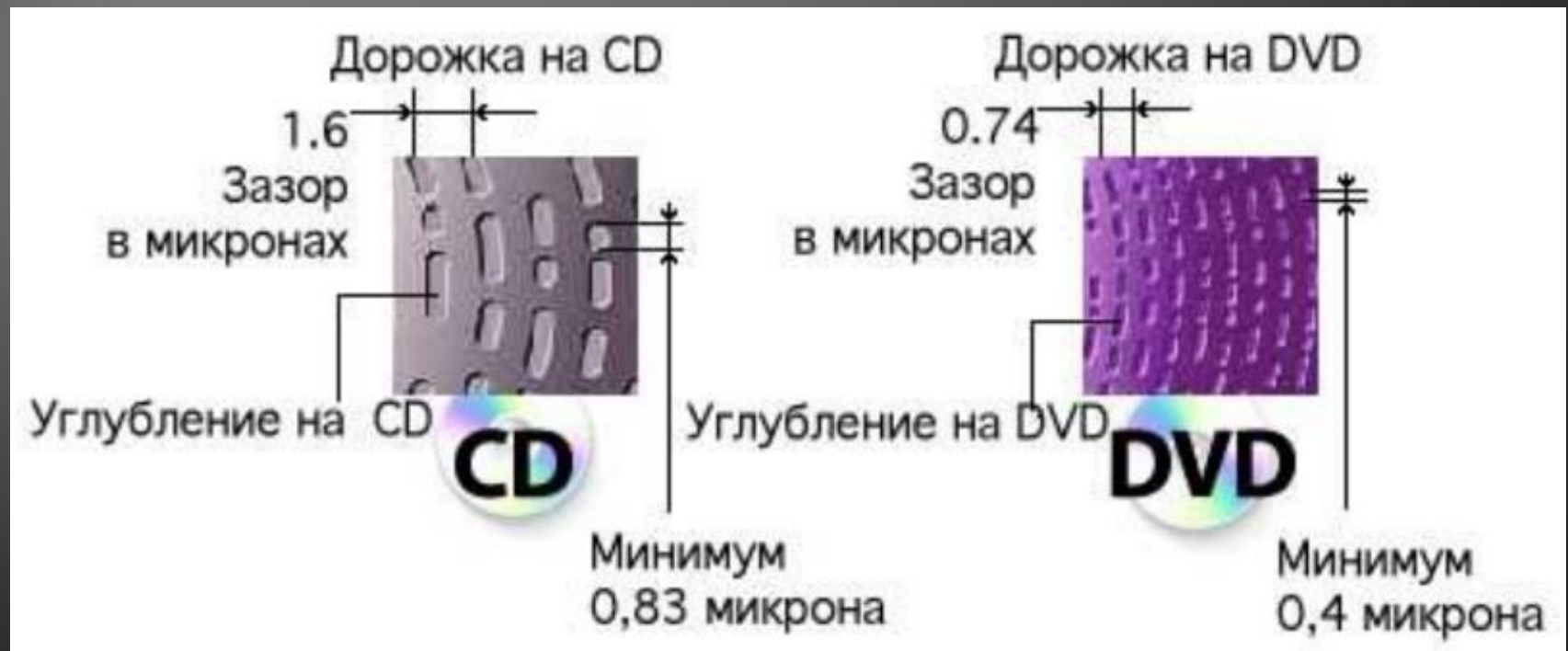
- Длина волны лазера уменьшена до 650 нм (красный диапазон).
- Толщина субстрата уменьшена вдвое – до 0.6 мм, обычный DVD всегда является двухслойным.
- Апертура линз увеличена до 0.34, глубина залегания отражающего слоя уменьшена до 0.6 мм.
- Ширина дорожек (track pitch) уменьшена до 0.74 мкм.
- Высота пиков увеличена до $\lambda/4$ (0.16 мкм).
- Допустимо использование двух слоев с расстоянием между ними 55 ± 15 мкм, тогда плотность дорожек уменьшается на 10%.
- Применены иные способы кодирования (EFM+: 8b/16b при RLL2.10) и обеспечения защиты от ошибок.

Емкость одного слоя DVD составляет 4.7 Гб:

- Длительность воспроизведения – 133 минуты (2 ч. 13 м.)
- Видеопоток 3.5 Мбит/с
- Три аудиопотока Dolby AC3 по 384 Кбит/с
- Четыре потока субтитров по 10 Кбит/с

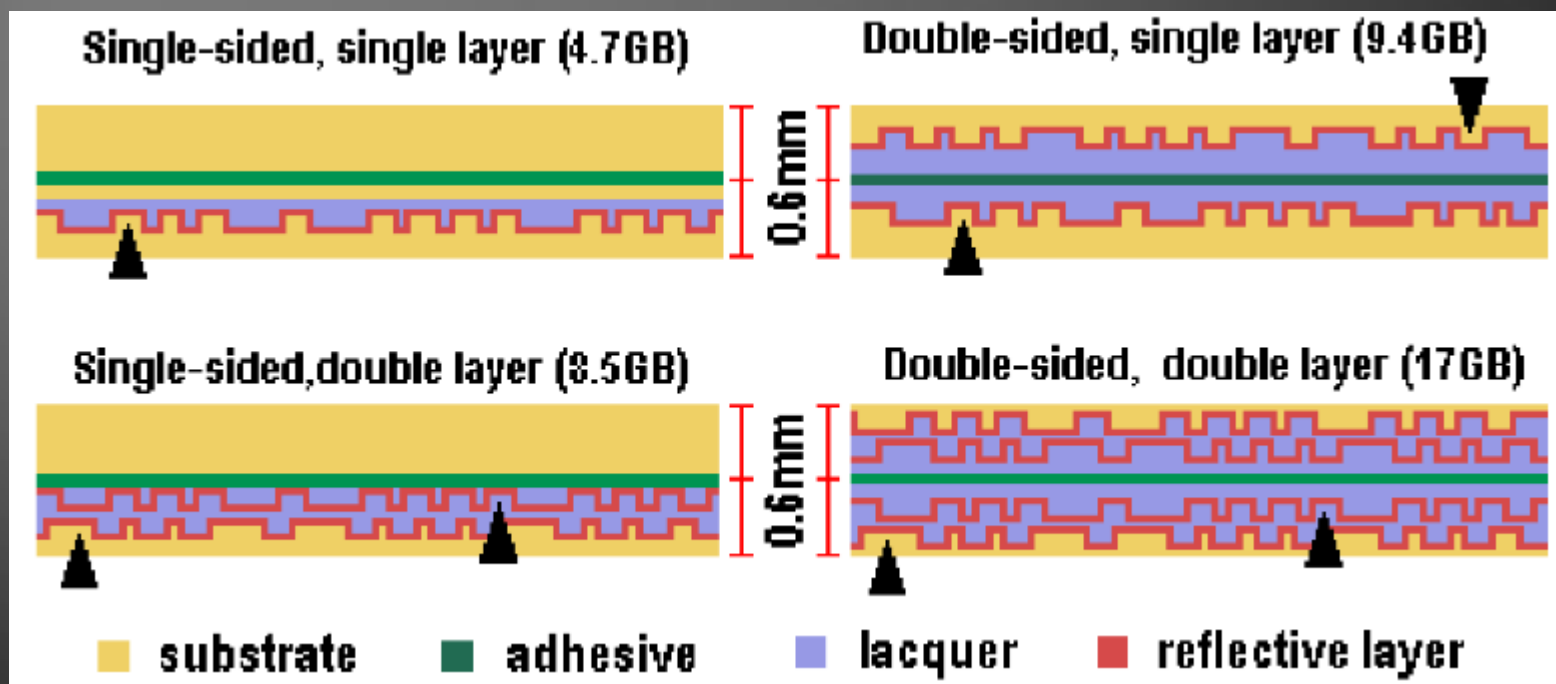
1. Особенности технологии DVD в сравнении с CD

Все различие между 4.7 ГБ DVD и CD заключается в плотности записи. На фотографиях, сделанных с помощью электронного микроскопа, показаны записанные на CD- и DVD носителях информационные элементы называемые впадины, или «питы».



1. Варианты дисков DVD-ROM

Базовый вариант представляет собой двухслойный диск, у которого только одна половина содержит один информационный слой. Неофициальное название – DVD-5. Двухсторонний диск не имеет этикетки, его объем равен сумме двух односторонних дисков (DVD-10). Двухслойные диски бывают односторонними (DVD-9) и двухсторонними (DVD-18).



1. Формат сектора DVD

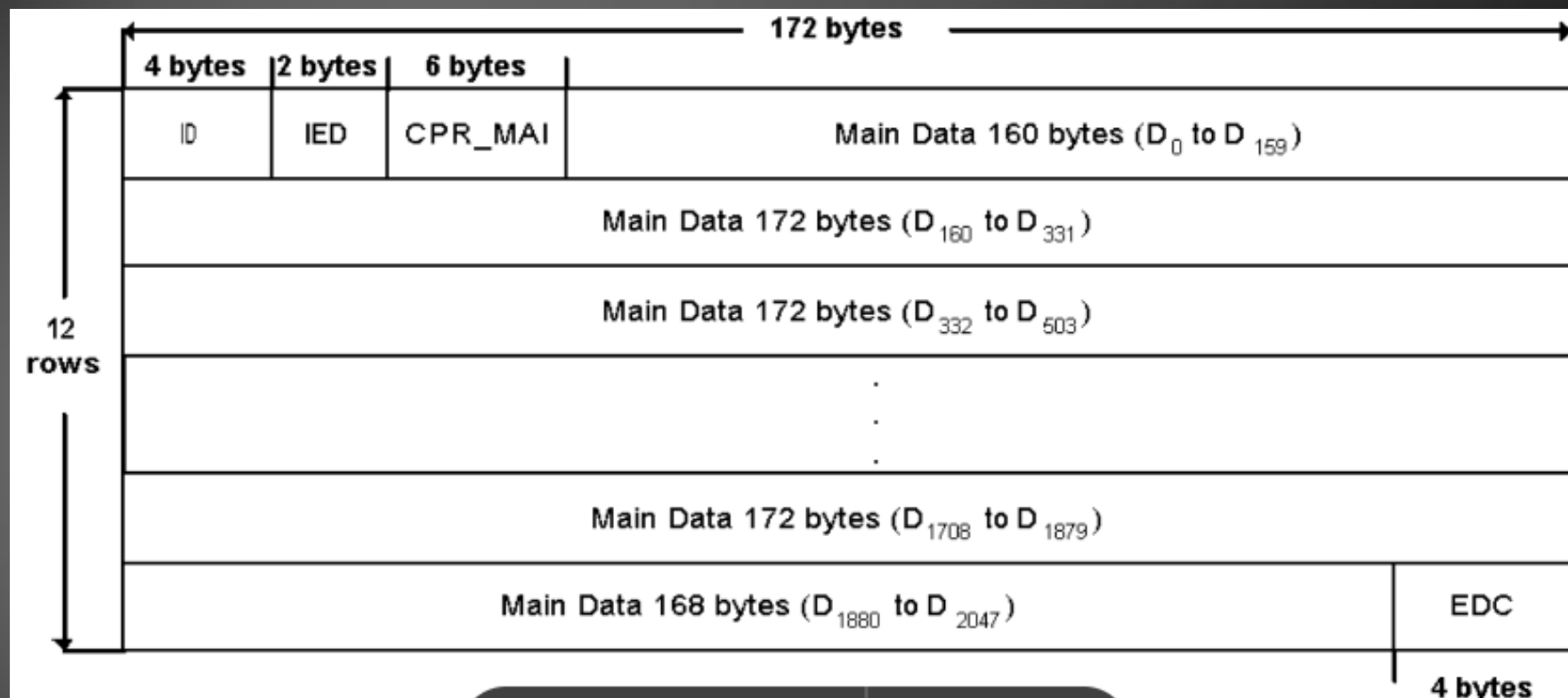
Физическая структура DVD-диска общая для всех типов информации, хранимой на нем. Данные о типе и содержании мультимедиа-контента хранятся в файловой системе и внутренней структуре файлов, а не на физическом уровне.

Единица хранения данных – сектор с 2048 байт полезной нагрузки.

Каждый сектор состоит из:

- Идентификатор ID (4 байта), в котором хранится адрес сектора (3 байта) и служебный байт, биты которого описывают регион, номер слоя, отражающую способность диска, возможность записи, слежение за питами или грувом и пр.
- ECC-коды для ID (2 байта)
- Служебные коды (6 байт)
- 2048 байт данных (Data Frame, каналный кадр)
- EDC-коды для данных (4 байта)

1. Формат сектора DVD



матрица $12 \times 172 = 2064$ байт ($12 \times 172 = 2046$).

Identification Data (ID), ID Error Detection Code (IED), Copyright Management

• Information (CPR_MAI), данные Main Data ($D_0 - D_{2047}$), Error Detection Code (EDC).

1. Избыточное кодирование

Возникновение повторяющихся последовательностей бит мешает системе слежения за дорожкой. Их нужно исключить путем перемешивания — скрэмблирования. Байты данных скрэмблируются по одному из 16 шаблонов, которые циклически повторяются; в качестве начального значения цикла берутся старшие 4 бита первого байта ID, тем самым шаблон повторяется через $16 \times 16 = 256$ секторов.

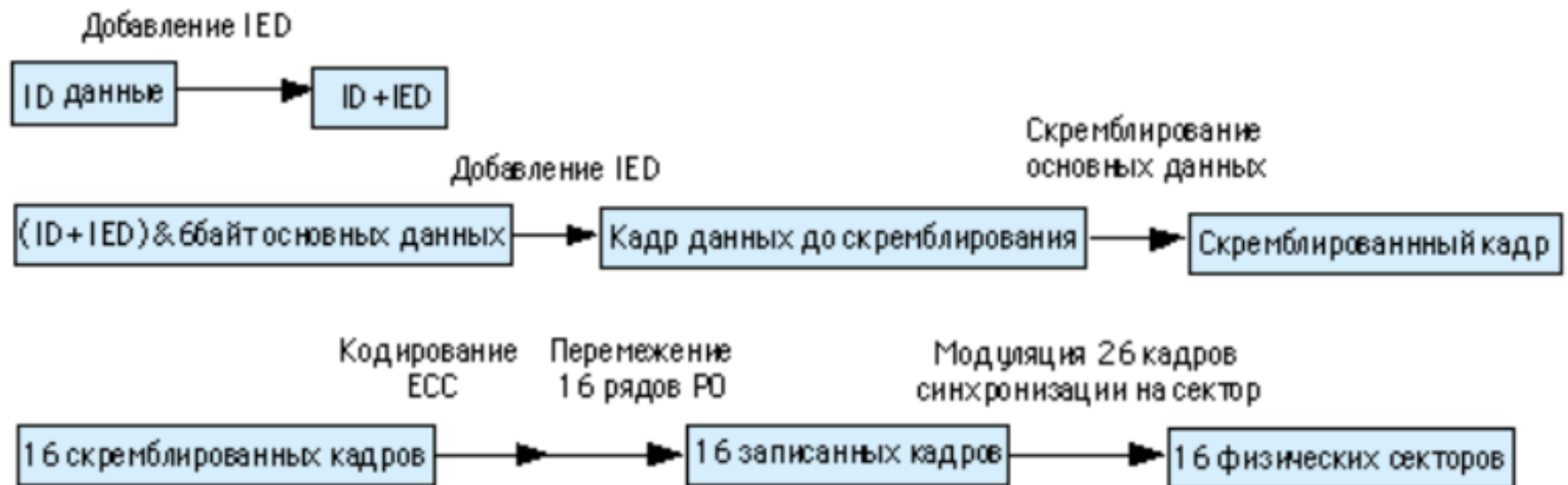
Добавляются коды Рида-Соломона :

- (208, 192, 17) 16 байт (Parity of Outer, PO) к каждому столбцу для матрицы из 192 строк.
- (182, 172, 11) 10 байт (Parity of Inner, PI) к каждым 172 байтам, получается строка из 182 байт.

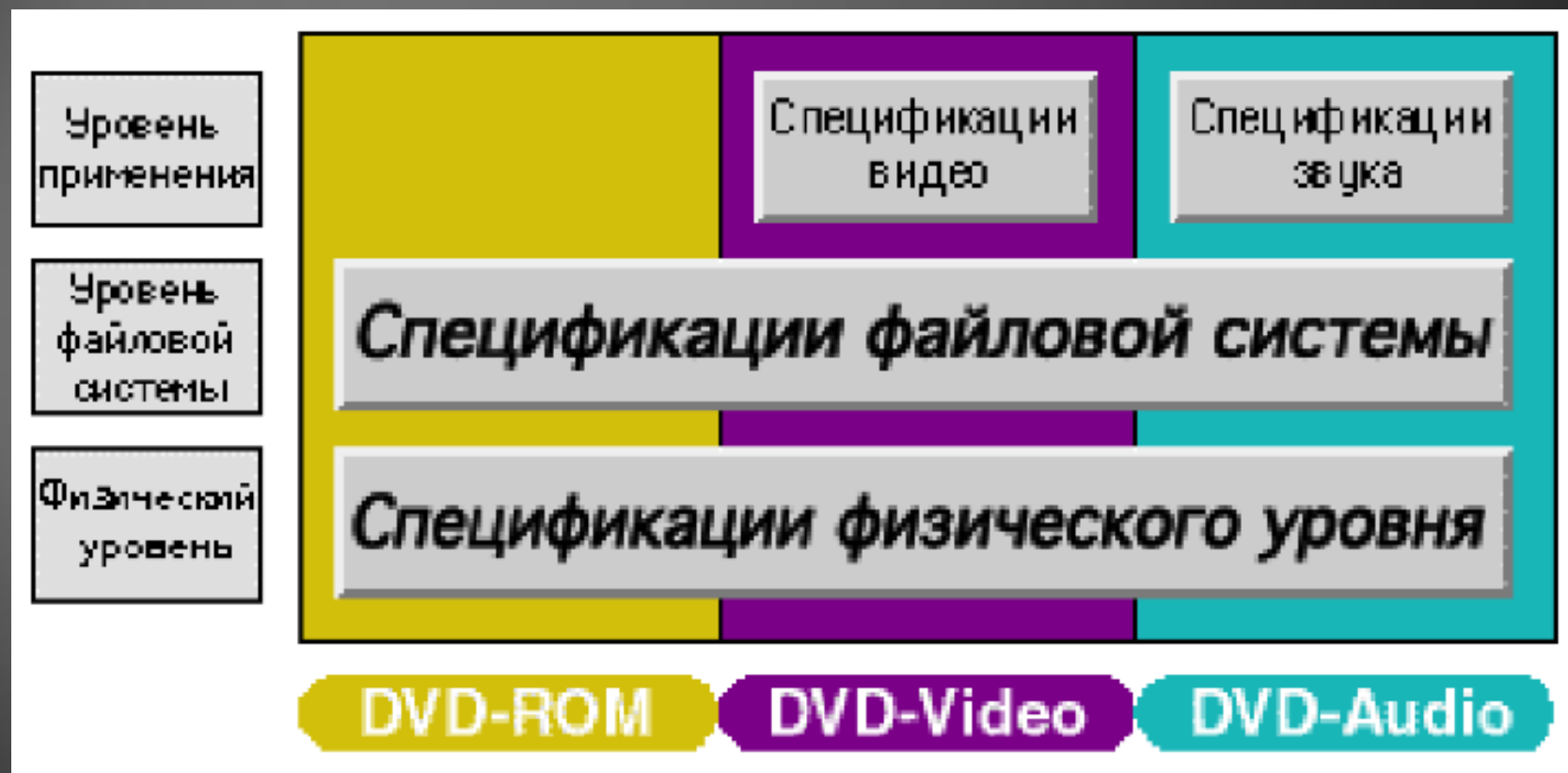
В итоге получается блок из $182 \times 193 = 35$ Кб, или 32 Кб данных + блок ECC (3 Кб). Данные PO перемежаются с PI и байтами данных.

Один каналный кадр состоит из 13 строк по 182 байта, всего получается 16 кадров.

1. Схема кодирования



1. Структура логического формата DVD-ROM

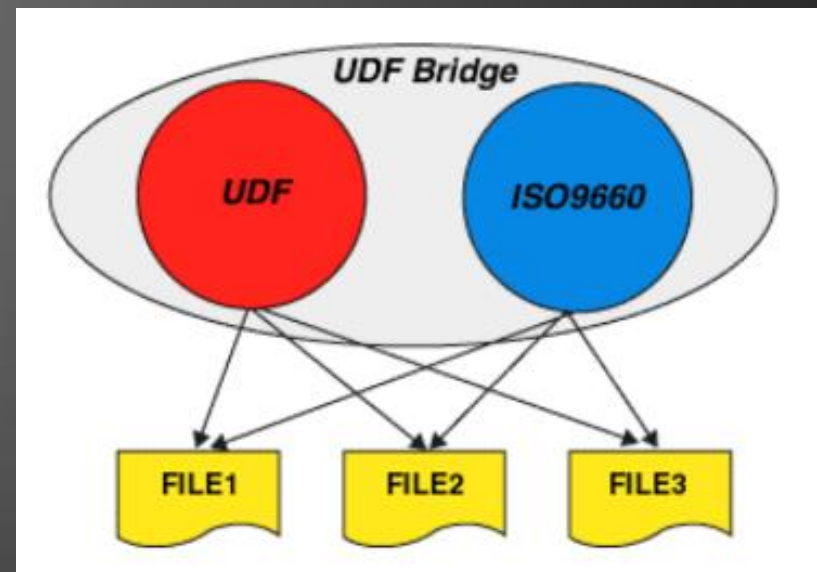


1. Обзор файловой системы DVD-ROM

Диски DVD в общем случае не требуют таблиц TOC (Table Of Contents) и не делятся на треки. Вся информация о структуре содержится в файловой системе

Вводная зона содержит служебную информацию о физическом формате, размере, производителе диска, применении системы защиты от копирования, допустимой скорости чтения и т.п.

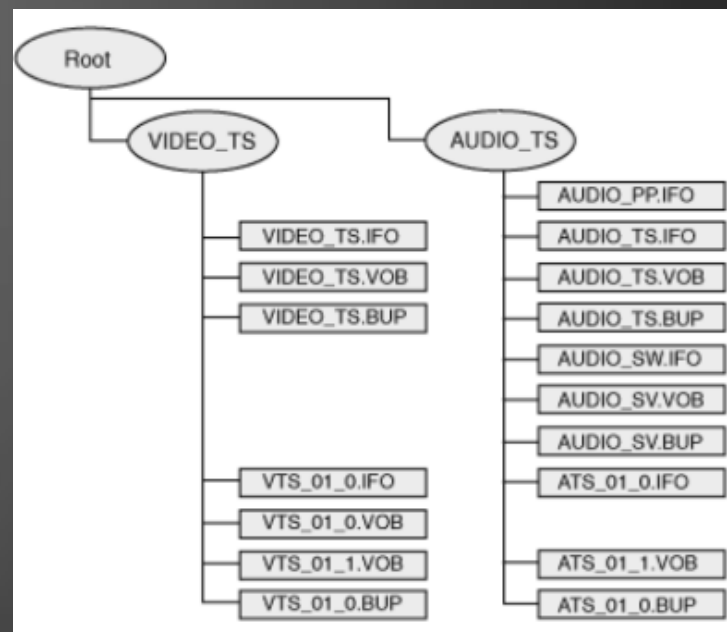
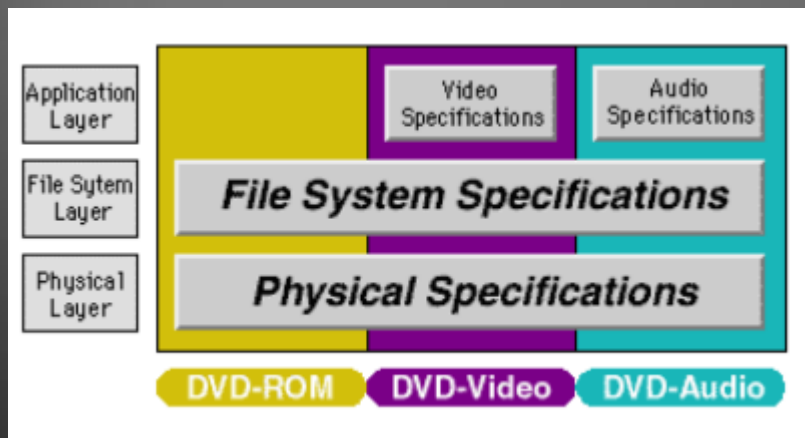
В DVD рекомендуется использовать файловую систему UDF(Universal Disk Format); но для совместимости может содержаться также VTOC системы ISO 9660 (Volume Table Of Contents).



1. Предопределенное содержимое

Формат DVD предполагает использование дисков DVD трех основных форматов по содержанию – DVD-ROM с цифровыми данными, DVD-Video с видео и DVD-Audio с высококачественными звуковыми дорожками.

Тип диска определяется по структуре имеющихся папок, которая для DVD-Video и DVD-Audio фиксированный.



1. Файловая система UDF

Файловая система UDF была разработана при поддержке организации OSTA (создана для продвижения на рынок оптических технологий) в 1996 году в качестве замены ISO 9660. Несмотря на то, что она предназначалась прежде всего для перезаписываемых дисков (и была призвана решить проблему неудобства процедуры записи), данная ФС является весьма универсальной, подходящей для любых сменных носителей и обладающей поддержкой множества функций, присущих другим ФС:

- разделы объемом до 8 Тб, 64-битный размер файла;
- длинные и Unicode-имена файлов;
- именованные потоки;
- символические ссылки;
- управление дефектами (Defect management);
- хранение специфической для ОС файловой информации;
- оптимизации для не записываемых, однократно записываемых, перезаписываемых носителей и накопителей с функцией записи.

1. Двухслойные записываемые диски

Изначально RW Alliance занимался разработкой перезаписываемых дисков, которые могли бы конкурировать с DVD-RAM. Но впоследствии на основе DVD+RW были созданы однократно записываемые диски DVD+R, конкурирующие с DVD-R. Впрочем, DVD Forum так и не принял в качестве стандарта DVD+RW и DVD+R.

Дальнейшее развитие DVD+R предполагалось в сторону реализации двухслойной записи. Диски DVD+R9 (DVD+R DL) содержат два отражающих слоя, поверх которых нанесен органический краситель (organic dye). Фокусируясь на первом или втором слое, лазер повышенной мощности может выполнять запись, как на обычном DVD+R. При этом слои расположены по принципу Opposite Track Path (OTP), то есть второй слой начинается не от центра, а от края (точнее, с той же физической позиции, на которой закончилась запись первого слоя).

1. Формат DVD-RAM

Первый и не совместимый с DVD-ROM формат перезаписываемых дисков, разработанный Hitachi и Pioneer. Обеспечивает ту же емкость, но более высокую надежность перезаписи и хранения данных. Оптимизирован для DVD-рекордеров и устройств архивирования.

Поверхность разделена на зоны с равной плотностью секторов на каждой, число зон для диска 4.7 Гб – 35. В пределах зоны скорость линейного чтения остается постоянной.

Отличия от DVD-ROM заключаются в следующем:

- Ширина дорожек уменьшена до 0.615 мкм;
- Размер пита уменьшен до 0.28 мкм;
- Применен дифракционный метод трекинга (push-pull);
- Применен метод адресации CAA (Complimentary Allocated Pit Addressing);
- Запись выполняется как между грувом, так и на нем.

1. Формат Blu-ray Disc

Новое поколение оптических дисков получило свое название от типа лазера, примененного для чтения/записи. Полупроводниковый лазер InGaN имеет длину волны около 400 нм (обычно 405 нм), что приходится на сине-фиолетовую часть видимого спектра.

Работу над оптическими дисками высокой емкости начала Sony в конце 1990-х. Параллельно создавались два вида накопителей – DVR Blue для потребительской электроники (прежде всего рекордеров цифрового ТВ) и UDO для систем резервного копирования и архивирования (на смену ленте и магнито-оптике). Впоследствии DVR был переименован в Blu-ray Disc (искаж. от blue ray).

Впервые устройства Blu-ray (на тот момент без стандарта) были показаны в 2000 году, первое коммерческое устройство – рекордер Sony BDZ-S77 – поступило в продажу в 2003 г. Как стандарт Blu-ray оформился только в 2004 г., когда в консорциум BD Association вошли практически все производители электроники. Однако до 2007 года BD не был массовым.

1. Емкость 25/50 Гб

При создании дисков BD производители сознательно добивались емкости 25 Гб. Это примерный объем 2-часовой записи эфирного или кабельного цифрового вещания высокой четкости (HDTV) в формате MPEG2. Появление BD совпало с развертыванием в Японии цифрового HDTV-вещания, для записи которого на тот момент не существовало подходящих устройств.

Именно поэтому диски BD изначально создавались как перезаписываемые (формат BD-RE). Основным устройством с поддержкой BD до 2007 года оставался дисковый рекордер. С 2008 года BD-ROM начинает активно использоваться как носитель для распространения киноvideопродукции, появляются BD-плееры. На ПК диски BD проникают намного медленнее, что обусловлено прежде всего высокой стоимостью как приводов, так и дисков BD-R/-RE.

1. Особенности технологии BD

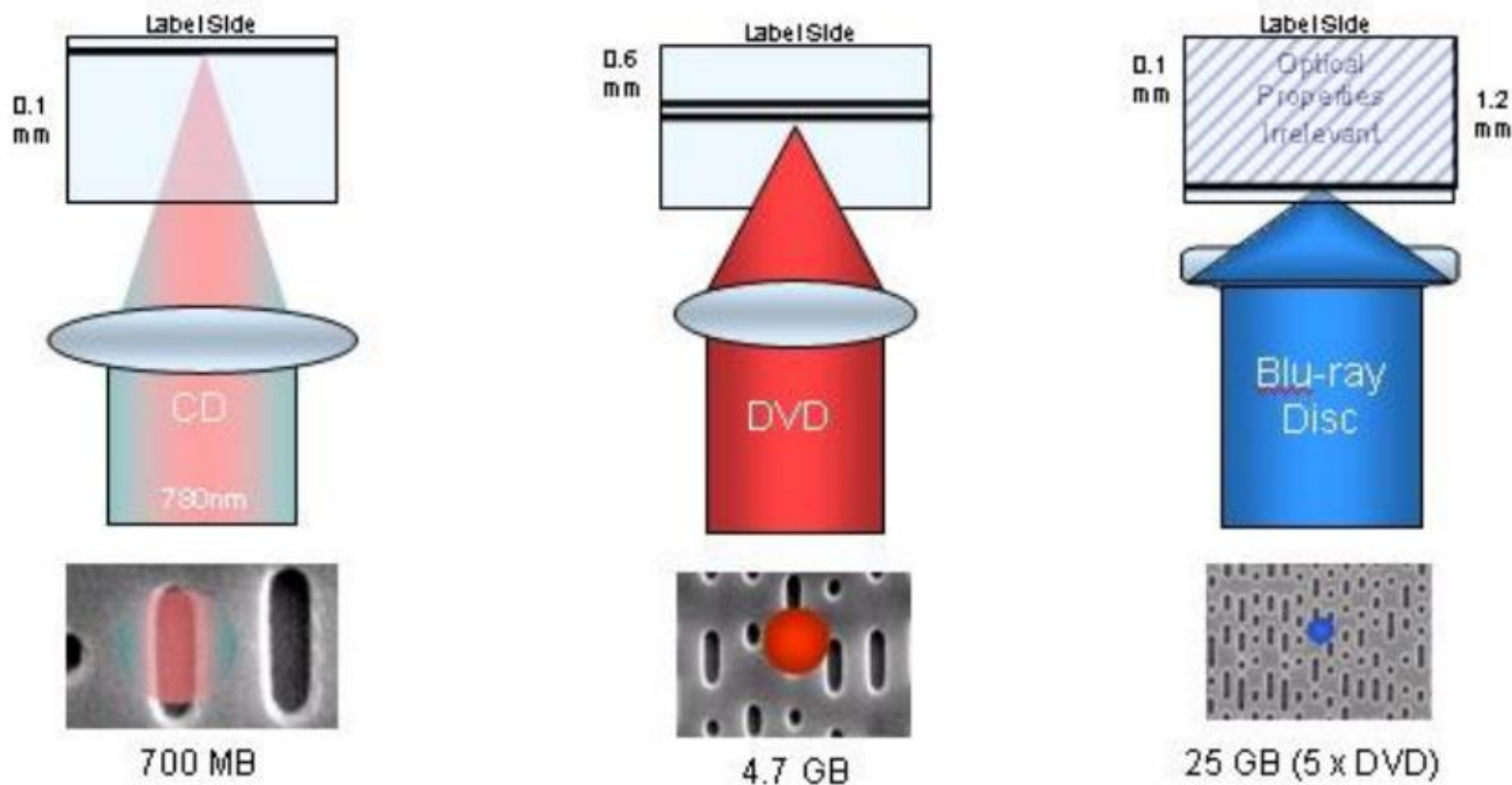
Применение лазера с длиной волны 405 нм – логичный шаг в сторону повышения плотности, поскольку минимально достижимый размер пятна лазера прямо пропорционален длине волны излучения. При этом 400 нм является теоретически достижимым пределом, так как при дальнейшем уменьшении длины волны проявляются квантовые артефакты потери прозрачности некоторых оптических сред, в том числе поликарбоната, из которого изготавливают оптические диски.

Вместе с тем тот же показатель обратно пропорционален числовой апертуре фокусирующей линзы (NA), которая измеряется как синус полуугла схождения лучей. Поэтому в BD используется линза с $NA = 0.85$ (0.45 для CD и 0.6 для DVD), которая позволяет получить пятно размером 580 нм.

Из-за применения оптики с большим NA, а также ввиду ухудшения ситуации с абберационными искажениями, возникающими при отклонении луча лазера от перпендикуляра, толщину защитного слоя пришлось уменьшить до 0.1 мм (0.6 мм для DVD и 1.2 мм для CD)

1. Особенности технологии BD

Single Layer Disc Comparison



1. Оптическая головка (PUN)

Приводы BD должны иметь возможность работать не только с дисками BD, но и с DVD и CD, для которых требуются иные параметры оптики (прежде всего NA и λ).

Создание универсальной головки (PUN), снабженной трехдиапазонным лазером и фокусирующей линзой с коррекцией числовой апертуры было основной целью разработчиков, и они ее достигли. Однако высокая техническая сложность (а значит, и себестоимость) такого узла не позволяет использовать его в устройствах начального уровня, например, читающих BD-приводах. Для них используются сдвоенные головки с двумя фокусирующими линзами (фактически объединение BD- и CD/DVD-головок в одном корпусе).

1. Проблемы тонкого слоя

Толщина прозрачного слоя над несущим слоем была одним из ключевых преимуществ CD (эти диски не требуют защитного картриджа). Пятно лазера на поверхности диска в несколько раз больше пятна на несущем слое, а значит, все дефекты (царапины, отпечатки, пыль) находятся вне фокуса, и их энергия рассредоточена в пространстве, а потому мало влияет на полезный сигнал.

У BD толщина слоя более чем в 10 раз меньше, что порождает проблемы:

- даже небольшие царапины могут повредить несущий слой;
- пятно лазера на поверхности (даже несмотря на большую NA) соизмеримо с пятном на несущем слое, а значит, влияние пыли и дефектов на качество сигнала ощутимо;
- головка при большой NA располагается на расстоянии менее 0.1 мм от поверхности, а значит, может ее задевать при вращении диска.

Последняя проблема решается как электрически (схемы контроля расстояния), так и физически (защитные бамперы на головке).

1. Защитный слой

В связи с уменьшением толщины защитного слоя до 0.1 мм диски BD более чувствительны к механическим повреждениям поверхности. Поэтому первая версия стандарта BD-RE предусматривала упаковку диска в картридж одного из двух видов.

Вместе с тем технология картриджей делает приводы несовместимыми с предыдущими поколениями оптических дисков. Поэтому к моменту выхода BD на массовый рынок от картриджей было решено отказаться.

Каждый из производителей носителей BD разработал собственный патентованный технологический процесс нанесения защитного покрытия, устойчивого как к механическим воздействиям (царапинам), так и к загрязнениям (отпечаткам, пыли, жирным пятнам). Проведенные тесты доказывают, что поверхность диска BD выдерживает значительные воздействия, а стабильность чтения/записи как минимум не хуже, чем у DVD.

1. Кодирование информации

Технология BD вводит новый метод модуляции – 1.7 PP (Parity Preserving – Prohibit RMTR – repeated minimum transition run length) с минимальной длиной пита в 2Т (так называемый d=1 code).

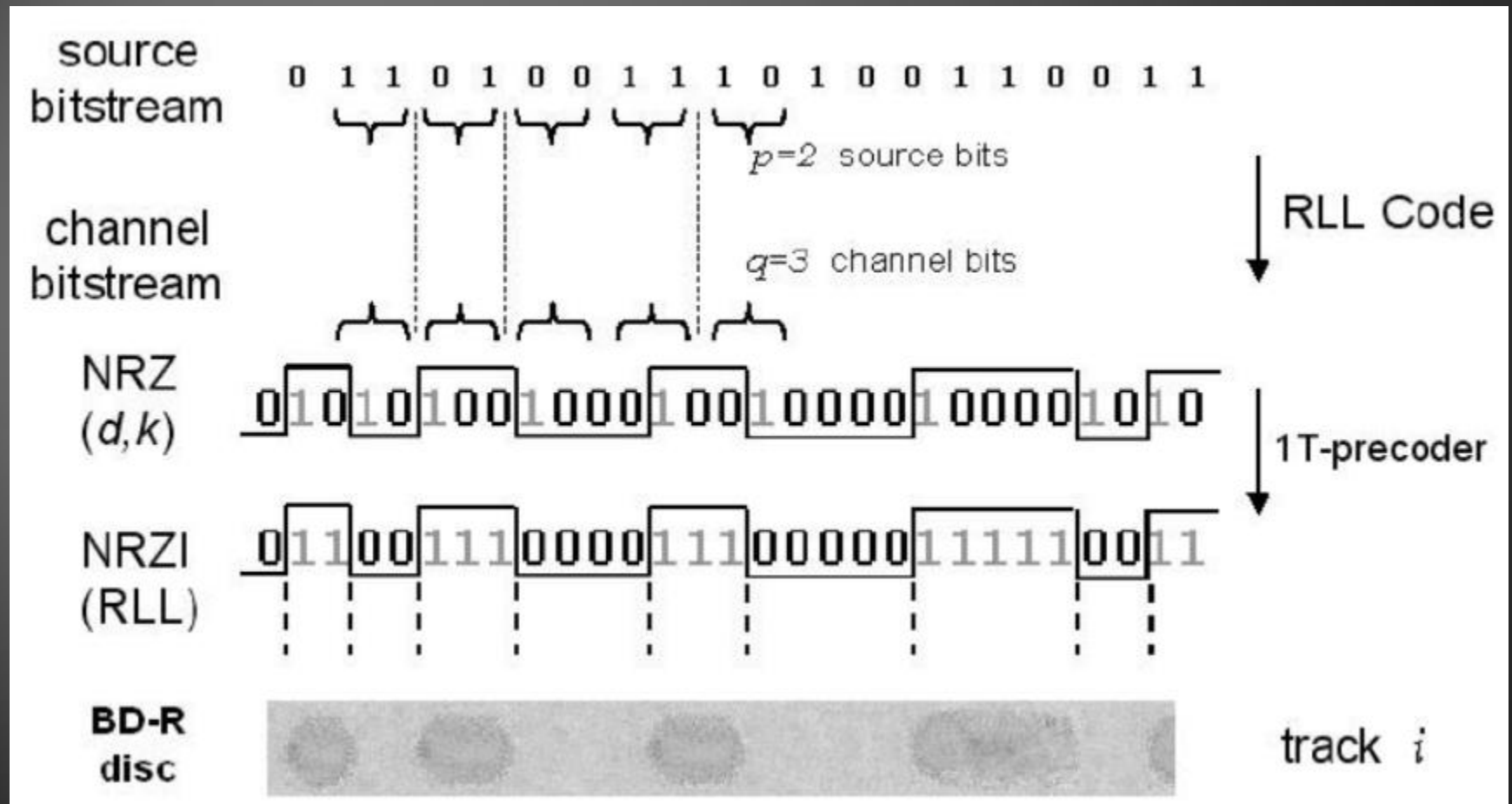
Данный метод кодировки предусматривает:

- преобразование байтов в символы 14 бит по методу RLL 1.7
- код NRZI (смена полярности при каждой смене значения бита)
- сохранение четности количества переходов (для достижение статистически нулевого DC) путем вставки единичных бит (в коде NRZ);
- исключение повторяющихся последовательностей минимальной длины (0101010...).

Минимальная длина последовательности составляет 2Т (для DVD – 3Т), что соответствует длине пита 149 нм. Это меньше диаметра пятна лазера.

Для защиты данных используется перекрестный ECC-код для блока в 64 Кб (вдвое больше, чем у DVD), что обеспечивает восстановление при ошибках из-за дефектов большой протяженности.

1. Метод кодирования данных



1. Диск BD-ROM

В отличие от других форматов, BD изначально создавался как перезаписываемый формат, а задачей разработки штампованных дисков разработчики озаботились позднее. Как оказалось, из-за тонкого защитного слоя технологию производства даже однослойных дисков пришлось создавать заново.

Диск CD-ROM изготавливается из поликарбонатного субстрата толщиной 1.2 мм, на котором методом литья формируется рельеф, напыляется слой алюминия и наносится лак. Диски DVD изготавливаются похожим образом, но на субстрате толщиной 0.6 мм, две подложки склеиваются (обычно с помощью чувствительной к UV резины). Для BD этот метод не подходит.

Разработчики выбирали между двумя методами – нанесения рельефа на 0.1 мм субстрат и на 1.1 субстрат. В первом случае сложность связана с малой толщиной субстрата, во втором – с напылением алюминия с другой стороны и с формированием защитного слоя поверх субстрата. В итоге был выбран второй способ, с несколькими вариантами реализации.

1. Двухслойные BD-ROM

Двухслойный диск BD-ROM содержит первый слой на глубине 75 мкм, слой-разделитель (spacer) толщиной 25 мкм и второй слой (на глубине 100 мкм относительно поверхности).

Производство двухслойных дисков существенно усложняется, поскольку рельеф второго слоя приходится выполнять методом штамповки на разделителе. Поэтому спецификация допускает два варианта формирования питов – над поверхностью или под поверхностью (выпуклые и вогнутые), для верхнего слоя применяется первый.

Емкость двухслойного диска вдвое больше, чем однослойного. Стандарт изначально описывает двухслойные BD-ROM, BD-R и BD-RE.

1. Диск BD-R

Первоначально стандарт BD-R предполагал использование неорганического записываемого слоя, состоящего из слоев медного сплава и кремния. При нагреве два слоя вступают в химическую реакцию, образуя CuSi-сплав, который обладает низкой отражающей способностью.

Данный метод обеспечивает высокое качество записи, но требует применения более сложной технологии производства. Чтобы сократить себестоимость, был предложен и старый способ с применением органического красителя. Однако диски такого типа, получившие название BD-R LTH, имеют иную структуру дорожек (запись не на штампованных дорожках, а между ними) и требуют иное формирование мощности лазера при записи. Современные пишущие приводы должны поддерживать диски обоих типов.

Адресная и временная информация при записи дисков обеспечивается за счет двухуровневой модуляции колебаний груза (MSK – смена фазы и частоты, STW – форма синусоиды «зубцы пилы»).

Диски BD-R могут быть двухслойными, с одним отражающим и двумя записываемыми слоями.

1. Defect Management

Записываемые диски BD-R реализуют аппаратную схему управления дефектами, которая применяется также для «логической перезаписи» (Logical Over-write, LOW) для имитации работы с перезаписываемым носителем.

Схема управления дефектами предусматривает наличие зон резервных секторов в начале (Inner Spare Area, ISA) и в конце (Outer Spare Area, OSA) каждого слоя диска, а также в вводной и выводной зонах. Данные о переназначении секторов хранятся во временных зонах управления диском (Temporary Disc Management Area, TDMA), которые после закрытия диска копируются в зоны DMA.

Кроме того, стандарт BD-R предусматривает возможность как последовательной записи диска (до 16 открытых сессий одновременно, которые не нужно закрывать для нормальной работы), так и произвольной, с ведением битовой карты свободных кластеров (размер кластера 64 Кб).

1. Диск BD-RE

Данный формат разрабатывался первым, текущая версия – 3.0. По физической и логической структуре диска, технологии производства, примененному кодированию не отличается от BD-R. Для модуляции оптических свойств используется металлический сплав с двумя фазовыми состояниями (как в CD-RW, DVD+/-RW).

Метки данных наносятся на груве, выступающем над лендом, что обеспечивает защиту соседних витков дорожки от нагрева (особенно актуально при высоких скоростях, когда мощность лазера выше).

В двухслойном диске первый записываемый слой обладает пропускной способностью около 50%, причем после записи это свойство не должно изменяться (затрагивается только отражающая способность).

Формат BD-RE описывает также аппаратный механизм пакетной перезаписи секторов, а также управления дефектами (с хранением таблицы резервных зон на диске и в памяти привода).

1. Логическая структура и файловая система

Первоначально для дисков BD-RE применялась собственная файловая система, оптимизированная для поточной записи. Но массовые диски используют файловую систему UDF 2.5 или 2.6 (последняя учитывает особенности организации BD).

Интересная особенность BD заключается в том, что на диске имеются специальные зоны для хранения мета-данных и вспомогательных файлов для видео (индексы, заставки, меню и пр.). Формирование этих зон осуществляется за счет механизма разделов UDF.

Размер физического сектора на BD составляет 2 Кб, однако запись возможна пакетами по 64 Кб (особенность механизма внедрения кодов ECC).

BD не использует имеющиеся у UDF возможности управления дефектами и инкрементальной записи. Вместо этого применяются собственные аппаратные механизмы, требующие хранения некоторых таблиц и карт в памяти устройства записи.

1. Прикладной формат BD-MV

Формат BD создавался, подобно DVD, с прицелом на использование для распространение лицензионного видео. Поэтому в рамках стандарта был разработан прикладной формат BD-MV, описывающий содержимое диска с кино-, видеопродукцией.

По своим функциональным возможностям диск BD-Video (BD-MV) должен превосходить диск DVD. Для этого были разработаны две программные модели интерактивных функций диска:

- HDMV – framework с фиксированным набором функций (просмотр интерактивных меню, слайд-шоу, текстовые и графические субтитры), похожий на таковой у DVD (оформляется в виде набора таблиц базы данных);
- BD-J – полноценный Java framework, обеспечивающий не только управление просмотром контента, но и выполнение различных приложений, а также взаимодействие с Интернетом (напр., для загрузки субтитров, обновления системы DRM и пр.).

Диск BD-MV имеет фиксированную файловую структуру, в которой содержатся видеопотоки, ссылающиеся на них клипы, плей-листы и тайтлы, шрифты и звуки для меню, Java-программы и пр.

1. Записываемые диски. Мультисессионные диски

На диске -R/-RW имеются две специальные зоны:

- Power Calibration Area (PCA) предназначена для калибровки лазера перед началом записи.
- Recording Management Area (RMA) хранит временные данные о координатах треков.

Запись может осуществляться в несколько приемов (сессий), каждая сессия повторяет структуру диска. Сессия считается закрытой, если у нее прописаны вводная и выводная зоны.

Для связи сессий между собой в ТОС сессии указываются координаты не выводной зоны, а вводной зоны следующей сессии. Диск считается закрытым, если в ТОС последней сессии записаны координаты выводной зоны.

ТОС может содержать координаты треков из предыдущих сессий (linked sessions). Сессии также могут быть связаны на уровне файлов.

1. Запись дисков

Существуют несколько способов записи диска:

- DAO – запись структуры диска за один проход.
- SAO – запись целиком всей сессии.
- TAO – запись трека с пред- и пост-зазорами, сессия не закрывается до записи всех треков.
- Пакетная запись с фиксированным или переменным пакетом.

Тип диска, допустимую скорость записи, емкость, производителя и т.п. рекордер считывает из зоны ATIP, которая наносится при изготовлении диска.

Параметры записи рекордер уточняет из таблицы носителей, имеющейся в прошивке (firmware).

Отформатированные в пакетном режиме диски не читаются без поддержки ОС или специального драйвера, за исключением случая применения UDF и пакетов фиксированной длины (они поддерживаются многими современными ОС).

2. Магнитооптический диск

Первое поколение оптических дисков:

- **Лазерный диск** — первый коммерческий оптический носитель данных, предназначавшийся, прежде всего, для домашнего просмотра кинофильмов.. Технологии, отработанные в этом формате, затем были использованы в CD и DVD.
- **Компакт-диск** — оптический носитель информации в виде пластикового диска с отверстием в центре, процесс записи и считывания информации которого осуществляется при помощи лазера. Дальнейшим развитием компакт-дисков стали DVD.
- **Магнитооптический диск** включает 4 поколения

2. Принцип действия магнито-оптической записи (МО)

- В основе МО лежит несколько физических явлений, связывающих воедино оптическое и магнитное взаимодействия. В устройствах МО используется и лазерная, и электромагнитная головки, но по разные стороны носителя и для разных целей.
- В процессе записи локальные участки носителя нагреваются лазером высокой мощности до точки Кюри (обычно 200-300 °C), когда они становятся восприимчивыми воздействию внешнего магнитного поля. Это поле воздействует с обратной стороны носителя, головка имеет вид управляемого постоянного магнита.
- В процессе чтения дорожки облучаются лазером низкой мощности, прошедшим через поляризатор. Согласно явлению Керра намагниченные участки поверхности способны поворачивать плоскость поляризации луча в ту или иную сторону. Факт поворота фиксируется фотоприёмником, расположенным на оптической головке.

3. Голографическая память

Запись и чтение в голографических приводах осуществляются параллельно (то есть одновременно записывается или считывается сразу весь массив битов, называемый страницей)

Достоинства голографической памяти:

- высокая плотность записи и большая скорость чтения;
- параллельная запись информации (не по одному биту, а целыми страницами);
- высокая точность воспроизведения страницы;
- низкий уровень шума при восстановлении данных;
- неразрушающее чтение;
- длительный срок хранения данных - 30-50 и более лет;
- конкурентоспособность с другими оптическими технологиями.

3. Голографическая память

Безопасность данных:

- При голографическом «чтении» невозможно получить прямой доступ к носителю, в отличие от других оптических и жестких дисков: данные находятся в толще носителя, что уже намного затрудняет несанкционированный доступ.
- Каждый голографический накопитель снабжен особой микросхемой, в которую занесена информация о размещении данных на диске. При чтении привод прежде всего обращается к этой информации, а если она зашифрована, считывание данных без необходимых сведений будет неосуществимо.
- Нанесение особых меток, считывание и распознавание которых необходимо. Они расположены глубже, с определенными координатами. Чтобы преодолеть данный тип защиты, требуется лазер с иной длиной волны, которым не оснащаются приводы для массового потребителя.
- В диапазоне от 403 до 407 нм варьирует длина волны используемого для записи в голографических приводах лазера. На этом может основываться еще один эффективный способ защиты данных: дисковод, использующий лазер с неверной длиной волны не сможет прочитать диск.
- В качестве еще одного метода защиты от несанкционированного доступа может служить привязка диска к микропрограмме каждого определенного привода и использование встроенных средств защиты.

3. Голографическая память

Трудности в создании, пути их решения:

- Главной проблемой, с которой сталкивались разработчики систем – необходимость размещения двух оптических систем по разные стороны от носителя информации (первая отвечает за формирование первоначального луча, а вторая - за прием прошедшего через диск измененного сигнала, т.е. считывание информации), а значит и отсутствовали возможности для создания компактных приводов. Но инженерам удалось обе системы расположить с одной стороны от голографического носителя и вторичный сигнал направить к приемнику благодаря наличию отражающего слоя на обратной стороне самого носителя информации.
- Половина пространства в голографических носителях недоступна для записи данных, так как она используется программным обеспечением для коррекции ошибок. Однако новая технология компании Sony позволила уменьшить количество ошибок до коррекции. Теперь этот показатель не превышает 10%. А потому со временем придумают способ более экономного расходования дискового пространства.
- Подверженность световому воздействию: электромагнитное излучение с длиной волны, близкой к световой, вызывает реакцию в регистрирующей среде, что вызывает искажение и повреждение записанных данных - размещение дисков в непрозрачных картриджах позволило снизить вероятность потери информации.

3. Голографическая память

Преимущества перед Blu ray:

- большой объем: 2 Тб против 50 Гб;
- большая скорость записи/считывания информации: 120 МБ/сек против 26 МБ/сек;
- длительный срок службы (до 50 лет);
- превышает 2000 циклов перезаписи без ухудшения чтения.