

# НАКОПИТЕЛИ ИНФОРМАЦИИ

### 3.1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

История развития вычислительной техники неразрывно связана с совершенствованием устройств хранения информации (накопителей информации), так как характеристики именно этих устройств в значительной мере определяют характеристики компьютеров.

*Накопитель информации* — устройство записи, воспроизведения и хранения информации, а *носитель информации* — это предмет, на который производится запись информации (диск, лента, твердотельный носитель).

Накопители информации могут быть классифицированы по следующим признакам:

- способу хранения информации — магнитоэлектрические, оптические, магнитооптические;
- виду носителя информации — накопители на гибких и жестких магнитных дисках, оптических и магнитооптических дисках, магнитной ленте, твердотельные элементы памяти;
- способу организации доступа к информации — накопители прямого, последовательного и блочного доступа;
- типу устройства хранения информации — встраиваемые (внутренние), внешние, автономные, мобильные (носимые) и др.

Значительная часть накопителей информации, используемых в настоящее время, создана на базе магнитных носителей.

Физические основы процессов записи и воспроизведения информации на магнитных носителях заложены в работах физиков

М. Фарадея (1791 — 1867) и Д. К. Максвелла (1831 — 1879). В магнитных носителях информации цифровая запись производится на магниточувствительный материал. К таким материалам относятся некоторые разновидности оксидов железа, никель, кобальт и его соединения, сплавы, а также магнитопласты и магнитоэласты со связкой из пластмасс и резины, микропорошковые магнитные материалы.

Магнитное покрытие имеет толщину в несколько микрон. Покрытие наносится на немагнитную основу, в качестве которой для магнитных лент и гибких дисков используются различные пластмассы, а для жестких дисков — алюминиевые сплавы и композиционные материалы подложки. Магнитное покрытие диска имеет доменную структуру, т. е. состоит из множества намагниченных мельчайших частиц. Магнитный домен (от лат. *dominium* — владение) — это микроскопическая, однородно намагниченная область в ферромагнитных образцах, отделенная от соседних областей тонкими переходными слоями (домёнными границами). Под воздействием внешнего магнитного поля собственные магнитные поля доменов ориентируются в соответствии с направлением магнитных силовых линий. После прекращения воздействия внешнего поля на поверхности домена образуются зоны остаточной намагниченности. Благодаря этому свойству на магнитном носителе сохраняется информация о действовавшем магнитном поле. При записи информации внешнее магнитное поле создается с помощью магнитной головки. В процессе считывания информации зоны остаточной намагниченности, оказавшись напротив магнитной головки, наводят в ней при считывании электродвижущую силу (ЭДС). Схема записи и чтения с магнитного диска дана на рис. 3.1. Изменение направления ЭДС в течение некоторого промежутка времени отождествляется с двоичной единицей, а отсутствие этого изменения — с нулем. Указанный промежуток времени называется битовым элементом.

Поверхность магнитного носителя рассматривается как последовательность точечных позиций, каждая из которых ассоциируется с битом информации. Поскольку расположение этих позиций определяется неточно, для записи требуются заранее нанесенные метки, которые помогают находить необходимые позиции записи. Для нанесения таких синхронизирующих меток должно быть произведено разбиение диска на дорожки и секторы — форматирование.

Организация быстрого доступа к информации на диске является важным этапом хранения данных. Оперативный доступ к любой

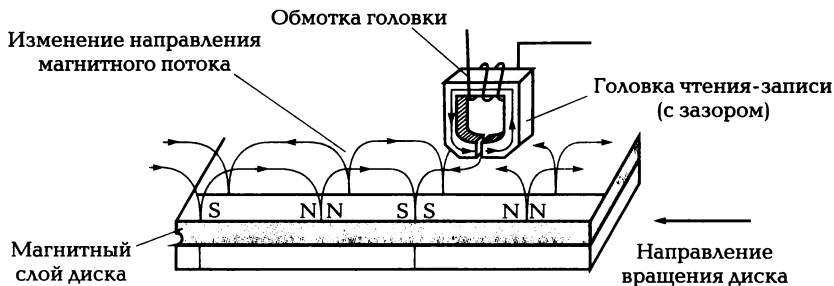


Рис. 3.1. Запись и чтение данных с магнитного диска

части поверхности диска обеспечивается, во-первых, за счет придания ему быстрого вращения и, во-вторых, путем перемещения магнитной головки чтения-записи по радиусу диска. Гибкий диск вращается со скоростью 300 ... 360 об/мин, а жесткий диск — 3 600 ... 7 200 об/мин.

## 3.2. НАКОПИТЕЛИ НА ГИБКИХ ДИСКАХ

Накопители на гибких дисках относятся к устройствам длительного хранения информации. Первый гибкий магнитный диск (ГМД) был создан в 1971 г. в лаборатории фирмы IBM, возглавляемой А. Шугартом, и имел диаметр 8". С 1975 г. начался серийный выпуск дисководов формата 5,25", а в 1981 г. стали стандартом диски диаметром 3,5". В 1986 г. фирма IBM начала выпуск гибких магнитных дисков (дискет) 3,5" емкостью 720 Кбайт, а в 1987 г. многие фирмы-производители начали выпуск ГМД 3,5" емкостью 1,44 Мбайт. Фирма Toshiba в 1989 г. разработала новые диски емкостью 2,88 Мбайт. Для записи и считывания информации с ГМД используются периферийные устройства ПК — *дискководы (Floppy Dick Drive — FDD)*.

Конструктивно дискковод состоит из механических и электронных узлов: рабочего двигателя, рабочей головки, шагового двигателя и управляющей электроники.

Рабочий двигатель включается тогда, когда в дискковод вставлена дискета. Двигатель обеспечивает постоянную скорость вращения дискеты: для дисквода 3,5" — 300 об/мин. Время запуска двигателя — около 400 мс.

Рабочие головки служат для чтения и записи информации и располагаются над рабочей поверхностью дискеты. Поскольку

обычно дискеты являются двухсторонними, т. е. имеют две рабочие поверхности, одна головка предназначена для верхней, а другая — для нижней поверхности дискеты.

Шаговые двигатели обеспечивают позиционирование и движение рабочих головок. Именно они издадут характерный звук уже при включении ПК, перемещая головки для проверки работоспособности привода.

Управляющие электронные элементы дисководов чаще всего размещаются с его нижней стороны. Они выполняют функции передачи сигналов к контроллеру, т. е. отвечают за преобразование информации, которую считывают или записывают головки.

Для дискет размером 3,5" и емкостью 2,88 Мбайт, называемых ED-дискетами (*Extra High Density*), разработан специальный стандарт дисководов, поскольку обычные дисководы не могут работать с такими дискетами. Кроме того, для установки в малогабаритные корпуса выпускаются специальные дисководы (*Slimline-дисководы* 3,5"), которые имеют уменьшенную высоту (19,5 мм) по сравнению с обычными 3,5" FDD (25,4 мм).

В качестве посредника между дисководом и ПК служит контроллер, который, как правило, установлен на материнских платах. Он интегрирован в одну из микросхем Chipset, а на материнской плате имеется специальный разъем для подключения кабелей.

Дискеты (*Floppy Disk Driver*, сокращенно *Floppy*) размером 3,5" являются носителями информации для приводов FDD.

На рис. 3.2 показано устройство дискеты 3,5". Внутри футляра (корпуса) находится пластмассовый диск с нанесенным на него магнитным слоем — магнитный диск. На всех футлярах имеется вырез, защищенный легко перемещаемой шторкой для защиты диска от механических повреждений. После установки дискеты в дисковод шторка автоматически сдвигается и предоставляет доступ к диску для головок чтения-записи. Поскольку сам диск постоянно вращается внутри футляра, головки «просматривают» всю область дискеты, находясь при этом в постоянном контакте с ее поверхностью. Дискета снабжена отверстием со скользящей пластиковой задвижкой. Если задвижка не закрывает отверстие, то дискета защищена от записи. Пока в компьютерах еще применяются накопители на дискетах 3,5" емкостью 1,44 Мбайт — стандарт HD (*High Density*). Емкость дисков 3,5" стандарта ED со сверхвысокой плотностью записи достигает 2,88 Мбайт.

Магнитные диски называются носителями информации с прямым доступом, так как вследствие вращения диска с высокой ско-

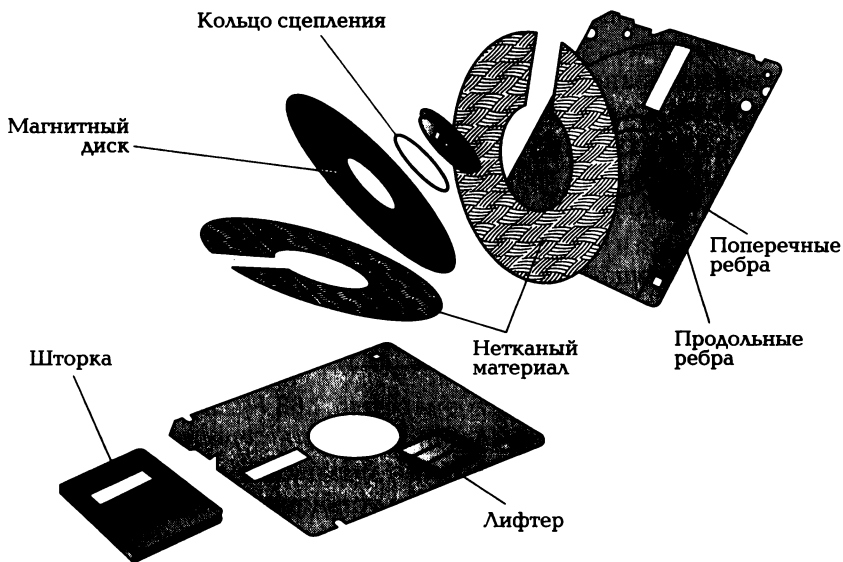


Рис. 3.2. Конструкция дискеты размером 3,5"

ростью имеется возможность перемещать под головки чтения-записи любую его часть. Таким образом, можно непосредственно обратиться к любой части записанных данных. Этому способствует специальная организация дисковой памяти, в соответствии с которой информационное пространство диска форматируется, т. е. разбивается на определенные участки: дорожки и секторы.

**Дорожкой записи (Track)** называется каждое из концентрических колец диска, на котором записаны данные. Поверхность диска разбивается на дорожки, начиная с внешнего края, число дорожек зависит от типа диска. В гибких магнитных дисках 3,5" емкостью 1,44 Мбайт число дорожек равно 80. Дорожки независимо от количества идентифицируются номером (внешняя дорожка имеет нулевой номер). Число дорожек на стандартном диске определяется плотностью записи, т. е. объемом информации, который можно надежно разместить на единице площади поверхности носителя. Для магнитных дисков определены две разновидности плотности записи — радиальная (поперечная) и линейная (продольная). Поперечная плотность записи измеряется числом дорожек, размещенных на кольце диска шириной 1", а линейная плотность — числом битов данных, которые можно записать на дорожке единичной длины.



Рис. 3.3. Разбиение магнитного диска на дорожки и секторы при форматировании

Каждое кольцо дорожки разбивается на участки, называемые секторами. Например, гибкий диск 3,5" может иметь на дорожке 18 секторов (емкость диска 1,44 Мбайт) или 36 секторов (емкость диска 2,88 Мбайт). Размер дорожки секторов различных дисков может составлять от 128 до 1 024 байт, но в качестве стандарта принят размер сектора 512 байт. На рис. 3.3 показано разбиение магнитных дисков на дорожки и секторы. Секторам на дорожке присваиваются номера, начиная с нуля. Сектор с нулевым номером на каждой дорожке резервируется для идентификации записываемой информации, но не для хранения данных.

Емкость дискеты вычисляется по следующей формуле:

$$\text{емкость дискеты} = \text{число сторон} \times \text{число дорожек на стороне} \times \text{число секторов на дорожке} \times \text{число байтов в секторе}$$

В настоящее время ГМД размером 3,5" активно вытесняются другими носителями информации.

### 3.3. НАКОПИТЕЛИ НА ЖЕСТКИХ МАГНИТНЫХ ДИСКАХ

Первый накопитель на жестких дисках (*Hard Disk Drive* — *HDD*) был создан в 1973 г. по технологии фирмы IBM и имел кодовое обозначение «30/30» (двухсторонний диск емкостью 30 + 30 Мбайт), которое совпало с названием известного охотничьего ружья «винчестер», использовавшегося при завоевании Дикого Запада. По

этой причине накопители на жестких дисках получили название «винчестер». В 1979 г. Ф. Коннер и А. Шугарт организовали производство первых жестких пятидюймовых дисков емкостью 6 Мбайт.

По сравнению с дискетами HDD обладают такими преимуществами: значительно бóльшая емкость (чтобы сохранить данные объемом 420 Мбайт, требуется один HDD или около 290 дискет 3,5" HD) и время доступа для HDD. Оно на порядок меньше, чем для приводов дискет.

### 3.3.1. Конструкция и принцип действия

Несмотря на большое разнообразие моделей винчестеров принцип их действия и основные конструктивные элементы одинаковы. На рис. 3.4 показаны основные элементы конструкции накопителя на жестком диске.

Типовой накопитель состоит из герметичного корпуса (гермоблока) и платы электронного блока. В гермоблоке размещены все механические части, на плате — вся управляющая электроника. Внутри гермоблока установлен шпиндель с одним или несколькими магнитными дисками, между которыми расположены головки

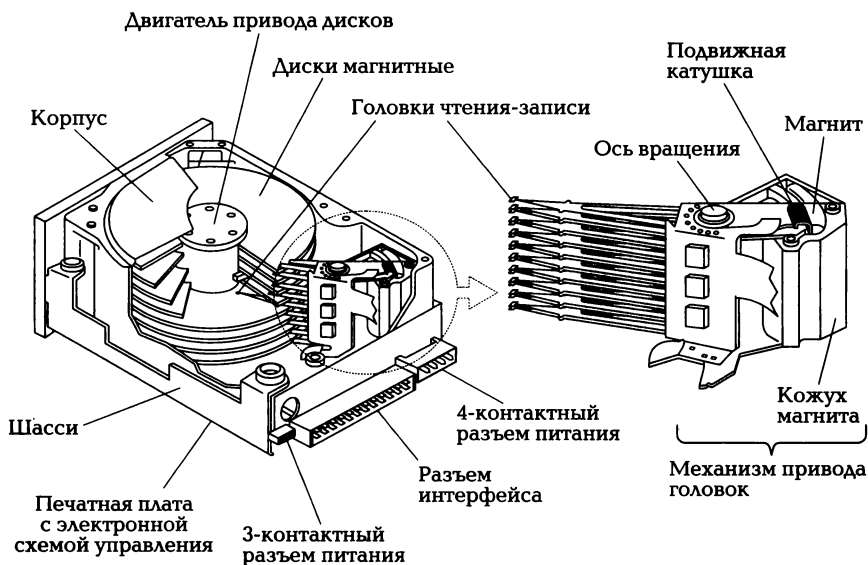


Рис. 3.4. Основные элементы конструкции накопителя на жестких дисках

чтения-записи. Под ними расположен двигатель. Ближе к разъемам, с левой или правой стороны от шпинделя, находится поворотный позиционер магнитных головок. Позиционер соединен с печатной платой гибким ленточным кабелем (иногда одножильными проводами).

Гермоблок заполняется воздухом под давлением в одну атмосферу. В крышках гермоблоков имеется специальное отверстие, заклеенное фильтрующей пленкой, которое служит для поглощения пыли. Габаритные размеры винчестеров стандартизованы по параметру, называемому ф о р м ф а к т о р о м (*Form-Factor*).

Подложки магнитных дисков в первых винчестеров изготавливались из алюминиевого сплава с добавлением магния. В настоящее время в качестве основного материала для дисковых пластин используется композиционный материал из стекла и керамики с малым температурным коэффициентом расширения, что делает их менее восприимчивыми к изменениям температуры, более прочными. Магнитные диски выпускаются следующих размеров: 0,85"; 1,0"; 2,5"; 1,8"; 3,5"; 5,25".

Диски покрываются магнитным веществом — рабочим слоем. Он может быть либо оксидный, либо на основе тонких пленок.

Оксидный рабочий слой представляет собой полимерное покрытие с наполнителем из оксида железа. Диски с таким рабочим слоем отличаются простым и недорогим процессом изготовления. Однако требуемое качество рабочей поверхности для накопителей большой емкости в рамках такой технологии оказалось получить невозможно. На смену пришла тонкопленочная технология.

Рабочий слой на основе тонких пленок имеет меньшую толщину и более прочен; качество его поверхности гораздо выше. Тонкопленочная технология легла в основу производства накопителей нового поколения, в которых удалось уменьшить зазор между головками и поверхностями дисков до 0,05...0,08 мкм и, следовательно, повысить плотность записи данных.

Головки чтения-записи предусмотрены для каждой стороны диска. Когда накопитель выключен, головки касаются диска. При раскручивании дисков возрастает аэродинамическое давление воздуха на головки, что приводит к их отрыву от рабочих поверхностей дисков. Чем ближе располагается головка к поверхности диска, тем выше амплитуда воспроизводимого сигнала.

До середины 1980-х гг. в накопителях на жестких дисках использовались ферритовые головки. На смену им пришли MIG-головки (*MIG — Metall in Gap*) — головки с металлом в зазоре, что позволило использовать носители с рабочим слоем на основе тон-

ких пленок. Все возрастающие требования к емкости жестких дисков привели к появлению тонкопленочных головок (*TF — Thin Film*). Формируемые с помощью этих головок на рабочей поверхности диска участки остаточной намагниченности имеют четкие границы, что приводит к высокой плотности записи данных. В результате дальнейшего совершенствования конструкции и характеристик тонкопленочных головок появились магниторезистивные (*Magneto-Resistive — MR*) головки, которые в настоящее время используются в большинстве накопителей на жестких дисках 3,5", емкость которых может достигать 1 Тбайт. Эксперты полагают, что к 2010 г. емкость накопителей на жестких дисках достигнет 5 Тбайт.

Механизм привода головок обеспечивает перемещение головок от центра дисков к краям и фактически определяет надежность накопителя, его температурную стабильность и вибрационную устойчивость. Все существующие механизмы привода головок подразделяются на два основных типа: с шаговым двигателем и подвижной катушкой.

У накопителей с приводом на шаговом двигателе среднее время доступа к данным значительно больше, чем у накопителей с приводом на подвижной катушке. По этой причине привод с шаговым двигателем нашел основное применение в дисководах для гибких магнитных дисков и в накопителях на жестких дисках небольшой емкости. В отличие от систем с шаговыми двигателями в приводе с подвижной катушкой используется электронная обратная связь для точного определения местоположения головок и коррекции его относительно дорожек. В результате механизм оказывается быстродействующим и не столь шумным, как привод с шаговым двигателем.

Диски имеют функцию автоматической парковки, т.е. при включении и выключении ПК головки устанавливаются по мере необходимости на определенный, чаще всего последний цилиндр. При парковке головки автоматически блокируются, и их дальнейшая работа невозможна.

Двигатель привода дисков приводит пакет дисков во вращение, скорость которого в зависимости от модели находится в пределах 3 600... 10 000 об/мин, достигая 15 000 об/мин в отдельных моделях. Жесткий диск вращается непрерывно даже тогда, когда не происходит обращения к нему, поэтому винчестер должен быть установлен только вертикально или горизонтально.

Печатная плата с электронной схемой управления и прочие узлы накопителя (лицевая панель, элементы кон-

фигурации и монтажные детали) являются съёмными. На печатной плате монтируются электронные схемы управления двигателем и приводом головок, схема для обмена данными с контроллером. Иногда контроллер устанавливается непосредственно на этой плате.

Для винчестеров со скоростью вращения до 5 000... 7 000 об/мин принудительного охлаждения не требуется. Однако для повышения надежности работы используют дополнительный вентилятор, обеспечивающий охлаждение платы контроллера и гермоблок.

### 3.3.2. Основные характеристики

Основными характеристиками накопителей на жестких дисках, которые следует принимать во внимание при выборе устройства, являются емкость, быстродействие и время безотказной работы.

*Емкость винчестера* определяется максимальным объемом данных, которые можно записать на носитель. Реальная величина емкости винчестера достигает терабайтов. Если просчитать емкость установленного в ПК винчестера, то можно заметить, что она не совпадает с паспортными данными. В паспорте указывается два варианта объема: первый относится к неформатированному дисковому пространству, а второй — к форматированному. Например, на винчестер объемом 80 Гбайт можно записать только 76,69 Гбайт пользовательских данных (файловая система FAT), а все остальное — для служебных нужд.

Кроме того, в рекламных целях для единиц измерения дискового пространства используется несколько иное соотношение величин. Производители и продавцы указывают объем винчестеров в десятичной систем счисления, когда 1 000 Мбайт считается равным 1 Гбайт, в то время как корректна двоичная система, в которой 1 Кбайт — 1 024 байта.

Прогресс в области создания и производства накопителей на жестких дисках приводит к тому, что ежегодно плотность записи (и соответственно емкость) увеличивается примерно на 60 %.

*Среднее время поиска (average seek time)* — усредненное время, которое необходимо для установки головок на случайно заданную дорожку диска. Среднее время поиска имеет тенденцию уменьшаться с увеличением емкости накопителя, так как повышается плотность записи и увеличивается число поверхностей. В середине 2008 г. среднее время поиска винчестеров составляло 3... 12 мс.

*Время поиска (seek time)* — время, которое необходимо для установки головок в нужную позицию (на дорожку, где будут производиться операции чтения-записи данных).

Скорость передачи данных (*Maximum Data Transfer Rate — MDTR*) зависит от таких характеристик винчестера, как число байтов в секторе, число секторов на дорожке, скорость вращения дисков, и может быть рассчитана по формуле:

$$MDTR = SRT \cdot 512 \cdot RPM / 60 \text{ (байт/с)},$$

где SRT — число секторов на дорожке; RPM — скорость вращения дисков, об/мин; 512 — число байтов в секторе.

Внутренняя скорость передачи данных от головки до встроенного дискового буфера некоторых накопителей Samsung с интерфейсом SATS II превышает тысячу мегабитов в секунду.

Время безотказной работы для накопителей определяется расчетным среднестатистическим временем между отказами (*Mean Time Between Failures — MTBF*), характеризующим надежность устройства, указывается в документации и достигает 1,2 млн ч.

Подобно дискетам, жесткий диск делится на дорожки и секторы, как показано на рис. 3.5. Каждая дорожка однозначно определяется номером головки и порядковым номером, отсчитываемым на диске относительно внешнего края. Накопитель содержит несколько дисков, расположенных один над другим; их разбиения идентичны. Поэтому принято рассматривать пакет жестких дисков в виде цилиндров, каждый из которых состоит из аналогичных дорожек на поверхностях каждого диска. Секторы идентифицируются своим порядковым номером относительно начала дорожки. Нумерация секторов на дорожке начинается с единицы, а головок и цилиндров — с нуля.

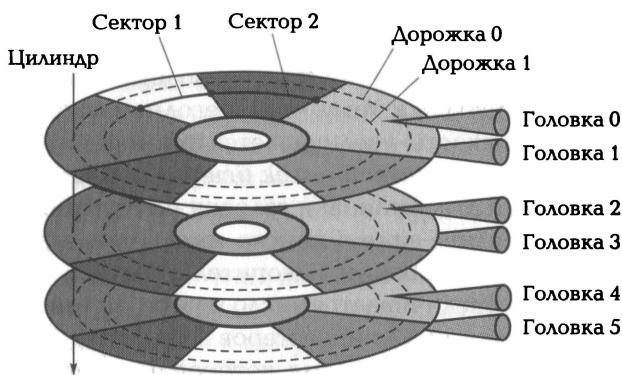


Рис. 3.5. Разбиение жесткого диска на дорожки и секторы

Число секторов может быть от 17 до 150 в зависимости от типа накопителя. Каждый сектор содержит данные и служебную информацию. Обычно объем сектора составляет 512 байт. В начале каждого сектора записывается заголовок (*Prefix Portion*), по которому определяется начало сектора и его номер, а в конце сектора (*Suffix Portion* — заключение сектора) содержится контрольная сумма, необходимая для проверки целостности данных. Между заголовком и заключением сектора располагается область данных объемом 512 байт (для DOS). Таким образом, запись информации на дорожках осуществляется блоками по 512 байт.

Число дисков, головок и дорожек винчестера изменить невозможно, поскольку они определяются изготовителем в соответствии с заданными свойствами и качеством дисков. Число секторов на диске зависит от метода записи, а плотность — от носителя: чем выше качество материала диска, тем плотнее могут быть записаны на нем данные. Винчестеры содержат до 150 секторов на дорожке.

Общий объем памяти HDD рассчитывается по формуле

$$V = C \cdot H \cdot S \cdot 512 \text{ (байт)},$$

где  $C$  — число цилиндров;  $H$  — число головок;  $S$  — число секторов.

Форматирование винчестера подобно форматированию дискеты. При этом нужно принимать во внимание, что в процессе форматирования все данные на винчестере теряются, поэтому при реформатировании винчестера следует сохранить необходимые данные на другом носителе.

Ведущими производителями винчестеров на мировом рынке являются Western Digital Corporation, Maxtor, Samsung, Seagate Nechnology, Toshiba, Hitachi. Дальнейшее совершенствование характеристик жестких магнитных дисков производители видят в использовании новых технологий, в том числе и нанотехнологий.

### 3.3.3. Интерфейсы жестких дисков

*Интерфейс* — коммуникационное устройство (или протокол обмена), позволяющее одному устройству взаимодействовать с другим и устанавливать соответствие между выходами одного устройства и входами другого. Основная функция интерфейса HDD — передача данных из вычислителя ПК в накопитель и обратно. Разработано несколько основных типов интерфейсов: ESDI, IDE, SCSI, SATA. Распространенный в конце 1980-х гг. интерфейс ESDI не отвечает требованиям современных систем по быстродействию,

кроме того, его различные исполнения часто бывают несовместимы. В связи с этим ему на смену пришли интерфейсы: IDE, обладающий повышенным быстродействием; SCSI, имеющий большие возможности для расширения системы за счет подключения разнообразных устройств, а также более современный — SATA.

IDE и SCSI — интерфейсы, в которых контроллер выполнен в виде микросхем, установленных на плате накопителя.

IDE (он же ATA-BUS, ATA и его модернизации Ultra ATA с различными тактовыми частотами) — 16-разрядный параллельный интерфейс, который применяется в основном для подключения винчестера к ПК. Согласно спецификации IDE на системной плате устанавливается контроллер IDE — интерфейс с двумя одинаковыми каналами, к каждому из которых можно подключить до двух устройств. Таким образом, в ПК может одновременно работать до четырех винчестеров (или других устройств с IDE-интерфейсом). Для увеличения числа подключаемых IDE-устройств можно использовать дополнительные платы IDE-контроллеров. До скорости передачи в 33 Мбайт/с для IDE-интерфейса применяют 40-жильный плоский кабель. Для интерфейса IDE используют кабель с 40-контактными разъемами. Практически всегда на нем три разъема: один для подключения к системной плате, а два — для IDE-устройств.

В интерфейсе SCSI между контроллером и системной шиной введен еще один уровень организации данных и управления, а интерфейс IDE взаимодействует с системной шиной непосредственно. Интерфейс SCSI применяется в основном в серверах, поскольку является достаточно дорогим. Его применение эффективно в многозадачных операционных системах, когда необходимо одновременно выполнять несколько приложений или при массовых запросах к данным на устройствах хранения.

SATA (Serial ATA) — последовательный интерфейс, переход на который вызван проблемами с синхронизацией параллельных сигналов интерфейса, так как простейший протокол обмена через интерфейс IDE не обеспечивает надежную передачу данных на высоких тактовых частотах. Благодаря интерфейсу SATA обеспечивается согласование производительности и разрядности шины PCI и накопителей на жестких магнитных дисках.

Подключение устройств с интерфейсом SATA производится тонким коаксиальным проводом длиной до 1 м, по которому данные передаются в виде отдельных битов с разницей в уровнях напряжения всего 0,5 В. Уменьшение габаритных размеров разъемов интерфейса SATA способствует сокращению габаритных размеров

системных блоков ПК. Пока стандарт SATA еще не достаточно распространен, выпускаются винчестеры, у которых на корпусе дополнительно установлен традиционный разъем.

## 3.4. НАКОПИТЕЛИ НА КОМПАКТ-ДИСКАХ

Для решения широкого круга задач информатизации используются следующие оптические накопители информации:

- CD-ROM (*Compact Disk Read-Only Memory*) — запоминающие устройства только для считывания с них информации;
- CD-WORM (*Write Once Read Many*) или CD-R (*CD-Recordable*) — запоминающие устройства для считывания и однократной записи информации;
- CD-RW (*CD-Re Writable*) — запоминающие устройства для считывания и многократной записи информации;
- MO — магнитооптические накопители, на которые возможна многократная запись.

Принцип действия всех оптических накопителей информации основан на лазерной технологии. Луч лазера используется как для записи на носитель информации, так и для считывания ранее записанных данных, и является, по сути дела, своеобразным носителем информации.

### 3.4.1. CD-ROM носители и приводы

CD-ROM — компакт-диск (CD), предназначенный для хранения в цифровом виде предварительно записанной на него информации и считывания ее с помощью специального устройства, называемого CD-ROM-driver, — дисководом для чтения компакт-дисков.

История создания CD-ROM начинается с 1980 г., когда фирмы Sony и Philips объединили свои усилия по созданию технологии записи и производства компакт-дисков с использованием лазеров. Начиная с 1994 г., дисководы CD-ROM становятся неотъемлемой частью стандартной конфигурации ПК. Носителем информации на CD-диске является рельефная подложка, на которую нанесен тонкий слой отражающего свет материала, как правило, алюминия. Запись информации на компакт-диск представляет собой процесс формирования рельефа на подложке путем «прожигания» мини-

акторных штрихов-питов лазерным лучом. Считывание информации производится за счет регистрации луча лазера, отраженного от рельефа подложки. Отражающий участок поверхности диска дает сигнал «ноль», а сигнал от штриха — «единицу». Хранение данных на CD-дисках, как и на магнитных дисках, организуется в двоичной форме.

Процесс изготовления CD-дисков включает несколько этапов. На первом этапе создается информационный файл для последующей записи на носитель. На втором этапе с помощью луча полупроводникового лазера производится запись информации на носитель, в качестве которого используется стеклопластиковый диск с покрытием из фоторезистивного материала. Информация записывается в виде последовательности расположенных по спирали углублений (штрихов), как показано на рис. 3.6. Глубина каждого штриха-пита (*pit*) равна 0,12 мкм, ширина (в направлении, перпендикулярном плоскости рисунка) — 0,8... 3,0 мкм. Они расположены вдоль спиральной дорожки, расстояние между соседними витками которой составляет 1,6 мкм, что соответствует плотности 16 000 витков/дюйм (625 витков/мм). Длина штрихов вдоль дорожки записи колеблется от 0,83 до 3,1 мкм.

На следующем этапе производится проявление фоторезистивного слоя и металлизация диска. Изготовленный по такой технологии диск называется мастер-диском. Для тиражирования компакт-

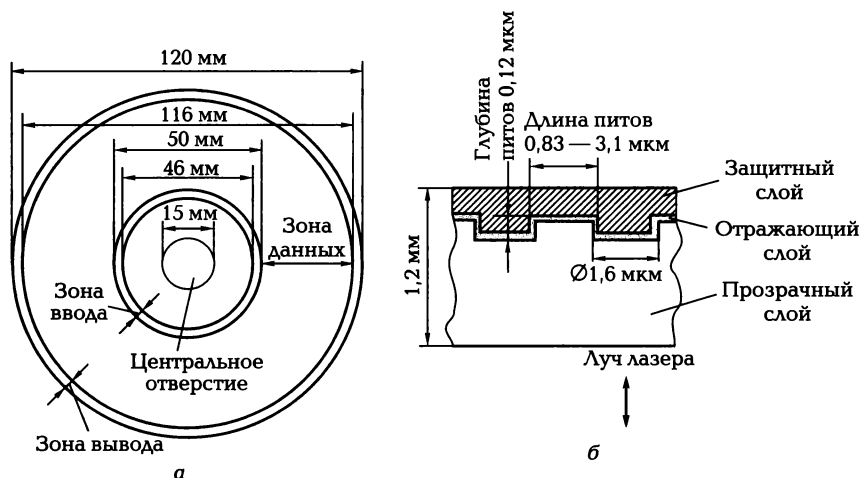


Рис. 3.6. Геометрические характеристики компакт-диска (а) и его поперечное сечение (б)

дисков с мастер-диска методом гальванопластики снимается несколько рабочих копий. Рабочие копии покрываются более прочным металлическим слоем (например, никелем), чем мастер-диск, и могут использоваться в качестве матриц для тиражирования CD-дисков до 10 тыс. шт. с каждой матрицы. Тиражирование осуществляется методом горячей штамповки, после которой информационную сторону основы диска, выполненную из поликарбоната, подвергают вакуумной металлизации слоем алюминия и диск покрывают слоем лака. Диски, выполненные методом горячей штамповки, в соответствии с паспортными данными обеспечивают до 10 000 циклов безошибочного считывания данных. Толщина CD-диска — 1,2 мм, диаметр — 120 мм. Объем данных, располагаемых на стандартном 5-дюймовом диске, содержит 640... 700 Мбайт информации.

Привод CD-ROM содержит следующие основные функциональные узлы:

- загрузочное устройство;
- оптико-механический блок;
- системы управления приводом и автоматического регулирования;
- универсальный декодер и интерфейсный блок.

На рис. 3.7 дана конструкция *оптико-механического блока привода CD-ROM*, который работает следующим образом. Электромеханический привод приводит во вращение диск, помещенный в загрузочное устройство. Оптико-механический блок обеспечивает

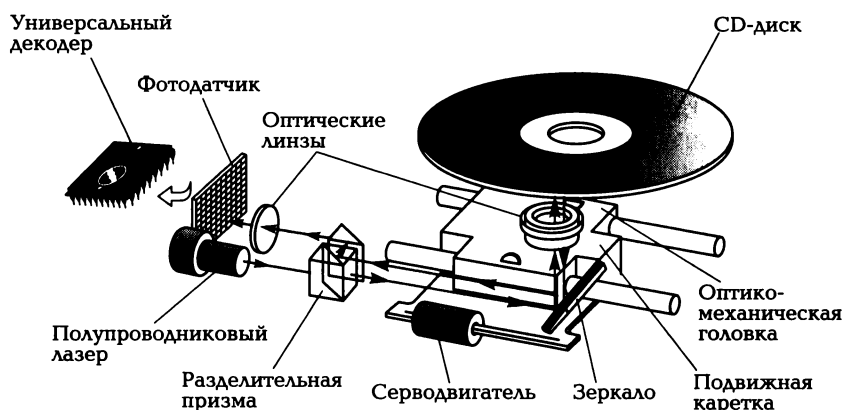


Рис. 3.7. Конструкция оптико-механического блока привода CD-ROM

перемещение оптико-механической головки считывания по радиусу диска и считывание информации. Полупроводниковый лазер генерирует маломощный инфракрасный луч (типовая длина волны 780 нм, мощность излучения 0,2...5,0 мВт), который попадает на разделительную призму, отражается от зеркала и фокусируется линзой на поверхности диска. Серводвигатель по командам, поступающим от встроенного микропроцессора, перемещает подвижную каретку с отражающим зеркалом к нужной дорожке на компакт-диске. Отраженный от диска луч фокусируется линзой, расположенной под диском, отражается от зеркала и попадает на разделительную призму, которая направляет луч на вторую фокусирующую линзу. Далее луч попадает на фотодатчик, преобразующий световую энергию в электрические импульсы. Сигналы с фотодатчика поступают на универсальный декодер.

*Системы автоматического слежения за поверхностью диска и дорожки записи данных* обеспечивают высокую точность считывания информации. Сигнал с фотодатчика в виде последовательности импульсов поступает в усилитель системы автоматического регулирования, где выделяются сигналы ошибок слежения. Эти сигналы поступают в системы автоматического регулирования: фокуса, радиальной подачи, мощности излучения лазера, линейной скорости вращения диска.

*Универсальный декодер* представляет собой процессор для обработки сигналов, считанных с CD. В его состав входят два декодера, оперативное запоминающее устройство и контроллер управления декодером. Применение двойного декодирования дает возможность восстановить потерянную информацию объемом до 500 байт. Оперативное запоминающее устройство выполняет функцию буферной памяти, а контроллер управляет режимами исправления ошибок.

*Интерфейсный блок* состоит из преобразователя цифровых данных в аналоговые сигналы, фильтра нижних частот и интерфейса для связи с компьютером. При воспроизведении аудиоинформации ЦАП преобразует закодированную информацию в аналоговый сигнал, который поступает на усилитель с активным фильтром низких частот и далее на звуковую карту, которая связана с наушниками или акустическими колонками.

При выборе CD-ROM применительно к конкретным задачам необходимо учитывать следующие *эксплуатационные характеристики*.

*Скорость передачи данных (Data Transfer Rate — DTK)* — максимальная скорость, с которой данные пересылаются от носителя информации в оперативную память компьютера. Это наиболее важная характеристика привода CD-ROM, которая практически

всегда упоминается вместе с названием модели. Непосредственно со скоростью передачи данных связана скорость вращения диска, имеющего одну физическую дорожку в форме непрерывной спирали, идущей от наружной стороны диска к внутренней. При этом одна физическая дорожка может быть разбита на несколько логических и каждый из ее 360-градусных фрагментов рассматривается как отдельная дорожка. В отличие от магнитных дисков компакт-диск вращается обычно с переменной скоростью, чтобы обеспечить постоянную линейную скорость при чтении. Чтение внутренних треков осуществляется с увеличенным, а наружных — с уменьшенным числом оборотов. Высокая скорость передачи данных привода CD-ROM необходима, прежде всего, для синхронизации изображения и звука. При недостаточной скорости передачи возможны пропуск кадров видеоизображения и искажение звука.

Однако дальнейшее, свыше кратности 72, повышение скорости считывания приводов CD-ROM нецелесообразно, поскольку при этом не обеспечивается требуемый уровень качества считывания. И, кроме того, появилась более перспективная технология — DVD.

Качество считывания характеризуется коэффициентом ошибок (*Error Rate*) и представляет собой вероятность получения искаженного информационного бита при его считывании. Данный параметр отражает способность устройства CD-ROM корректировать ошибки чтения-записи. Значения этого коэффициента —  $1 \cdot 10^{-10}$ — $1 \cdot 10^{-12}$ .

Среднее время доступа (*Access Time* — *AT*) — это время (в миллисекундах), которое требуется приводу, чтобы найти на носителе нужные данные. По мере совершенствования приводов CD-ROM среднее время доступа уменьшается, но, тем не менее, этот параметр значительно отличается от аналогичного для накопителей на жестких дисках. Например, при (36...60)-кратной скорости привода среднее время доступа порядка 75 мс. В то время как у жестких дисков — единицы миллисекунд. Это объясняется принципиальными различиями конструкций: в накопителях на жестких дисках используется несколько магнитных головок и диапазон их механического перемещения меньше, чем диапазон перемещения оптической головки привода CD-ROM.

В процессе развития накопителей на оптических дисках разработан целый ряд основных форматов записи информации на CD.

*Format CD-DA (Digital Audio)* — цифровой аудиокомпакт-диск со временем звучания 74 мин.

*Format ISO 9660* — наиболее распространенный стандарт логической организации данных. Компакт-диски, соответствующие тре-

бованиям стандарта ISO 9660, который определяет их логические и файловые форматы, являются совместимыми друг с другом.

*Формат High Sierra (HSG)* обеспечивает чтение данных, записанных на диск в формате ISO 9660, с помощью приводов всех типов, что привело к широкому тиражированию программ на CD и способствовало созданию компакт-дисков, ориентированных на различные операционные системы.

*Формат Photo-CD* предназначен для записи на CD, хранения и воспроизведения статической видеоинформации в виде высококачественных фотоизображений.

*Формат CD-1 (Compact Disk-Interactive)* разработан с целью записи музыки, видео, игр, энциклопедий. Является стандартом записи мультимедийной информации. Устройства для чтения таких дисков могут быть подключены к бытовому телевизору, при этом на диске может быть сохранено до 90 мин видео с текстом, данными, графикой, видео, стереозвуком и анимацией. Воспроизведение аудиокомпакт-дисков возможно на дисководов для CD-1 либо на ПК с применением аппаратного, либо программного декодера MPEG.

Любой диск CD-ROM, содержащий текст и графические данные, аудио- или видеоинформацию, относится к категории мультимедиа. Мультимедиа CD существуют в различных форматах для различных операционных систем.

*Формат CD-DV (Digital Video)* обеспечивает запись и хранение высококачественного видеоизображения со стереозвуком в течение 74 мин.

*Формат 3D 0* разработан для игровых приставок.

Диски CD-ROM в качестве носителей информации используют все меньше. Их активно вытесняют компакт-диски CD-WORM/CD-R и CD-RW.

### **3.4.2. Накопители с однократной записью CD-WORM/CD-R и многократной записью информации CD-RW**

Накопители CD-WORM (*Write Once Read Many*) или CD-R (*CD-Recordable*) обеспечивают однократную запись информации на диск и последующее многократное считывание этой информации, в то время как накопители CD-RW (*CD-Re Writable* — перезаписывающий) позволяют осуществлять многократную запись на оптические диски.

Для *однократной записи* используются диски, представляющие собой обычный компакт-диск, отражающий слой которого выполнен, как правило, из золотой или серебряной пленки. Между ним и поликарбонатной основой расположен регистрирующий слой (рис. 3.8), выполненный из органического материала, темнеющего при нагревании. В процессе записи лазерный луч, длина волны которого, как и при чтении, составляет 780 нм, а интенсивность более чем в 10 раз выше, чем интенсивность лазера при чтении, нагревает отдельные участки регистрирующего слоя, которые темнеют и рассеивают свет, образуя участки, подобные питам. Однако отражающая способность зеркального слоя и четкость питов у дисков CD-R ниже, чем у CD-ROM, изготовленных промышленным способом.

В *перезаписываемых дисках* CD-RW регистрирующий слой выполнен из органических соединений, известных под названиями цианин (Cyanine) и фталоцианин (Phthalocyanin), которые имеют свойство изменять свое фазовое состояние с аморфного на кристаллическое и обратно под воздействием лазерного луча. Такое изменение фазового состояния сопровождается изменением прозрачности слоя. При нагревании лазерным лучом выше некоторой критической температуры материал регистрирующего слоя переходит в аморфное состояние и остается в нем после остывания, а при нагревании до температуры значительно ниже критической восстанавливает свое первоначальное (кристаллическое) состояние. В перезаписываемых дисках регистрирующий слой обычно выполняется из золота, серебра, иногда из алюминия и его сплавов.

Существующие перезаписываемые CD-RW-диски выдерживают от нескольких тысяч до десятков тысяч циклов перезаписи. Однако их отражающая способность значительно ниже штампованных CD-ROM и CD-R. В связи с этим для чтения CD-RW, как правило,

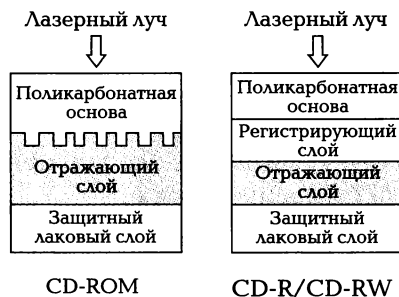


Рис. 3.8. Строение дисков CD-ROM и CD-R/CD-RW

применяется специальный привод с автоматической регулировкой усиления фотоприемника.

Преимущество CD-R/RW-дисков по отношению к CD-ROM — они тускнеют и выходят из строя медленнее обычных, поскольку отражающий слой из золота и серебра менее подвержен окислению, чем алюминий в большинстве штампованных CD-ROM дисков. Недостатки CD-R/RW-дисков — материал регистрирующего слоя CD-R/RW-дисков более чувствителен к свету и также подвержен окислению и разложению. Кроме того, регистрирующая пленка находится в полужидком состоянии и потому весьма чувствительна к ударам и деформациям диска.

Информация на CD-R может быть записана несколькими способами. Наиболее распространен способ записи диска за один проход (*disk-at-once*), когда файл с жесткого диска записывается непосредственно за один сеанс и добавление информации на диск невозможно. В отличие от этого способ многосеансовой записи (*track-at-once*) позволяет производить запись отдельных участков (треков) и постепенно наращивать объем информации на диске.

### 3.4.3. Накопители DVD

Решение проблемы увеличения емкости оптических носителей информации на базе совершенствования технологии производства CD и приводов, а также имеющихся научно-технических решений в области высококачественного цифрового видео привело к созданию CD-дисков повышенной емкости. В 1995 г. фирмы-производители CD предложили свои стандарты компакт-дисков с увеличенной емкостью. Одним из этих стандартов стал формат SD (*Super Density*). Во избежание многообразия и несовместимости стандартов в сентябре 1995 г. фирма Sony в союзе с восемью другими фирмами предложила новый универсальный формат записи данных на CD-DVD (*Digital Versatile Disk*). Этот формат, удовлетворяющий требованиям к воспроизведению видеоизображений и хранению данных, получил активную поддержку среди ведущих производителей CD. Создано пять форматов DVD:

- DVD-ROM — носитель только для чтения и хранения информации большой емкости;
- DVD-видео — цифровой носитель данных для кинофильмов;
- DVD-аудио — аналогичен формату CD-аудио, для хранения информации в звуковой форме;

- DVD-R — родственная формату CD-R, обеспечивает многократное чтение при однократной записи;
- DVD-RAM — перезаписываемый вариант DVD, конкурирующий с форматами DVD-RW и DVD+RW.

Качество изображения, хранимого в формате DVD, соизмеримо с качеством профессиональных студийных видеозаписей, причем качество звука также не уступает студийному.

Такие возможности дисков формата DVD обусловлены улучшенными параметрами рабочей поверхности дисков. На рис. 3.9 приведены параметры элементов рабочей поверхности дисков, записанных в форматах CD и DVD. Так же как и CD, диск формата DVD имеет диаметр 120 мм. В приводе DVD используется полупроводниковый лазер с длиной волны излучения в видимой области 0,63... 0,65 мкм. Такое снижение длины волны (по сравнению с 0,78 мкм у обычного CD-привода) обеспечило возможность уменьшения размеров штрихов записи (питов) практически в два раза, а расстояние между дорожками записи — с 1,6 до 0,74 мкм. Это дает DVD-дискам четырехкратную вместимость по сравнению с CD. Питы располага-

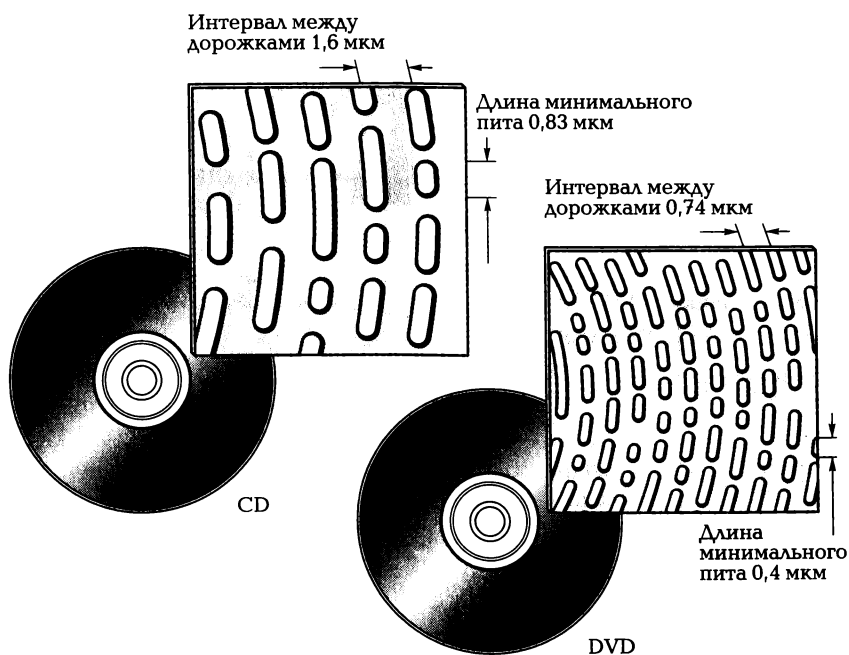


Рис. 3.9. Элементы рабочей поверхности дисков форматов CD и DVD

ются по спиральной дорожке, на которую от центра к краю записаны данные. Единственная спиральная дорожка и непрерывное следование головки вдоль нее является оптимальным для записи и воспроизведения потоковых аудио- и видеоданных.

Спецификация DVD позволяет считывать информацию более, чем с одного слоя. Нижний слой двухслойного диска (рис. 3.10, б) толщиной 0,6 мм выполнен из поликарбонатного пластика, в нем отпрессована микроскопической толщины спиральная дорожка с питами и нанесено полупрозрачное отражающее пленочное покрытие толщиной 0,05 мкм. Второй прозрачный слой со своей спиральной дорожкой выполнен из фотополимера и его толщина составляет 40 мкм. Далее следуют обычный отражающий слой (0,05 мкм), адгезионный слой и подложка. Последовательное считывание информации с каждого слоя обеспечивается за счет изменения положения фокуса. Когда сфокусированным лазерным лучом считывается

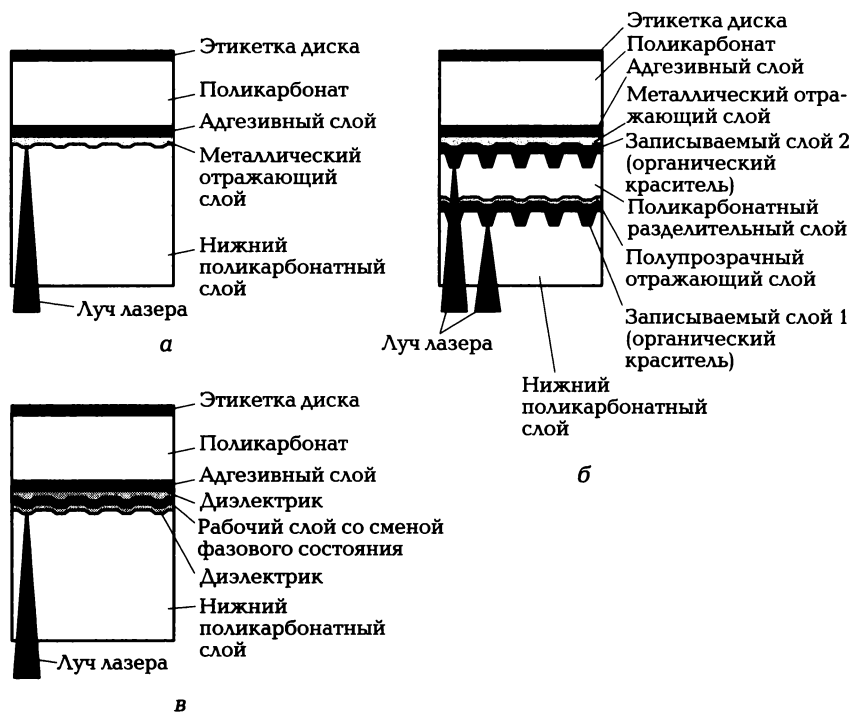


Рис. 3.10. Структура DVD-дисков:

а — DVD-ROM однослойного; б — DVD-ROM двухслойного; в — DVD-RW

информация, записанная на первом слое, расположенном в глубине диска, луч беспрепятственно проходит через полупрозрачную пленку, образующую второй слой. По окончании считывания информации с первого слоя фокусировка луча лазера меняется по команде контроллера. Луч фокусируется в плоскости второго (наружного) полупрозрачного слоя, и считывание данных продолжается.

С точки зрения механической прочности общая толщина DVD-дисков сохранена такой же, как у CD, т. е. равной 1,2 мм. Тот факт, что толщина прозрачного слоя уменьшилась до 0,6 мм, позволил предложить двухсторонние диски, представляющие собой комбинацию из склеенных рабочими поверхностями наружу двух односторонних дисков (рис. 3.10, а). Таким образом, стандарт DVD предусматривает четыре варианта дисков, которые получаются из комбинации числа рабочих слоев и сторон и имеют следующие характеристики:

DVD-5 — односторонний однослойный диск емкостью 4,7 Гбайт;

DVD-9 — односторонний двухслойный диск емкостью 8,5 Гбайт;

DVD-10 — двухсторонний однослойный диск емкостью 9,4 Гбайт;

DVD-18 — двухсторонний двухслойный диск емкостью 17 Гбайт.

Самые распространенные диски — DVD-5 и DVD-10. Остальные имеют меньшую популярность в силу большей стоимости и меньшей распространенности соответствующих производственных линий.

Приводы DVD имеют много общего с приводами CD-ROM: интерфейс ATAPI (IDE) или SCSI, основные узлы конструктивно подобны. Однако для того, чтобы обеспечить возможность чтения как дисков CD-ROM, так и DVD-ROM, привод DVD устроен более сложно. Обусловлено это тем, что данные CD-ROM записаны близко к верхнему слою поверхности диска, а данные на DVD — ближе к середине. Для обеспечения изменения фокусировки луча для чтения как CD-ROM, так и DVD вначале использовалась пара линз с различными фокусными расстояниями. В дисководах фирмы Sony установлены два отдельных лазера: для CD с длиной волны 780 нм, а для DVD — 650 нм. В устройствах Panasonic лазерный луч переключается с помощью голографического оптического элемента, обеспечивающего различную фокусировку луча.

Приводы DVD-ROM вращают диск со значительно меньшей скоростью, чем аналогичные CD-ROM. Однако производительность DVD намного выше, чем CD-ROM за счет более плотной упаковки данных в дисках DVD. Например, 1× (или однократный) диск CD-ROM имеет максимальную скорость передачи данных 150 Кбайт/с, а 1× DVD может передавать данные по 1 250 Кбайт/с, что соответ-

ствуется примерно 8х для CD-приводов. Приводы DVD-ROM поставляются как с аппаратным декодером MPEG-2, так и с программным декодером. Дисководы DVD так называемого «второго поколения» позволяют считывать и носители CD-R/CD-RW. «Третье поколение» дисководов способно к чтению носителей DVD-RAM.

*Записываемые DVD-носители* имеют следующие форматы: DVD-R; DVD-RAM; DVD-RW; DVD+RW. Если на DVD-R можно сделать запись однократно, то DVD-RAM; DVD-RW; DVD+RW — многократно перезаписываемые.

DVD-RW и DVD+RW возникли на основе дальнейшего совершенствования форматов CD-RW и DVD+R и вследствие этого лучше совместимы с другими представителями изделий CD/DVD. DVD-R был разработан в 1999 г., а DVD+R — в 2001 г. Устройства DVD-RW и DVD+RW способны производить запись форматов DVD-R(G) и CD-R/RW.

DVD-R — записываемый DVD может содержать информацию любого типа: видео, аудио, рисунки, файлы данных, программы мультимедиа. Диски DVD-R могут использоваться на любом совместимом устройстве воспроизведения DVD, включая дисководы DVD-ROM и проигрыватели DVD-видео. Вместимость дисков DVD-R — 4,7 Гбайт для однослойного, одностороннего и 9,4 Гбайт для двухстороннего. Данные могут быть записаны со скоростью  $1 \times (11,08 \text{ Мбит/с})$ , т. е. около 9х скорости CD-ROM.

Запись на дисках DVD-R производится с помощью слоя вещества, которое окрашивается сфокусированным лазерным лучом с длиной волны 635...645 нм. Слой наносится на прозрачную основу, выполненную методом литья под давлением из поликарбоната, и имеет спиральную дорожку (канавку) на поверхности для записи информации. Профиль канавки волнистый (заранее записанный синусоидальный сигнал) и предназначен для синхронизации двигателя шпинделя диска в процессе записи, причем между углублениями размещаются специальные отметки, используемые для позиционирования (адресации). На записывающий слой напыляют тонкий слой металла, чтобы при воспроизведении луч лазера отражался от диска. На металлизированную поверхность наносят защитный слой, который используется в дальнейшем при склеивании двух сторон диска. Вторую сторону выполняют аналогичным образом и, произведя склеивание, получают двухсторонний диск. Для чтения каждой стороны такого диска, его необходимо перевернуть.

При записи импульсы сфокусированного луча лазера мощностью 8...10 мВт нагревают окрашиваемый слой, в результате чего в месте его взаимодействия в спиральной канавке образуются питы,

длина которых зависит от длительности импульса в соответствии с записываемой информацией.

В процессе воспроизведения луч лазера такой же длины волны, но меньшей мощности (4...8 мВт) фокусируется на поверхности диска. Поскольку поверхность диска между метками хорошо отражает лазерный луч, а метки — значительно хуже, отраженный от диска луч модулируется, преобразовываясь на фотоприемнике в сигнал, который в дальнейшем расшифровывается устройством воспроизведения.

Во избежание необходимости переворачивать вручную двухсторонний диск для доступа к данным на второй стороне наибольшую популярность получили приводы DVD, оснащенные двумя независимыми считывающими системами.

DVD-RAM — первый перезаписываемый формат, выпущенный в 1997 г., наиболее удобен для записи компьютерных данных, однако он несовместим с большинством проигрывателей.

DVD-RW — односторонние диски используют технологию изменения фазового состояния вещества для чтения, записи и стирания информации. Структура диска показана на рис. 3.10, в. Рабочий слой представляет собой сложный сплав, обеспечивающий применение метода записи, основанного на изменении фазового состояния (*phase-change*), т. е. так же, как в CD-RW.

DVD+RW так же, как и конкурирующий DVD-RW, использует носитель с изменением фазового состояния: аморфного или кристаллического. Отличия этих стандартов кроются не в принципах записи и структуре носителей, а в некоторых деталях их реализации. В первую очередь это касается способов записи на носители сервоинформации, используемой для позиционирования головки относительно оси дорожки и адресации блоков данных.

Например, в DVD+RW адресная и сервоинформация записываются на боковые стенки спиральной дорожки, а в дисках DVD-R/RW для адресных меток используется метод Land Pre-Pits (LPP), заключающийся в формировании заводским способом на равнинных участках между витками специальных питов, которые и помогают контролировать адреса записываемых блоков. Алгоритмы, заложенные в DVD+RW, несколько сложнее, но зато обеспечивают более точную адресацию (отклонение положения головки от заданного места на дорожке составляет порядка 1 мкм) и позволяют начать запись с любой точки. Кроме того, есть разница в оптических свойствах носителей, в структуре служебных областей дорожки.

Конкурирующие вначале форматы DVD+RW и DVD-RW мирно сосуществуют, выпускаются приводы для обеих разновидностей.

Отдельными устройствами, в частности от LG, поддерживается DVD-RAM, отличающийся высокой скоростью произвольного доступа и долговечностью носителя (число циклов перезаписи примерно в 10 раз больше по сравнению с другими стандартами).

Вместе с тем единого подхода при выработке формата записи разработчиками не найдено: диски, записанные в одном из форматов, как правило, не читаются на приводах других записываемых форматов. Бытовая электроника ориентирована на форматы DVD-видео, DVD-аудио и не обязательно обеспечивает чтение DVD-ROM. Приводы DVD-ROM для ПК хорошо читают видео-, аудио-, мультимедийные и другие компакт-диски. Как правило, если привод DVD-ROM может читать диски DVD+RW, то он сможет прочесть диски DVD-RW и DVD-R. Привод с логотипом «multi» должен читать и записывать диски форматов DVD-R, DVD-RW и DVD-ROM.

К числу ведущих производителей приводов CD и DVD относятся компании Plextor, Peoneer, Nec, Teac America Inc, Sony, Asus, LG, Panasonic.

### 3.4.4. Стандарты оптических дисков HD DVD и Blu-Ray

Развитие всех технологий памяти идет по пути увеличения плотности хранения данных. Такая тенденция наблюдается и при совершенствовании оперативной памяти, и НЖМД, а также оптических носителей.

Скорость записи и считывания при этом тоже возрастает, даже когда для этого не применяются какие-либо другие меры. Например, если на каждом сантиметре дорожки диска хранится в два раза больше данных, при той же скорости его вращения (или скорости перемещения считывающей головки вдоль дорожки) количество считываемых или записываемых в единицу времени битов информации тоже возрастает вдвое.

Это иллюстрируется данными, приведенными на рис. 3.11, где показаны основные характеристики и фрагменты рабочей поверхности CD-ROM (рис. 3.11, а), DVD-ROM (*Digital Versatile Disc*) (рис. 3.11, б) и технологии оптических носителей памяти BD (*Blu-ray Disc*) (рис. 3.11, в).

Увеличение объемов памяти до 4,7 Гбайт в случае с DVD и до 27 Гбайт в случае с BD достигается увеличением плотности записи данных на носитель одинакового размера (диск с диаметром 120 мм и толщиной 1,2 мм).