

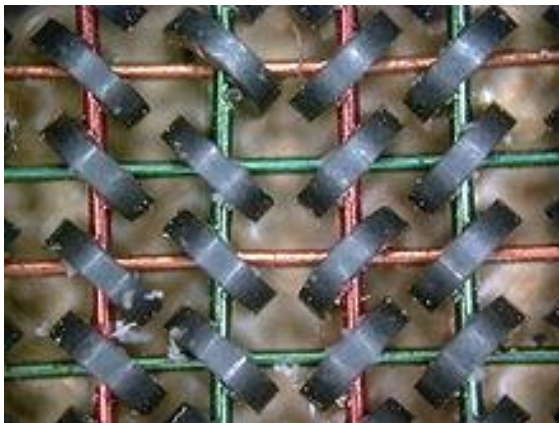
Компьютерная память



Проблема хранения информации существует столько же, сколько и Homo sapiens – вспомните хотя бы наскальные изображения (петроглифы), самые ранние из которых созданы около 40 тысяч лет назад.



Современные носители информации прошли путь от перфокарт и перфолент до жестких дисков, Flash-памяти и Blu-ray дисков.



1953 г.,
4 Кбайт памяти
на магнитных
сердечниках

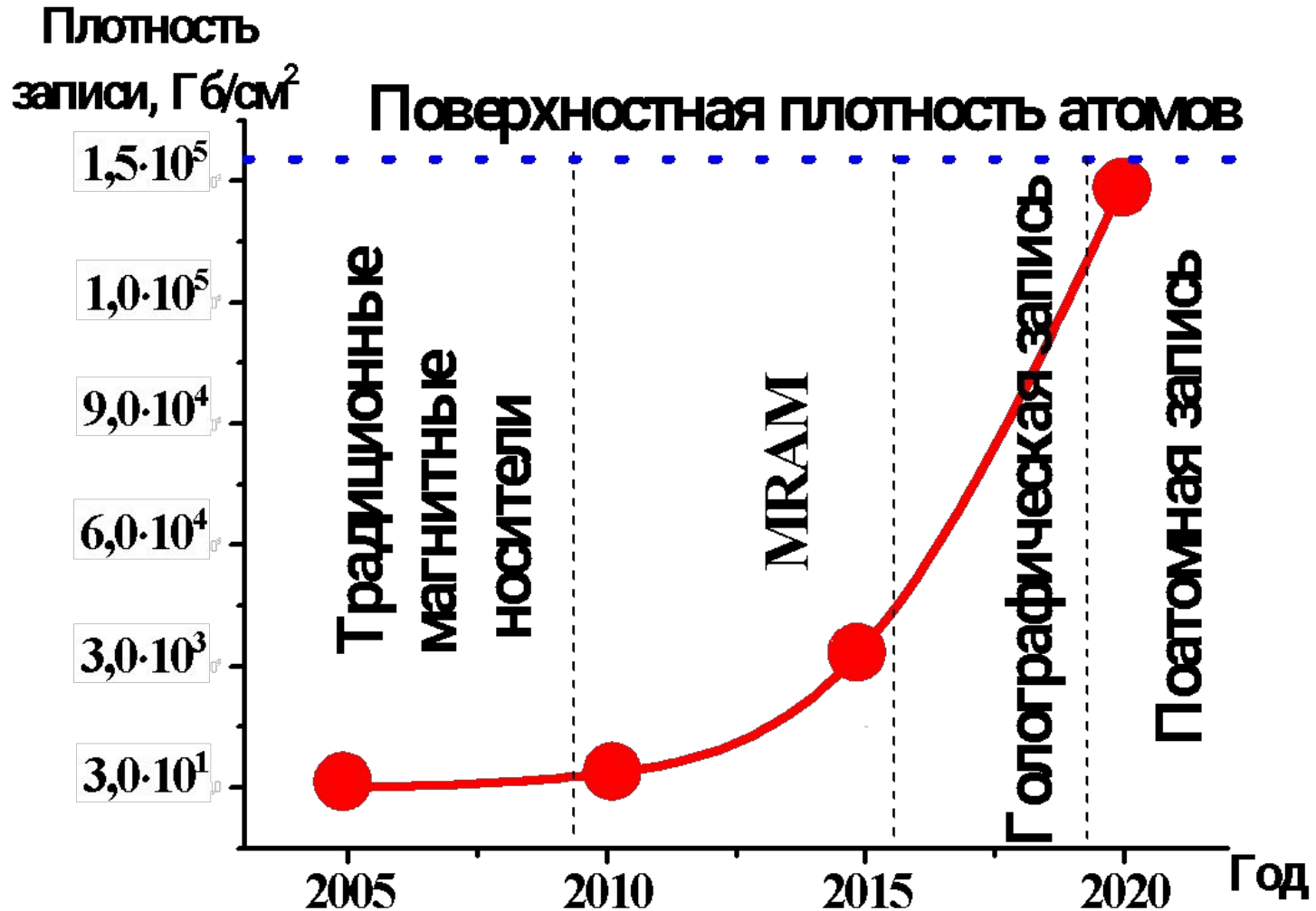


1956 г.,
16 Кбайт,
19.5 кг





Эволюция физических принципов записи информации и ее плотности



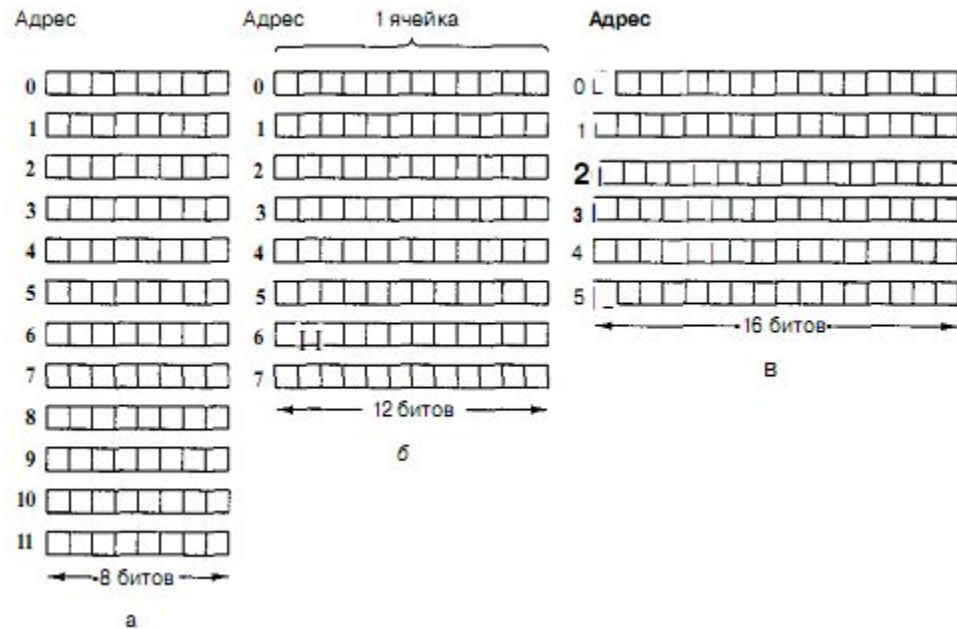
Память - часть компьютера, где хранятся программы и данные.

Основной единицей памяти является двоичный разряд, который называется **битом**. Бит может содержать 0 или 1. Эта самая маленькая единица памяти.

Адреса памяти

Память состоит из ячеек, каждая из которых может хранить некоторую порцию информации. Каждая ячейка имеет номер, который называется адресом, По адресу программы могут ссылаться на определенную ячейку. Если ячейка состоит из k битов, она может содержать любую из 2^k комбинаций.

Три различных способа организации 96-битной памяти



Ячейка - минимальная единица, к которой можно обращаться. 8-битные ячейки называются **байтами**. Байты группируются в **слова**.

Кэш-память

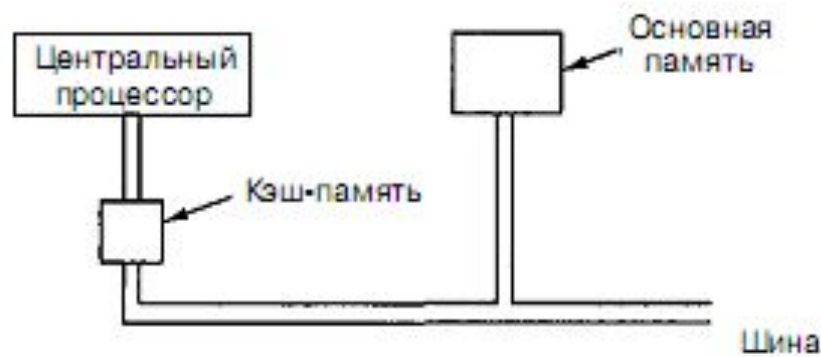
Поскольку на микросхему можно помещать все больше и больше транзисторов, разработчики процессоров использовали эти преимущества для создания конвейеров и суперскалярной архитектуры, что еще больше повышало скорость работы процессоров.

Разработчики памяти обычно использовали новые технологии для увеличения емкости, а не скорости, что еще больше усугубляло проблему.

Чтобы память могла работать так же быстро, как и процессор, ее помещают прямо на микросхему процессора (информация через шину поступает медленно). Установка большой памяти на микросхему процессора делает его больше дорожке. Приходится выбирать между быстрой памятью небольшого размера и медленной памятью большого размера. Маленькая память с высокой скоростью работы называется **кэш-памятью**: в ней находятся слова, которые чаще всего используются. Если процессору нужно слово, сначала он обращается к кэш-памяти. Если слова там нет, он обращается к оперативной памяти. Если значительная часть слов находится в кэш-памяти, среднее время доступа значительно сокращается.

Программы не обращаются к памяти наугад. Если программе нужен доступ к адресу **A**, то скорее всего после этого ей понадобится доступ к адресу, расположенному поблизости от **A** (принцип локальности).

Когда определенное слово вызывается из памяти, оно вместе с соседними словами переносится в кэш-память, что позволяет при очередном запросе быстро обращаться к следующим словам.



Оперативная память и кэш-память делятся на блоки фиксированного размера с учетом принципа локальности. Блоки внутри кэш-памяти называют **строками кэш-памяти**. Если обращение к кэш-памяти нерезультативно, из оперативной памяти в кэш-память загружается вся строка, а не только необходимое слово.

Должны ли команды и данные находиться вместе в общей кэш-памяти?

Проще разработать смежную кэш-память, в которой хранятся и данные, и команды. В настоящее время используется разделенная кэш-память, когда команды хранятся в одной кэш-памяти, а данные - в другой. Такая структура называется **Гарвардской**. Это удобно, поскольку в процессорах с конвейерами должна быть возможность одновременного доступа и к командам, и к данным (операндам). Разделенная кэш-память позволяет осуществлять параллельный доступ, а общая - нет.

Оперативная память

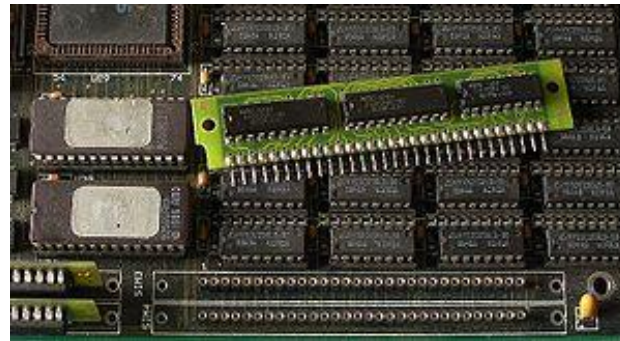
Оперативная память (*RAM* (Random Access Memory) память с произвольным доступом) - энергозависимая часть системы компьютерной памяти, в которой временно хранятся данные и команды, необходимые процессору для выполнения им операции. Содержащиеся в оперативной памяти данные доступны только тогда, когда на модули памяти подаётся напряжение, то есть, компьютер включен. Пропадание на модулях памяти питания, даже кратковременное, приводит к искажению либо полному пропаданию содержимого оперативного запоминающего устройства.

До начала 90-х годов все микросхемы памяти производились, продавались и устанавливались на плату компьютера по отдельности.



В настоящее время группа микросхем (обычно 8 или 16) монтируется на одну печатную плату и продается как один блок.

Он называется **SIMM** (Single In-line Memory Module — модуль памяти, имеющий выводы с одной стороны). Контакты расположены только на одной стороне печатной платы (выводы на второй стороне дублируют первую).

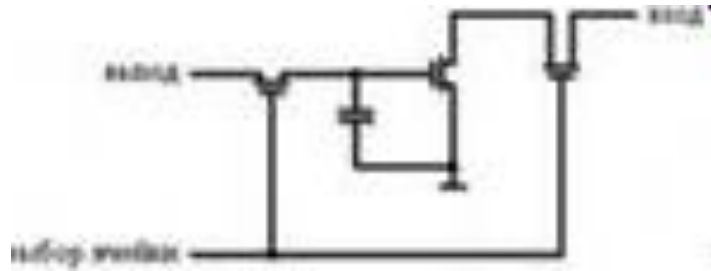


Или **DIMM** (Dual In-line Memory Module — модуль памяти, у которого выводы расположены с двух сторон). Контакты расположены на обеих сторонах.



Память динамического типа (DRAM (Dynamic Random Access Memory))

Экономичный вид памяти. Для хранения разряда используется схема из одного конденсатора и одного транзистора.



Плюсы.

1. Дешевизна (один конденсатор и один транзистор дешевле нескольких транзисторов).
2. Компактность (там, где размещается один триггер, то есть один бит, можно уместить восемь конденсаторов и транзисторов).

Минусы.

1. Медленная (для того чтобы установить в единицу один разряд – бит памяти на основе конденсатора, его нужно зарядить, а для того чтобы разряд установить в ноль - разрядить).
2. Конденсаторы склонны к «стеканию» заряда. Чтобы не потерять содержимое памяти, заряд конденсаторов для восстановления необходимо «регенерировать», для чего периодически приостанавливаются все операции с памятью, а это снижает производительность.



Память статического типа (SRAM (Static Random Access Memory))

Оперативное запоминающее устройство, которое не надо регенерировать (схемотехнически собранное на триггерах).

Плюсы.

Скорость. Переключение состояния триггера происходит в десять раз быстрее зарядка конденсатора.



Минусы.

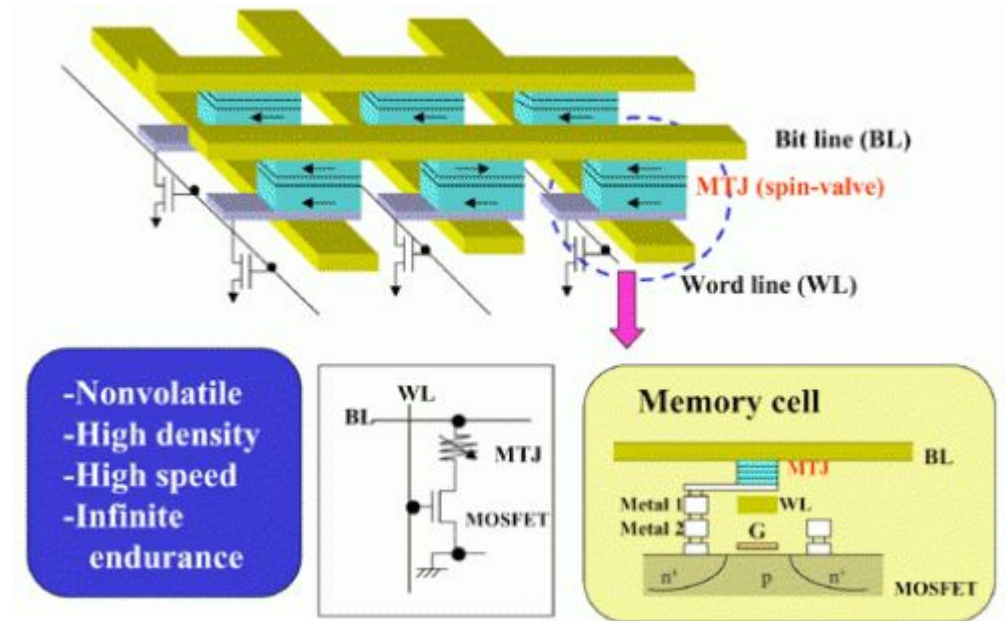
1. Группа транзисторов, входящих в состав триггера, обходится дороже, даже если они вытравляются миллионами на одной кремниевой подложке.
2. Группа транзисторов занимает гораздо больше места, поскольку между транзисторами, которые образуют триггер, должны быть вытравлены линии связи.

Используется для организации кэш-памяти, критичного к скорости работы.



Магниторезистивная оперативная память (MRAM (*magnetoresistive random-access memory*))

Оперативное запоминающее устройство, которое хранит информацию при помощи магнитных моментов, а не электрических зарядов.



Иерархическая структура памяти

1. Регистры процессора. Доступ к регистрам осуществляется быстрее всего.
2. Кэш-память. До нескольких мегабайт.
3. Основная (оперативная) память. До десятков гигабайт.
4. Магнитные и оптические диски, флэш-память.



По мере продвижения по структуре сверху вниз возрастают три параметра.

1. Увеличивается время доступа. Доступ к регистрам занимает несколько наносекунд, к оперативной памяти — несколько десятков наносекунд, к жесткому диску — по крайней мере 10 микросекунд.

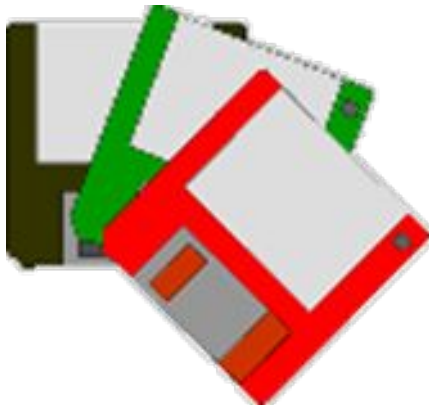
2. Увеличивается объем памяти. Регистры могут содержать 128 байтов, кэш-память — несколько мегабайтов, оперативная память — несколько гигабайтов, магнитные диски — нескольких терабайтов.

3. Увеличивается количество битов за 1 доллар.

Стоимость объема оперативной памяти измеряется в долларах за мегабайт, объем магнитных дисков — в центах за мегабайт.

Магнитная память

Магнитный диск состоит из нескольких алюминиевых или стеклянных дисков с магнитным слоем. Были 50 см в диаметре, сейчас диаметр от 3 до 12 см, у портативных компьютеров — меньше 3 см. Головка диска, содержащая индукционную катушку, движется над поверхностью диска, опираясь на воздушную подушку. (У дискет головка касалась поверхности).



Когда через головку проходит положительный или отрицательный ток, он намагничивает поверхность под головкой. При этом магнитные частицы намагничиваются направо или налево в зависимости от полярности тока. Когда головка проходит над намагниченной областью, в головке возникает положительный или отрицательный ток, что дает возможность считывать записанные ранее биты. Поскольку диск вращается под головкой, поток битов может записываться, а потом считываться.

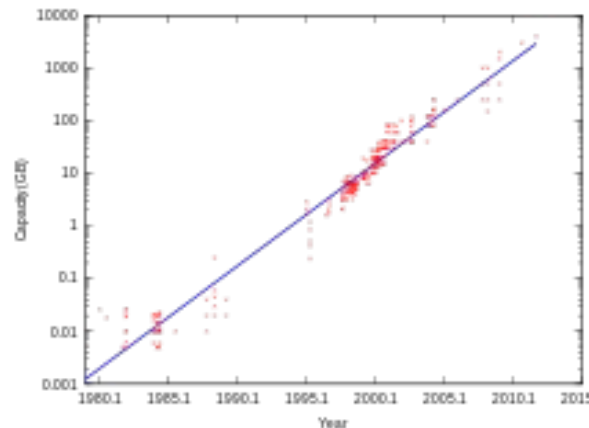


Метод продольной записи

Вектор намагниченности домена расположен параллельно поверхности диска. К 2010 году этот метод был практически вытеснен методом перпендикулярной записи.

Метод перпендикулярной записи

Метод перпендикулярной записи — биты информации сохраняются в вертикальных доменах. Это позволяет снизить площадь материала, необходимую для записи 1 бита. Жёсткие диски с перпендикулярной записью доступны на рынке с 2005 года.



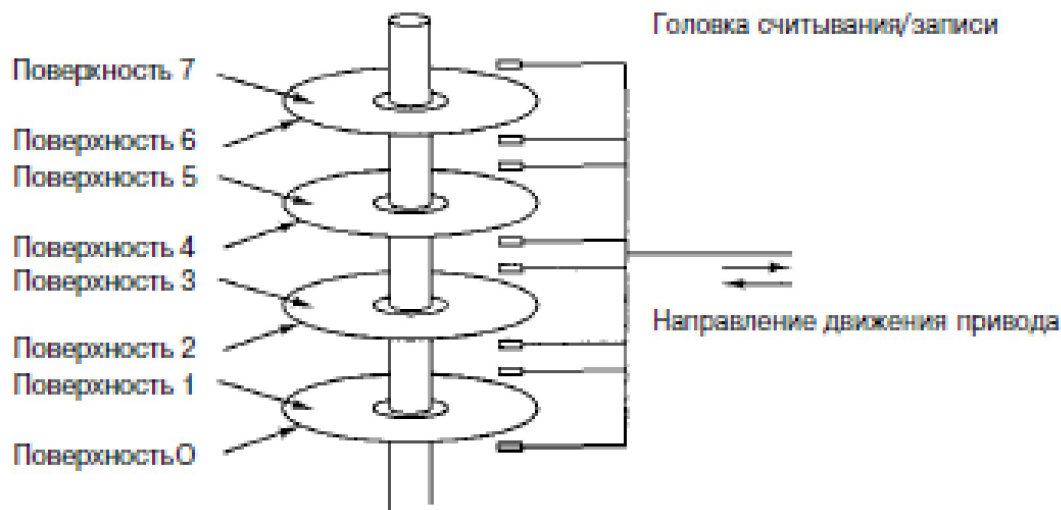


Круговая последовательность битов, записанных на диск за его полный оборот называется **дорожкой**. Каждая дорожка делится на **секторы** фиксированной длины. Каждый сектор обычно содержит 512 байтов данных.

Круговая последовательность битов, записанных на диск за его полный оборот называется **дорожкой**. Каждая дорожка делится на **секторы** фиксированной длины. Каждый сектор обычно содержит 512 байтов данных. Перед данными располагается **преамбула**, которая позволяет головке синхронизироваться перед чтением или записью. После данных идет код с исправлением ошибок (**код Хэмминга** или чаще **код Рида-Соломона**). Между соседними секторами находится **межсекторный интервал**. Дорожки представляют собой ряд концентрических намагниченных кругов, расположенных вокруг шпинделя. Диски имеют от 10 тыс. дорожек на см.

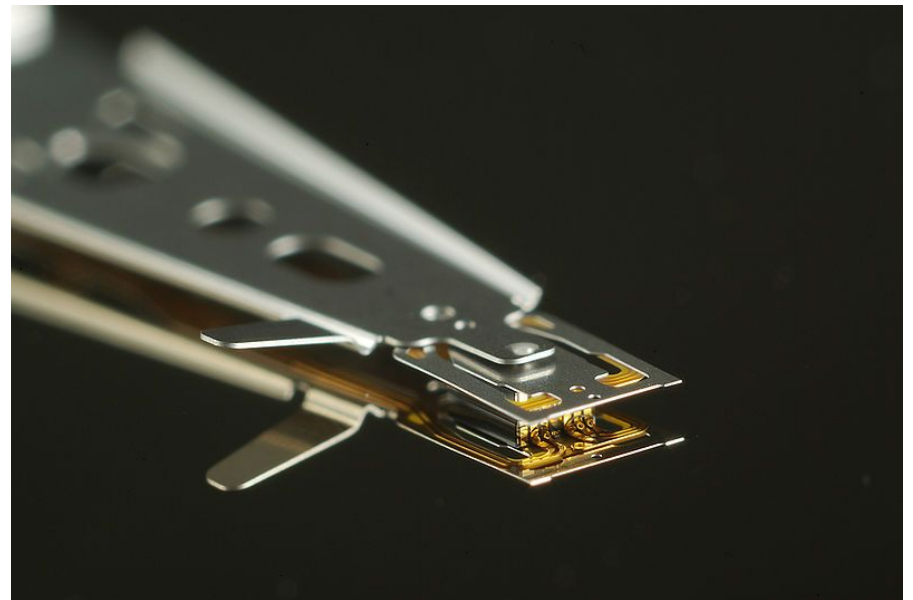
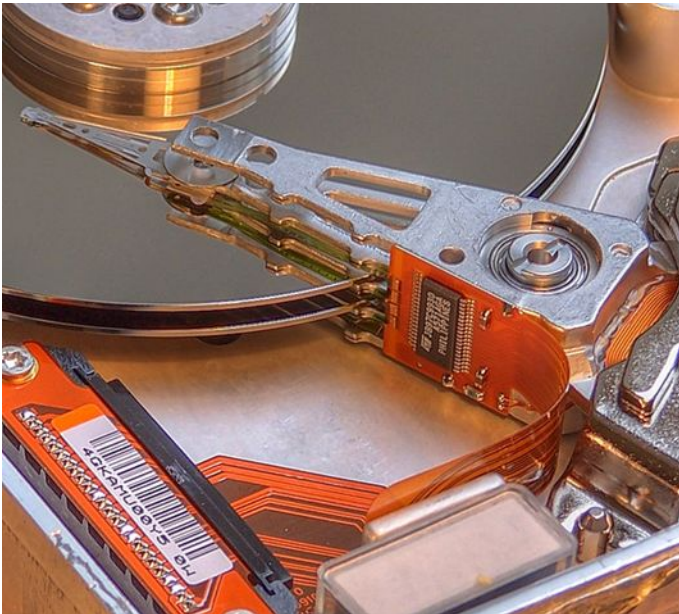
Плотность записи зависит от качества поверхности диска, т.е. чистоты воздуха. Плотность записи современных дисков 100 000 бит/см. Диски, состоящие из нескольких пластин, герметично запечатываются, что защищает их от попадания грязи, - винчестеры.

Совокупность дорожек, расположенных на одном расстоянии от центра, называется **цилиндром**.

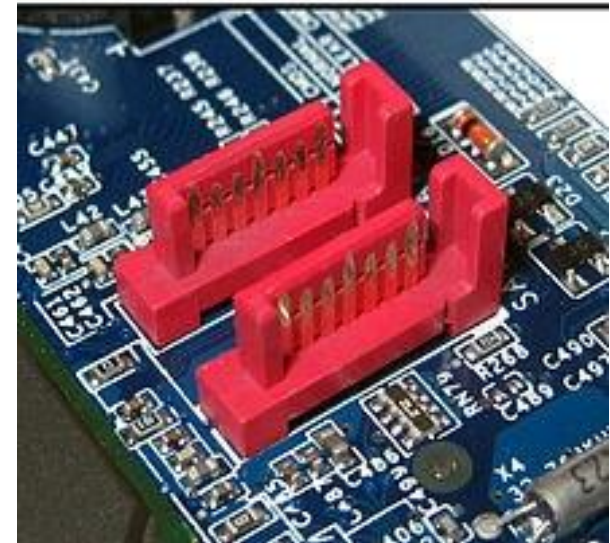
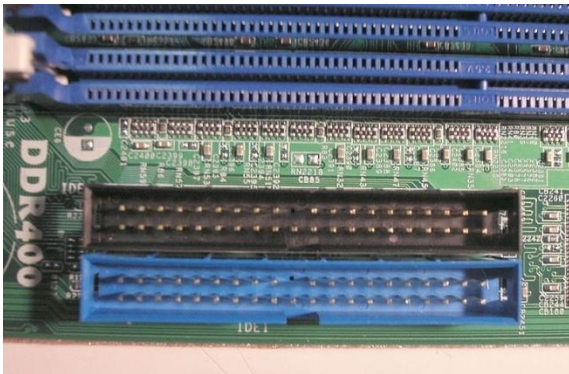


Чтобы считать или записать сектор, головка должна переместиться на нужное расстояние от оси. Этот процесс называется **поиском**. Среднее время поиска между дорожками, взятыми наугад, составляет от 5 до 15 мс, поиск между последовательными дорожками занимает около 1 мс. Когда головка помещается на нужное расстояние от центра, выжидается некоторое количество времени (оно называется **временем ожидания сектора**), пока нужный сектор не окажется под головкой. Диски вращаются со скоростью до 10800 оборотов в минуту. Т.е. среднее время ожидания сектора составляет от 4 до 8 мс. Время поиска и время ожидания сектора определяет скорость передачи информации ~ 40 Мбайт в секунду.

С диском связан **контроллер** — микросхема, которая управляет диском. Некоторые контроллеры содержат отдельный процессор. В задачи контроллера входит получение от программного обеспечения таких команд, как **READ**, **WRITE** и **FORMAT** (то есть запись всех преамбул), управление перемещением рычага, обнаружение и исправление ошибок и т.д.



Интерфейс — совокупность линий связи, сигналов, посылаемых по этим линиям, технических средств, поддерживающих эти линии, и правил (протокола) обмена. Современные серийно выпускаемые внутренние жёсткие диски могут использовать интерфейсы ATA, SATA и др.



ATA — параллельный интерфейс подключения накопителей (жёстких дисков и оптических приводов) к компьютеру. В 1990-е годы был стандартом на платформе IBM PC; в настоящее время вытесняется своим последователем — SATA.

SATA — последовательный интерфейс обмена данными с накопителями информации.

Оптическая память

В 1980 году корпорация Philips вместе с Sony разработала CD (Compact Disc — компакт-диск), который быстро вытеснил виниловые диски. Компакт-диск изготавливается с использованием инфракрасного лазера, который выжигает в диске (поликарбонат) отверстия диаметром 0,8 микрон. Емкость стандартного компакт-диска 74 минуты аудио.



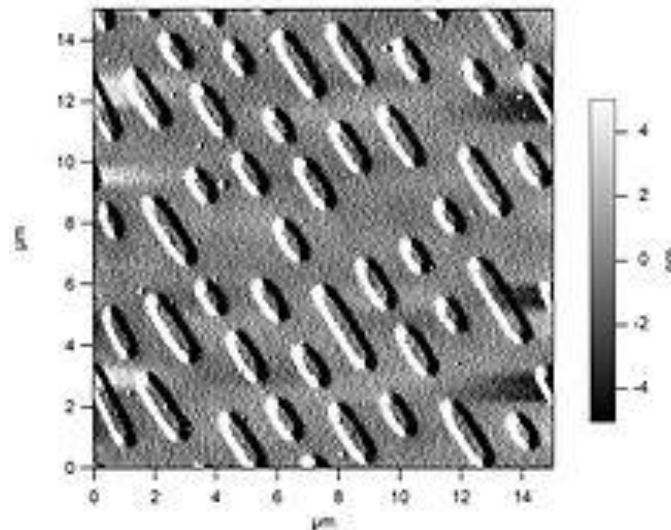
Углубления в нижнем слое смолы в английском языке называются термином «впадина» (pit), а ровные пространства между впадинами называются термином «площадка» (land).

Впадины и площадки записываются по спирали. Запись начинается на некотором расстоянии от отверстия в центре диска и продвигается к краю, занимая 32 мм диска. Спираль проходит 22 188 оборотов вокруг диска. Если ее распрямить, ее длина составит 5,6 км.



Для записи/чтения используется переход
впадина/площадка или площадка/впадина для 1 и
его отсутствие для 0. Во время воспроизведения
лазерный диод светит инфракрасным светом с
длиной волны 0,78 микрон на сменяющиеся впадины
и площадки. Принцип считывания информации
заключается в регистрации изменения интенсивности
отражённого света. Лазерный луч фокусируется в
пятно диаметром $\sim 1,2$ мкм. Если свет
сфокусировался между впадинами (на площадке), то
приёмный фотодиод регистрирует максимальный
сигнал.

В случае, если свет попадает на впадину, фотодиод регистрирует меньшую интенсивность света. Глубина впадины порядка четверти длины волны света лазера, что приводит к разнице фаз в половину длины волны между светом, отражённым от впадины и светом, отражённым от площадки. В результате в плоскости фотоприёмника наблюдается эффект деструктивной интерференции и регистрируется снижение уровня сигнала.



Чтобы музыка звучала нормально, впадины и площадки должны сменяться с постоянной линейной скоростью. Следовательно, скорость вращения компакт-диска должна постепенно снижаться по мере продвижения считывающей головки от центра диска к внешнему краю. Когда головка находится на внутренней стороне диска, скорость вращения составляет 530 оборотов в минуту, чтобы достичь желаемой скорости 120 см/с. Когда головка находится на внешней стороне диска, скорость вращения падает до 200 оборотов в минуту, чтобы обеспечить такую же линейную скорость.

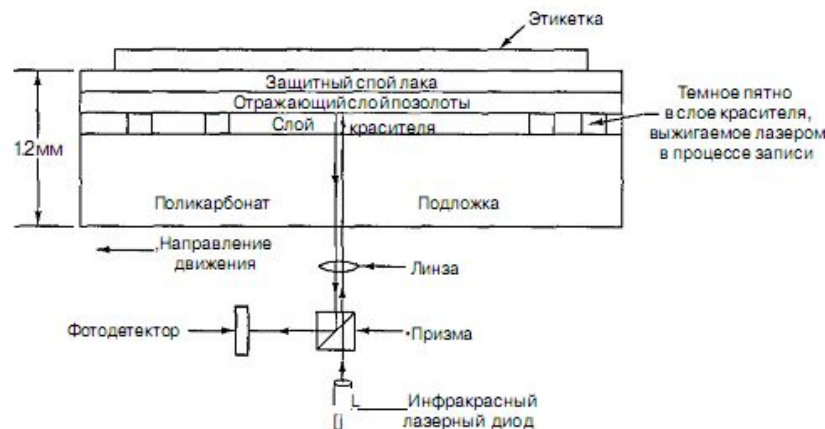
CD-ROM (Compact Disc Read-Only Memory) — разновидность компакт-дисков с записанными на них данными, доступными только для чтения. CD-ROM — доработанная версия диска для хранения аудиозаписей, позволяющая хранить на нём прочие цифровые данные (физически от первого ничем не отличается, изменён только формат записываемых данных). Позже были разработаны версии с возможностью как однократной записи (CD-R), так и многократной перезаписи (CD-RW) информации на диск. Емкость стандартного компакт-диска 702 Мбайт.



CD-R (Compact Disc-Recordable - записываемый компакт-диск) — разновидность компакт-диска, разработанная компаниями для однократной записи информации.

В отличие от обычных компакт-дисков с физическими углублениями, CD-R моделируются с помощью изменения отражательной способности впадин и площадок. Для этого между слоем поликарбоната и отражающим слоем золота помещается слой красителя. Используется несколько видов красителей, например: цианин зеленого цвета и фталоцианин желтовато-оранжевого цвета. На начальной стадии слой красителя прозрачен, что дает возможность свету лазера проходить сквозь него и отражаться от слоя золота.

При записи информации мощность лазера увеличивается до 8-16 мВт. Когда луч достигает красителя, краситель нагревается, и в результате разрушается химическая связь. Такое изменение молекулярной структуры создает темное пятно. При чтении (когда мощность лазера составляет 0,5 мВт) фотодетектор улавливает разницу между темными пятнами, где краситель был поврежден, и прозрачными областями, где краситель не тронут. Это различие воспринимается как различие между впадинами и площадками.



CD-RW (Compact Disc-ReWritable, перезаписываемый компакт-диск) — разновидность компакт-диска, разработанный в 1997 году для многократной записи информации.

CD-RW во многом похож на CD-R, но его записывающий слой изготавливается из специального сплава халькогенидов (сплавы серебра, индия, сурьмы и теллура), который при нагреве выше температуры плавления переходит из кристаллического агрегатного состояния в аморфное, которые обладают разной отражательной способностью.

Устройства для записи компакт-дисков снабжены лазером с тремя вариантами мощности. При самой высокой мощности лазер расплавляет сплав, переводя его из кристаллического состояния с высокой отражательной способностью в аморфное состояние с низкой отражательной способностью, так получается впадина. При средней мощности сплав расплавляется и возвращается обратно в естественное кристаллическое состояние, при этом впадина превращается снова в площадку. При низкой мощности лазер определяет состояние материала (для считывания информации), никакого перехода состояний при этом не происходит.

DVD

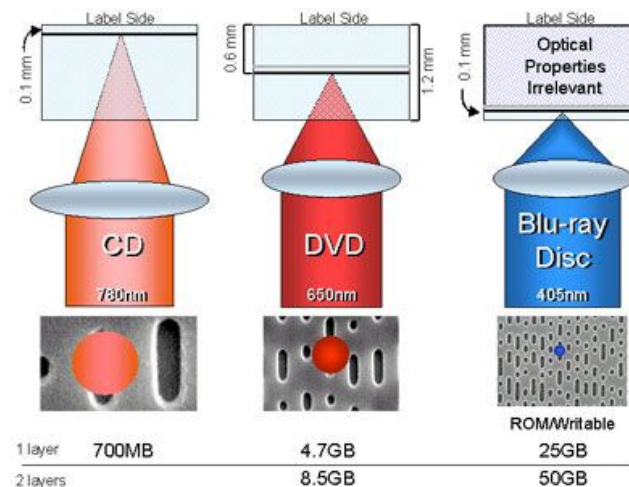
DVD (сокращение от Digital Video Disk — цифровой видеодиск, сейчас официально Digital Versatile Disk — цифровой универсальный диск). Диски DVD в целом похожи на компакт-диски: имеют 120 мм в диаметре, создаются на основе поликарбоната и содержат впадины и площадки, которые освещаются лазерным диодом и считываются фотодетектором.



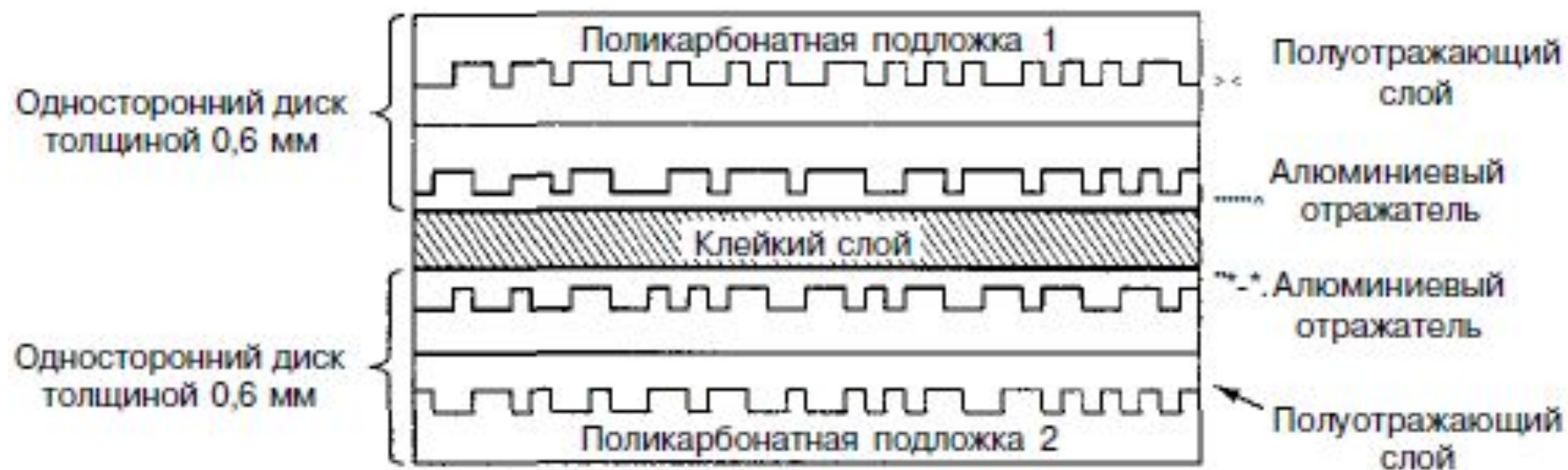
Отличия:

1. Впадины меньшего размера (0,4 микрона вместо 0,8 микрона, как у обычного компакт-диска).
2. Более плотная спираль (0,74 микрона между дорожками вместо 1,6 микрона).
3. Красный лазер (с длиной волны 0,65 микрона вместо 0,78 микрона).

В совокупности эти усовершенствования дали семикратное увеличение емкости (до 4,7 Гбайт).
Двусторонние двухслойные вмещают 17 Гбайт.



Двусторонние диски создаются путем склеивания двух односторонних дисков по 0,6 мм. При двухслойной технологии на нижний отражающий слой помещается полупрозрачный слой. В зависимости от того, где фокусируется лазер, он отражается либо от одного слоя, либо от другого.



HD DVD (High-Definition/Density DVD — DVD высокой чёткости/ёмкости) — технология записи оптических дисков. Как и Blu-ray Disc использует диски стандартного размера (120 миллиметров в диаметре) и сине-фиолетовый лазер с длиной волны 405 нм.



Blu-ray

Blu-ray Disc (blue ray — синий луч) — формат оптического носителя, используемый для записи с повышенной плотностью и хранения цифровых данных, включая видео высокой чёткости (High-Definition Television, HD TV). Коммерческий запуск формата Blu-ray прошёл весной 2006 года.

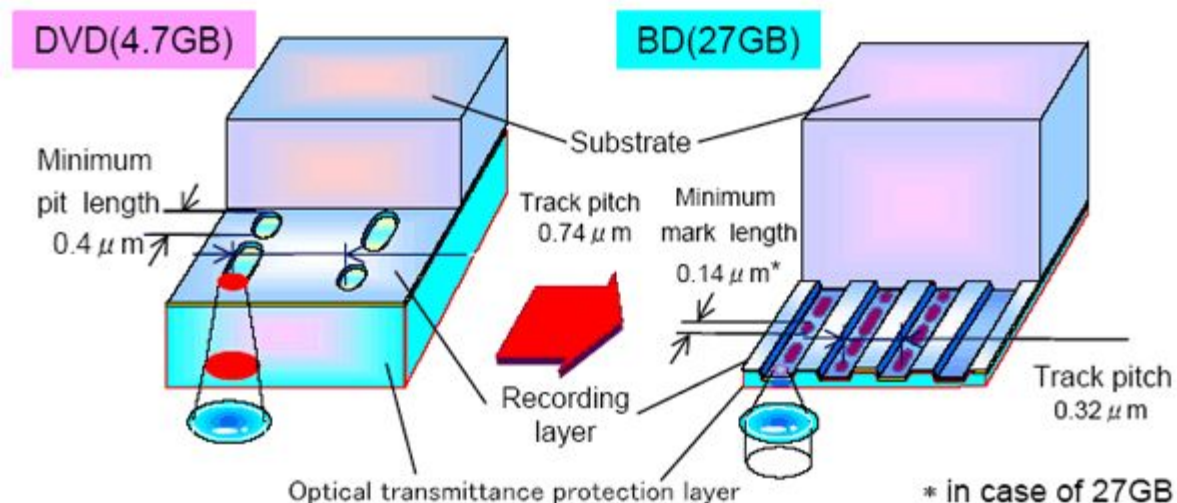


Буква «e» была намеренно исключена из слова «blue», чтобы получить возможность зарегистрировать товарный знак, так как выражение «blue ray» является часто используемым и не могло быть зарегистрировано как товарный знак.

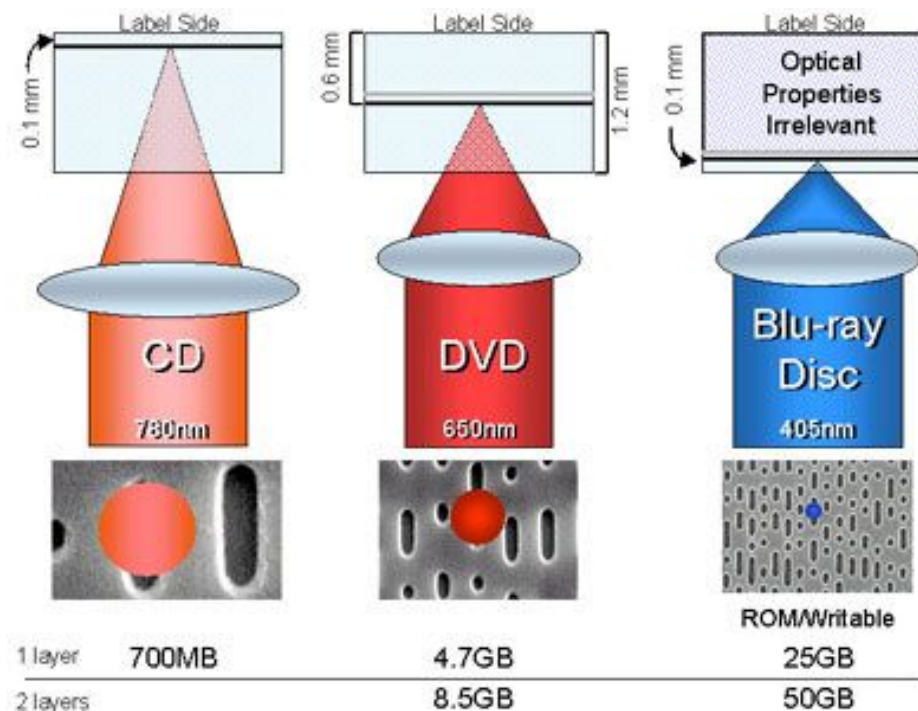
С момента появления формата в 2006 году и до начала 2008 года у Blu-ray существовал серьёзный конкурент — альтернативный формат HD DVD (High-Definition/Density DVD). В течение двух лет многие крупнейшие киностудии, которые изначально поддерживали HD DVD, постепенно перешли на Blu-ray. Warner Brothers, последняя компания, выпускавшая свою продукцию в обоих форматах, отказалась от использования HD DVD в январе 2008 года.



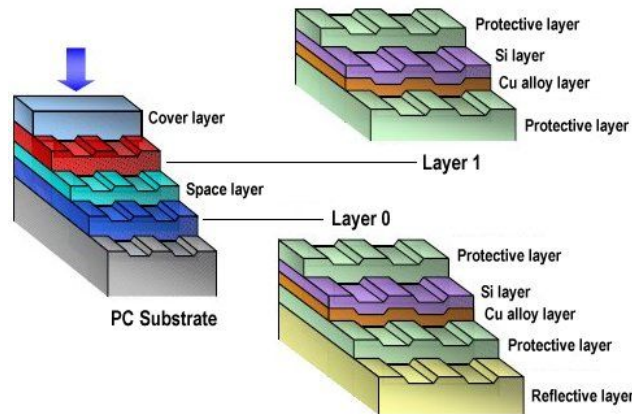
Blu-ray получил своё название от использования для записи и чтения коротковолнового (405 нм) «сине-фиолетового» лазера. Обычные DVD и CD используют красный и инфракрасный лазеры с длиной волны 650 нм и 780 нм соответственно. Такое уменьшение позволило сузить дорожку вдвое по сравнению с обычным DVD-диском (до 0,32 мкм) и увеличить плотность записи данных.



Эффективный «размер пятна», на котором лазер может сфокусироваться, ограничен дифракцией и зависит от длины волны света. Более короткая длина волны сине-фиолетового лазера позволила записывать информацию в меньшие точки на диске, а значит, хранить больше информации в физической области диска.

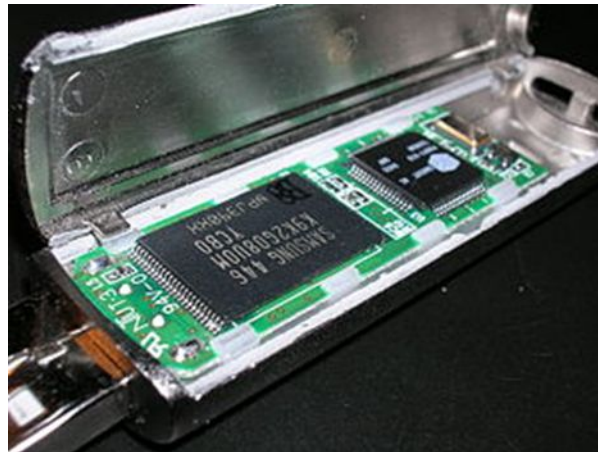


Однослойный диск Blu-ray может хранить 25 ГБ, десятислойный может вместить 320 гигабайт. В конце 2008 года японская компания Pioneer продемонстрировала 20-слойные диски на 500 ГБ. На данный момент доступны диски BD-R (Blu-ray Disk Recordable) (одноразовая запись) и BD-RW (Blu-ray Disc Rewritable) (многократная запись). В дополнение к стандартным дискам размером 120 мм, выпущены варианты дисков размером 80 мм для использования в цифровых фото- и видеокамерах.

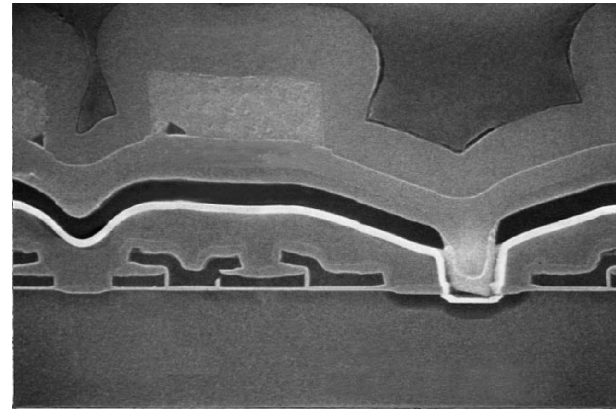
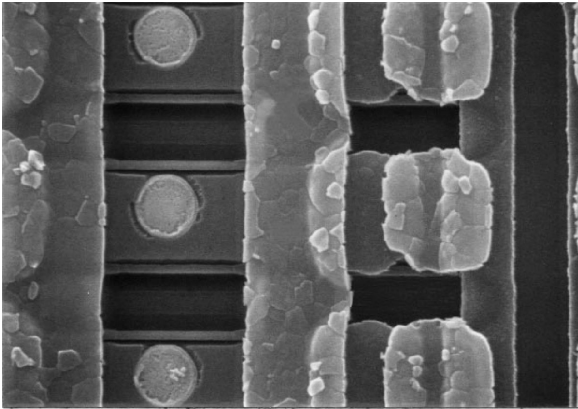


Флеш-память

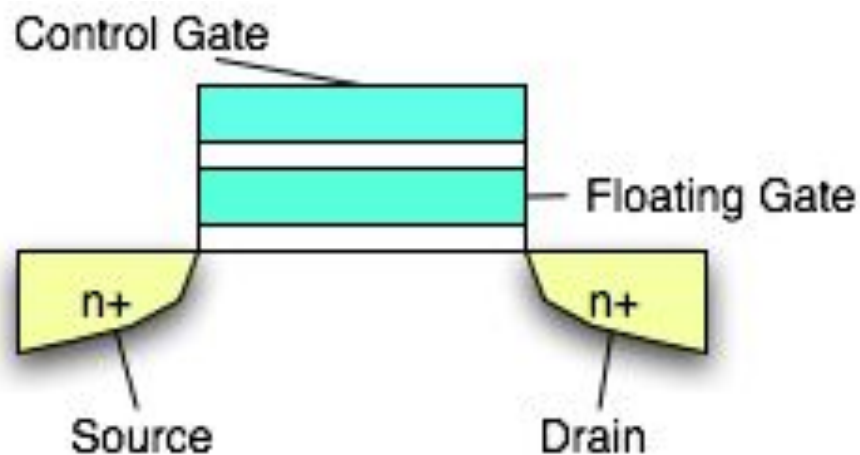
Разновидность полупроводниковой технологии электрически перепрограммируемой памяти (EEPROM). Изобрел инженер компании Toshiba Ф. Масуока в 1984 году. Название «флеш» было придумано, потому что процесс стирания содержимого памяти напоминал фотовспышку (flash). В 1988 году Intel выпустила первый коммерческий флеш-чип.



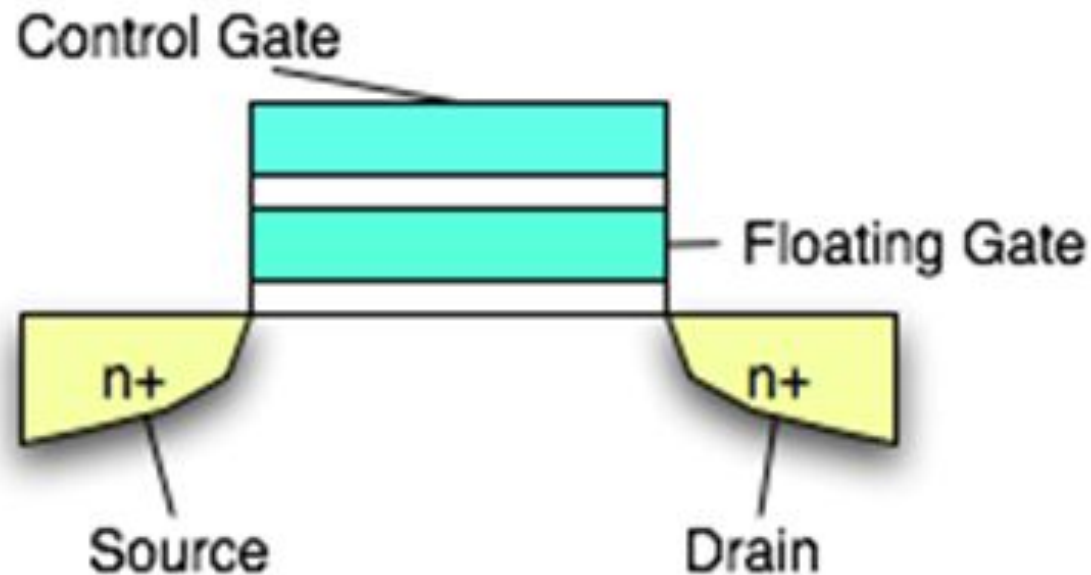
EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) — электрически стираемое перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство, один из видов энергонезависимой памяти. Принцип работы EEPROM основан на изменении и регистрации электрического заряда в изолированной области (кармане) полупроводниковой структуры.



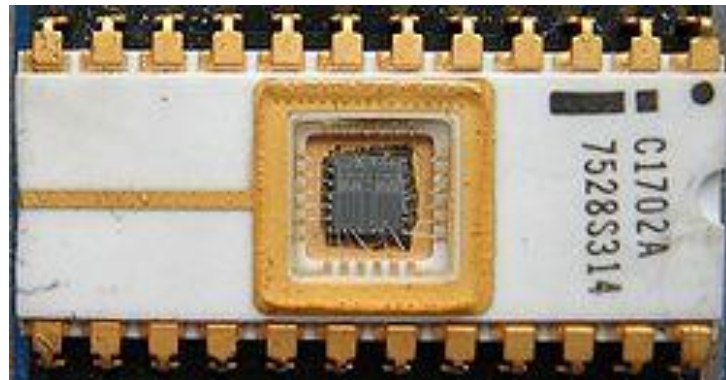
Плавающий затвор транзистора расположен в глубине диэлектрика на некотором удалении от всех контактов транзистора, что не позволяет электронам, обладающим маленькой энергией, попадать на него. Рядом с ним расположен управляющий затвор. Если к нему приложить высокое напряжение, то многие электроны приобретают высокую энергию, и могут проходить сквозь диэлектрик и осаждаться на плавающем затворе (инжекция «горячих» электронов), и его заряд из нейтрального становится отрицательным.



Если же приложить к управляющему затвору напряжение противоположного знака, то электроны начинают с него стекать, тем самым разряжая его. Таким образом, имеем два стационарных состояния транзистора: плавающий затвор или не имеет заряда, или заряжен отрицательно, соответственно, первое отвечает логическому нулю, а второе — единице.



EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) — класс полупроводниковых запоминающих устройств, которые допускают перезапись. Представляет собой матрицу транзисторов с плавающим затвором индивидуально запрограммированных с помощью электронного устройства, которое подаёт высокое напряжение. После программирования данные на EPROM можно стереть (сильным ультрафиолетовым светом от ртутного источника света).



В 2011 корпорация Intel и Micron Technology, Inc. анонсировали первую в мире флеш-память по технологии 20 нм объёмом 128 Гб, состоящую из нескольких ячеек памяти с кристаллами по 16 Гб. Массовые поставки устройств с 128 Гб памяти ожидаются в первом полугодии 2012 года.



Контрольные вопросы

1. Иерархическая структура памяти.
2. Кэш-память.
3. Виды оперативной памяти и их принципы работы.
4. Устройство винчестера.
5. Принципы записи/чтения в магнитных носителях информации.
6. Принципы записи/чтения в оптических носителях информации.
7. Сравнительная характеристика оптических носителей информации.
8. Принципы работы флеш-памяти.

Спасибо за внимание!

