

# ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ СОВРЕМЕННЫХ ЭВМ

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

### 1. Поколения ЭВМ и их элементная база. Роль полупроводниковых материалов в современных ЭВМ. Преимущества интегральных схем перед дискретными элементами.

I поколение ЭВМ (1948-1958) создавалось на основе вакуумных электроламп, машина управлялась с пульта и перфокарт с использованием машинных кодов. Элементная база: электронные лампы – диоды и триоды.

II поколение ЭВМ (1959-1967). Эти машины обрабатывали информацию под управлением программ на языке Ассемблер. Ввод данных и программ осуществлялся с перфокарт и перфолент. Элементная база: полупроводниковые приборы.

III поколение ЭВМ (1968-1973). Управление работой этих машин происходило с алфавитно-цифровых терминалов. Для управления использовались языки высокого уровня и Ассемблер. Элементная база: малые интегральные схемы, содержавшие на одной пластинке сотни или тысячи транзисторов.

IV поколение ЭВМ (1974–1982). Элементная база ЭВМ – большие интегральные схемы (БИС). Наиболее яркие представители четвертого поколения ЭВМ – персональные компьютеры (ПК). Высокая степень интеграции способствовала увеличению плотности компоновки электронной аппаратуры, повышению ее надежности, что привело к увеличению быстродействия ЭВМ и снижению ее стоимости.

V поколение ЭВМ (1990 – настоящее время) создано на основе сверхбольших интегральных схем (СБИС), которые отличаются колоссальной плотностью размещения логических элементов на кристалле. Это: компьютеры на сверхсложных микропроцессорах; компьютеры с многими сотнями параллельно работающих процессоров.

VI и последующие поколения ЭВМ. Электронные и оптоэлектронные компьютеры с массовым параллелизмом, нейронной структурой, с распределенной сетью большого числа (десятки тысяч) микропроцессоров, моделирующих архитектуру нейронных биологических систем.

Полупроводниковые приборы: интегральные схемы (микросхемы), полупроводниковые диоды, тиристоры, транзисторы, приборы с зарядовой связью.

### 2. Технологическая база ЭВМ. Закон Мура. Фотолитография. Степень интеграции элементов и минимальный топологический размер. Соединение элементов.

Интегральной схемой (ИС) называют миниатюрное электронное устройство, выполняющее функции преобразования и обработки сигналов и содержащее большое число активных и пассивных элементов.

Основной вывод Мура: «Число компонентов на чипе удваивается каждый год».

Фотолитография — метод получения рисунка на тонкой плёнке материала, широко используется в микроэлектронике и в полиграфии. Для получения рисунка используется свет определённой длины волны.

В зависимости от степени интеграции применяются следующие названия интегральных схем:

малая интегральная схема (МИС) — до 100 элементов в кристалле,

средняя интегральная схема (СИС) — до 1000 элементов в кристалле,

большая интегральная схема (БИС) — до 10000 элементов в кристалле,

сверхбольшая интегральная схема (СБИС) — более 10 тысяч элементов в кристалле.

Топологией интегральной микросхемы является зафиксированное на материальном носителе

пространственно-геометрическое расположение совокупности элементов интегральной микросхемы и связей между ними.

Минимальный топологический размер - толщина линий.

Способ электрического соединения компонентов ИС - металлизация алюминием.

Металлизация — метод модификации свойств поверхности изделия путем нанесения на его поверхность слоя металла.

Полупроводниковая микросхема — все элементы и межэлементные соединения выполнены на одном полупроводниковом кристалле.

Плёночная интегральная микросхема — все элементы и межэлементные соединения выполнены в виде плёнок.

### 3. Основные направления развития интегральных схем: кремниевые биполярные и МОП структуры, арсенид - галлиевые и металл - полупроводниковые структуры. Перспективы развития микроэлектроники.

Технология «кремний на изоляторе» (КНИ, SOI): на кремниевой пластине формируется слой SiO<sub>2</sub> (изолятор), а поверх него - тонкий слой Si.

МОП-структура (металл — оксид — полупроводник) — наиболее широко используемый тип полевых транзисторов. Структура состоит из металла и полупроводника, разделённых слоем оксида кремния SiO<sub>2</sub>.

Некоторые электронные свойства GaAs превосходят свойства кремния. Арсенид галлия обладает более высокой подвижностью электронов, которая позволяет приборам работать на частотах до 250 ГГц.

Углеродные нанотрубки - длинные цилиндрические структуры, состоящие из одной или нескольких свернутых в трубку гексагональных графитовых плоскостей и заканчивающиеся обычно полусферой. В зависимости от диаметра углеродные трубки проявляют металлические или полупроводниковые свойства.

Графен - двумерная аллотропная модификация углерода, образованная слоем атомов углерода толщиной в один атом. Максимальная (среди известных материалов) подвижность электронов делает графен одним из самых перспективных материалов для наноэлектроники и потенциальную замену кремния в интегральных микросхемах.

### 4. Волны де Бройля, соотношение неопределенностей и волновая функция. Спектр электронных состояний атома водорода и многоэлектронных атомов. Квантовые переходы. Виды химической связи.

Волны де Бройля — волны, связанные с любыми микрочастицами и отражающие их волновую природу.  $\lambda = h/p$ , где постоянная Планка  $h = 6.62 \cdot 10^{-34}$  Дж·с.

Одним из парадоксальных проявлений волновых свойств микрочастиц является так называемое соотношение неопределенности.

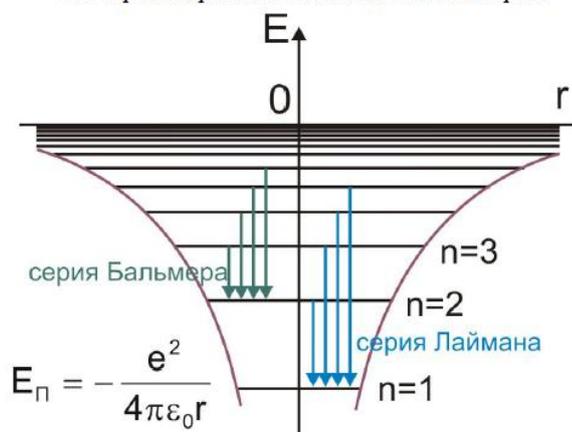
Рассмотрим свет, распространяющийся через щель с шириной, сравнимой с длиной волны  $\lambda$ . В соответствии с принципом Гюйгенса каждая точка волнового фронта является источником вторичной волны. Волны, исходящие из разных точек в плоскости щели интерферируют между собой, образуя на экране распределение интенсивности.

Условие минимума:  $(\Delta x) \cdot \sin \beta = \lambda$

Угловая ширина центрального максимума оказывается тем шире, чем уже щель. Самым удивительным оказывается тот факт, что даже если мы ослабим пучок света до уровня, при котором поток будет состоять из отдельных квантов, все равно на экране будет формироваться интерференционная картина. То есть, даже отдельные кванты дают интерференционную картину.

Каким-то непостижимым образом они друг с другом складываются, хотя испускаются отдельно. Каждой квантовомеханической системе можно поставить в соответствие волновую функцию  $\Psi(x, y, z, t)$ , квадрат модуля которой  $|\Psi(x, y, z, t)|^2$  и представляет вероятность обнаружить частицу в некоторой точке в данный момент времени, а сама волновая функция  $\Psi$  представляет амплитуду вероятности.

Спектр электронных состояний атома водорода



Уровни сгущаются кверху (чем менее связан электрон, тем более сгущены уровни)

В многоэлектронных атомах потенциальная энергия электронов зависит не только от расстояния до ядра, но также и от расстояния до других электронов. Орбиты электронов в многоэлектронном атоме могут быть круговыми или эллиптическими. Соответственно. Форма электронного облака может иметь сферическую форму или форму гантели. Следовательно, чем больше электронов в атоме, тем более высокие энергетические состояния они занимают. Энергия каждого состояния будет определяться не только радиусом орбиты электрона, но также ее формой, ориентацией, а кроме того, величиной спина электрона.

### Электронные оболочки.

$n=1$ :  $1s^2$

$n=2$ :  $1s^2 2s^2 2p^6$

$n=3$ :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10}$

$n=4$ :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 4f^{14}$

Последовательность заполнения оболочек:

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6 6s^2 4f^{14} 5d^{10} 6p^6 7s^2$

Ковалентная связь типична для органических молекул. Также, имеет место и в твердых телах, например, в веществах, состоящих из элементов четвертой группы. Заметим, что в из-за дефектов структуры или из-за флуктуаций тепловых возмущений некоторые связи могут нарушаться. Высвободившиеся электроны становятся электронами проводимости.

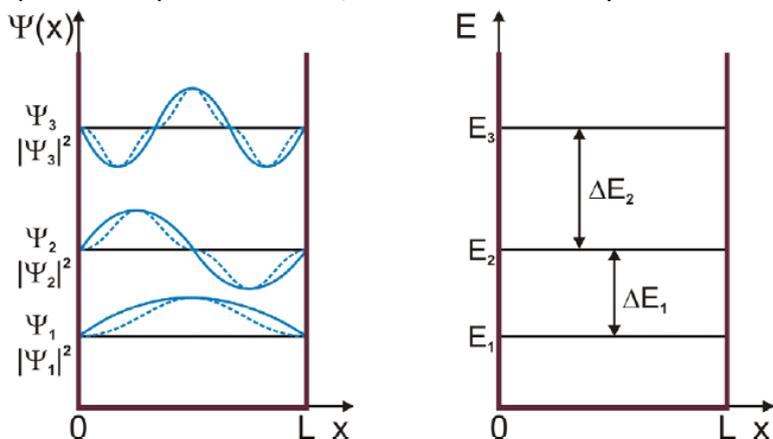
Металлический тип связи свойственен типичным металлам. Ионы металла образуют решетку, а электроны внешней оболочки являются «обобществленными» электронами проводимости.

При ионной связи происходит перенос валентных электронов с одного атома на другой, то есть, образование положительных и отрицательных ионов, связанных электростатическим (кулоновским) взаимодействием. Ионная связь характерна для соединений металлов с наиболее типичными неметаллами, например, для молекулы NaCl и соответствующего ионного кристалла. Молекулярная связь: между молекулами с ковалентным характером взаимодействия.

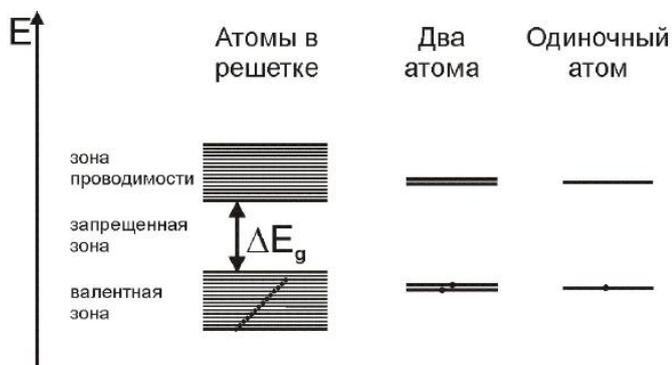
### 5. Спектр электронных состояний в атомах, молекулах и кристаллах. Разрешенные и запрещенные уровни энергии. Энергетические зоны и уровень Ферми.

Важнейшим свойством атомов и молекул как квантовых систем, состоящих из связанных между собой микрочастиц, является то, что они могут принимать лишь определенные разрешенные значения энергии. Одномерная потенциальная яма (одномерный ящик с бесконечными стенками)

является грубым, но наглядным приближением для понимания и описания основных закономерностей поведения электрона в атоме. Так же как и в атоме, электрон локализован в замкнутой области и не выходит за ее пределы, то есть, ящик с бесконечными стенками можно рассматривать как определенную упрощенную аналогию атомной системы. Уровни энергии в потенциальной яме квантуются.

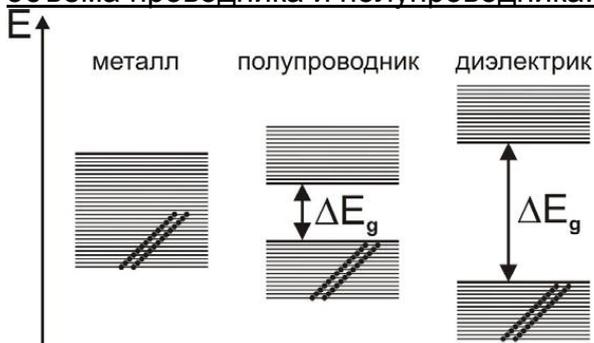


Характер квантования определяется видом потенциала взаимодействия.



Энергия Ферми ( $E_F$ ) системы невзаимодействующих фермионов — это увеличение энергии основного состояния системы при добавлении одной частицы. Фермионы — частицы с полуцелым спином, обычно  $1/2$ . При ненулевой температуре ферми-газ не будет являться вырожденным, и населённость уровней будет плавно уменьшаться от нижних уровней к верхним. В качестве уровня Ферми можно выбрать уровень, заполненный ровно наполовину (то есть вероятность находящегося на искомом уровне состояния быть заполненным частицей должна быть равна  $1/2$ ). Уровень энергии  $E$ , до которого заполнены электронные состояния, называется уровнем Ферми.

**6. Принципы разделения веществ на проводники (металлы), полупроводники и изоляторы (диэлектрики). Модель электронного газа. Оценка числа электронных уровней в единице объема проводника и полупроводника.**



Хорошая проводимость проводников (металлов) обусловлена большим количеством обобществленных электронов, которые классическая физика рассматривает как электронный газ. Электроны находятся в состоянии хаотического теплового движения со средней скоростью  $Vt$ , сталкиваясь с колеблющимися ионами кристаллической решетки. Плотность состояний с энергией  $E$  недалеко от уровня Ферми  $E_f$ :

$$N(E) = \frac{\sqrt{2} m^{3/2}}{\pi^2 \hbar^3} E^{1/2}$$

$N(E)$  описывает плотность возможных состояний. Далеко не все они заполнены. Чтобы определить число носителей заряда (электронов) надо знать вероятность заполнения состояний электронами  $f(E)$ . Тогда

$$n(E) = N(E) \cdot f(E)$$

## 7. Полупроводники n- и p-типа. Положение уровня Ферми в электрически нейтральном полупроводнике. Технологии легирования полупроводников.

Донорные примеси – атомы 5-валентных элементов Ga, In, V.

Акцепторные примеси – атомы 3-валентных элементов P, As.

Электроны будут являться основными носителями заряда для донорного полупроводника, или полупроводника n-типа, а дырки – основными носителями для акцепторного полупроводника, или полупроводника p-типа.

*Положение уровня Ферми в электрически нейтральном полупроводнике.*



Легирование полупроводников представляет собой процесс введения примесей или структурных дефектов с целью направленного изменения электрических свойств. Методы легирования делятся на две группы: либо непосредственно в процессах выращивания монокристаллов и эпитаксиальных структур, либо локальное легирование отдельных областей монокристаллов. Высокотемпературная диффузия: легирующая примесь приводится в соприкосновение с поверхностью монокристалла кремния. Монокристалл разогревается, и атомы примеси проникают внутрь монокристалла, замещая атомы кремния в решетке.

Ионная имплантация (ионное внедрение, ионное легирование): процесс введения примесных атомов в твердое тело путем бомбардировки его поверхности ускоренными ионами.

Радиационно-стимулированная диффузия: новое направление, являющееся комбинацией высокотемпературной диффузии и ионной имплантации.

Лазерный отжиг. В процессе легирования лазерное излучение используется как для непосредственного селективного легирования, так и для отжига пластин после проведения ионной имплантации, а также диффузии, эпитаксиального наращивания и т.д.

## 8. Собственная и примесная проводимость полупроводников. Движение свободных носителей заряда в полупроводниках - диффузия и дрейф. Закон Ома, длина свободного пробега и подвижность. Уравнение непрерывности.

Беспримесный и бездефектный полупроводник с идеальной кристаллической решеткой называется собственным полупроводником. Его проводимость называется собственной проводимостью.

Проводимость полупроводника может значительно изменяться за счет введения примесей, приводящих к изменению типа проводимости.

В полупроводниках существует два основных механизма переноса носителей заряда:

Диффузия свободных носителей при наличии неравномерности их концентрации;

Дрейф носителей заряда под действием внешнего электрического поля.

Закон Ома:  $I = U / R$ , где  $U$  - напряжение на концах проводника с сопротивлением  $R$ .

Связь между плотностью тока и напряженностью поля:

$$\vec{j}_{др} = \sigma \vec{E} \text{ - дифференциальная форма Закона Ома}$$

$$\mu_n = \frac{e\tau}{2m} = \frac{v_{др}}{E} \text{ - подвижность электронов}$$

Длина свободного пробега (точнее — средняя длина свободного пробега,  $\lambda$ ), средняя длина пути, проходимого частицей между двумя последовательными соударениями с др. частицами.

Общее описание явлений переноса в полупроводниках с учетом диффузии, дрейфа, генерации и рекомбинации свободных носителей заряда может быть произведено с помощью уравнения непрерывности.

С учетом диффузии и дрейфа:

$$-e \frac{\partial n}{\partial t} = -e\mu_n \frac{d}{dx}(nE) - eD_n \frac{d^2 n}{dx^2} \text{ - для электронов}$$

$$e \frac{\partial p}{\partial t} = -\mu_p \frac{d}{dx}(pE) + D_p \frac{d^2 p}{dx^2} \text{ - для дырок}$$

$D$  – электрическая индукция

$E$  - напряжённость электрического поля

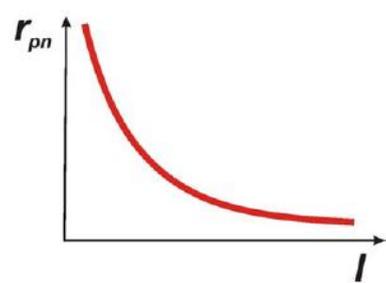
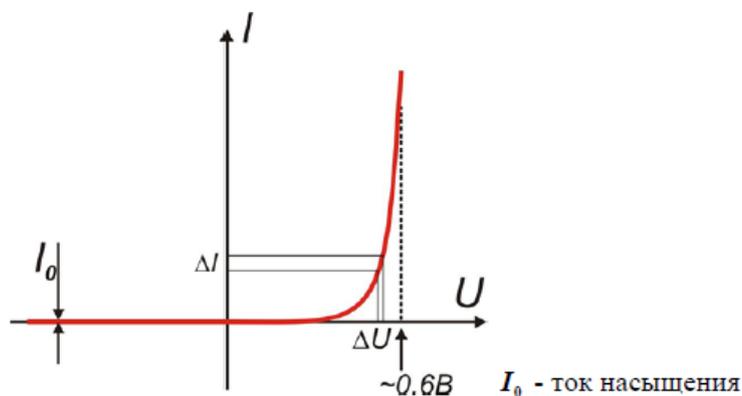
### 9. Электронно-дырочные переходы. Высота потенциального барьера. Вольт-амперная характеристика и дифференциальное сопротивление p-n-перехода. Барьерная и диффузионная емкости. Полупроводниковые диоды.

Электронно-дырочный переход – контакт между полупроводниками p и n типа или p-n-переход.

Потенциальный барьер — область пространства, разделяющая две другие области с различными или одинаковыми потенциальными энергиями. Характеризуется «высотой» — минимальной энергией классической частицы, необходимой для преодоления барьера.

Для неосновных носителей потенциальный барьер – не препятствие.

Вольт-амперная характеристика:



Дифференциальное сопротивление:  $r_{pn} = \frac{dU}{dI}$

Барьерная (или зарядная) емкость обусловлена нескомпенсированным зарядом ионизированных атомов примеси, сосредоточенными по обе стороны от границы перехода.

$$C_{\text{бар}} = dQ/dU$$

Диффузионная емкость обусловлена изменением величины объемного заряда, вызванного изменением прямого напряжения и инжекцией неосновных носителей в рассматриваемый слой.

$$C_{\text{диф}} = i \frac{\tau}{\varphi_T}$$

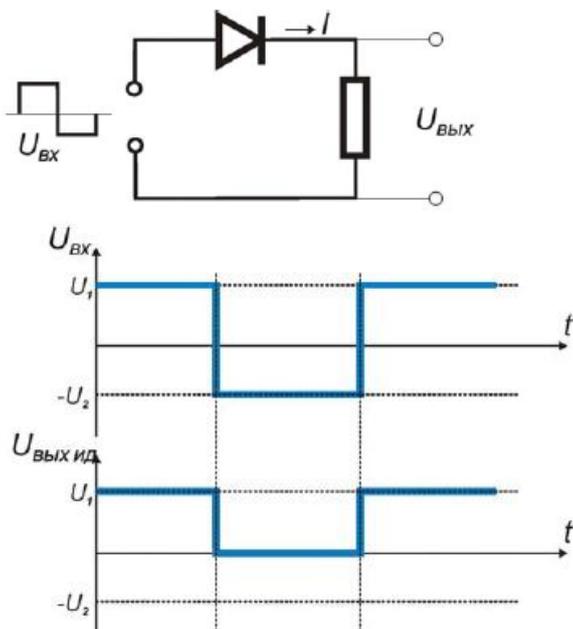
где  $\tau$  - время жизни носителей для толстой базы или среднее время пролета для тонкой базы.

Полупроводниковый диод — полупроводниковый прибор с одним электрическим переходом и двумя выводами (электродами). В отличие от других типов диодов, принцип действия полупроводникового диода основывается на явлении p-n-перехода.



### 10. Типы полупроводниковых диодов и их быстродействие. Омические контакты, контакт металл - полупроводник. Диоды Шоттки.

Быстродействие:



Силовые (выпрямительные) диоды – предназначены для преобразования переменного напряжения источников питания промышленной частоты в постоянное.

Стабилитроны (опорные диоды) – полупроводниковые диоды, на обратной ветви вольт-амперной характеристике которых имеется участок слабой зависимости напряжения от протекающего тока.

Диоды ВЧ и СВЧ. Для того, чтобы диоды могли работать в области высоких и сверхвысоких частот, необходимо обеспечить минимальные емкость и индуктивность. Уменьшить диффузионную емкость можно за счет уменьшения времени жизни  $\tau$ , для чего используется легирование материалами, образующими большое число ловушек, например, золотом.

Туннельные диоды – характеризуются наличием на их ВАХ участка с отрицательным сопротивлением.

Фотодиоды – фотоэлектрические приборы с одним p-n-переходом.

Омический контакт — контакт между металлом и полупроводником или двумя полупроводниками, характеризующийся линейной симметричной вольт-амперной характеристикой (ВАХ).

Контакт «металл – полупроводник» возникает в месте соприкосновения полупроводникового кристалла n или p-типа проводимости с металлами.

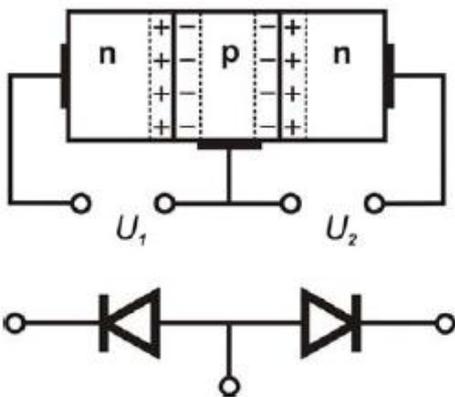
Диод Шоттки — полупроводниковый диод с малым падением напряжения при прямом включении. Диоды Шоттки используют переход металл-полупроводник в качестве барьера Шоттки (вместо p-n перехода, как у обычных диодов).



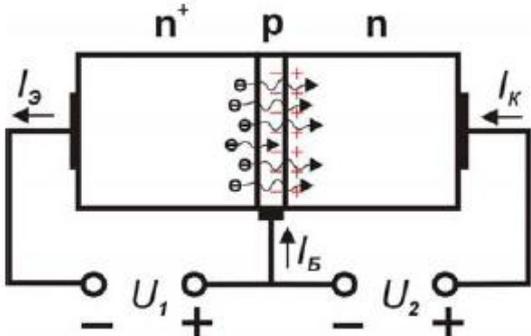
### 11. Взаимодействие двух близкорасположенных электронно-дырочных переходов. Биполярные транзисторы.

Транзистор – электронный прибор на основе полупроводникового кристалла, имеющий три электрода и предназначенный для усиления, генерирования и преобразования электрических колебаний. По физическому принципу работы транзисторы можно разделить на два основных класса: биполярные и униполярные.

В биполярных транзисторах физические процессы обусловлены переносом носителей заряда обоих знаков. В основе работы биполярных транзисторов лежат процессы инжекции и диффузии неосновных носителей, дрейфа основных и неосновных носителей заряда.



Биполярный транзистор:



Трехслойная полупроводниковая структура, состоящая из двух слоев полупроводника с одинаковым типом проводимости, разделенных тонким слоем полупроводника с другим типом проводимости, называется биполярным транзистором.

### 12. Схемы включения биполярных транзисторов. Усиление тока и напряжения. Ключевой режим работы и быстродействие.

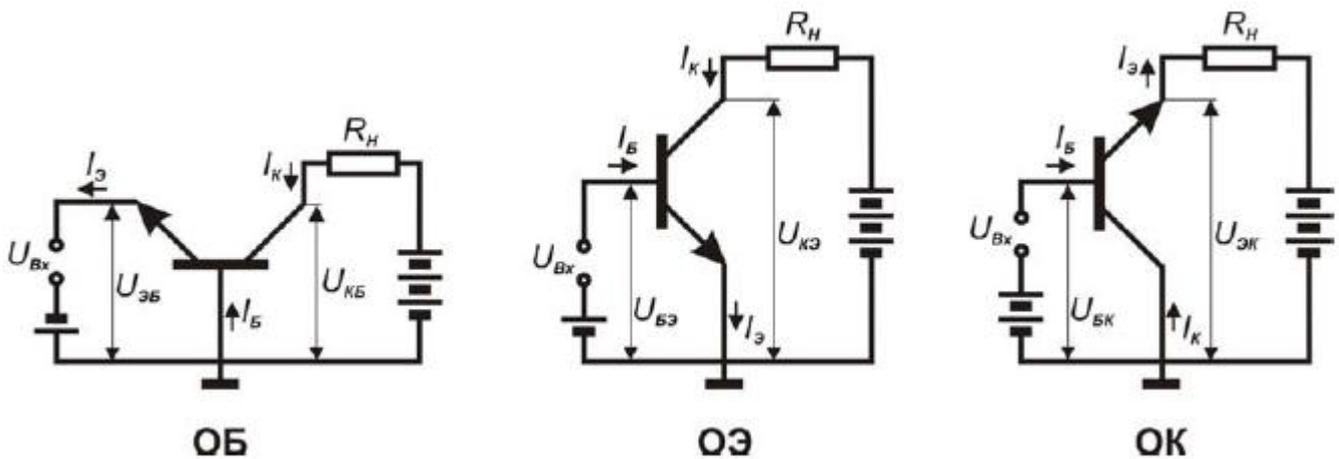
Режимы работы:

Активный режим - один p-n-переход включен в прямом, а другой – в обратном направлении.

Режим насыщения – оба перехода включены в прямом направлении.

Режим отсечки - оба перехода подключены в обратном направлении.

Различают три возможные схемы включения: с общей базой, общим эмиттером, общим коллектором. На рисунке они показаны для активного режима работы.



Коэффициент усиления по току:  $K=I_{вых}/I_{вх}$

Коэффициент усиления по напряжению:  $K=U_{вых}/U_{вх}$

Схема с общей Б не дает усиления по току и имеет малое входное сопротивление.

Схема с ОЭ обеспечивает возможность усиления и по току, и по напряжению, то есть, она может использоваться для усиления мощности. К тому же, эта схема характеризуется достаточно высоким входным сопротивлением.

Схема с общим К характеризуется отсутствием усиления по напряжению и очень большим входным сопротивлением.

Транзисторный ключ – устройство на транзисторе, обеспечивающее переключение тока в нагрузке при подаче на базу транзистора напряжения определенной полярности и уровня. Транзисторный ключ позволяет преобразовать входной сигнал в последовательность импульсов с достаточно крутыми фронтами. Транзистор в ключевой схеме попеременно находится в режиме отсечки и в режиме насыщения.

Транзистор находится либо в закрытом состоянии (отсечка), либо в открытом (насыщение).

Качество работы электронного ключа определяется скоростью работы, то есть временем перехода из одного состояния в другое.

### 13. Планарная технология. Многоэмиттерные транзисторы. Полевые транзисторы. МОП структуры с изолированным затвором и их быстродействие.

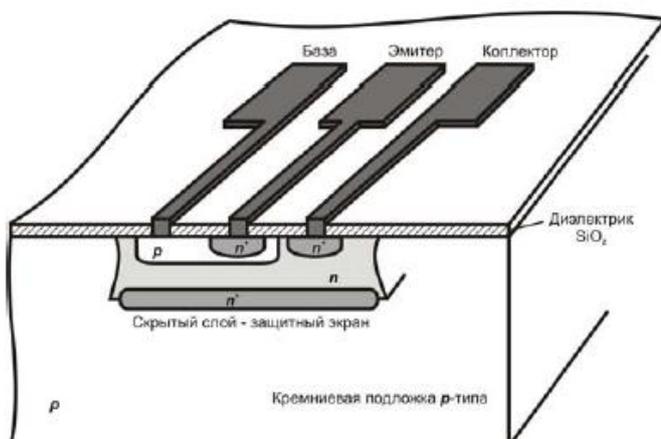
Транзисторы, изготовленные по планарной технологии:

Обычно кремниевая подложка;

Защитная диэлектрическая пленка SiO<sub>2</sub>;

n-p-n – вследствие большей подвижности электронов;

Si – допускает большую температуру, до 150 °С, меньше обратные токи.



Многоэмиттерные транзисторы: позволяют повысить степень миниатюризации. Если хотя бы к одному эмиттеру приложить низкий потенциал, транзистор откроется.

Полевой транзистор — полупроводниковый прибор, в котором ток изменяется в результате действия перпендикулярного току электрического поля, создаваемого входным сигналом.

Протекание в полевом транзисторе рабочего тока обусловлено носителями заряда только одного знака (электронами или дырками), поэтому такие приборы часто включают в более широкий класс униполярных электронных приборов (в отличие от биполярных).

Металл-оксид-полупроводник МОП (МДП) структуры с изолированным затвором: принцип его работы примерно такой же. Отличие: благодаря диэлектрику входное сопротивление очень большое.

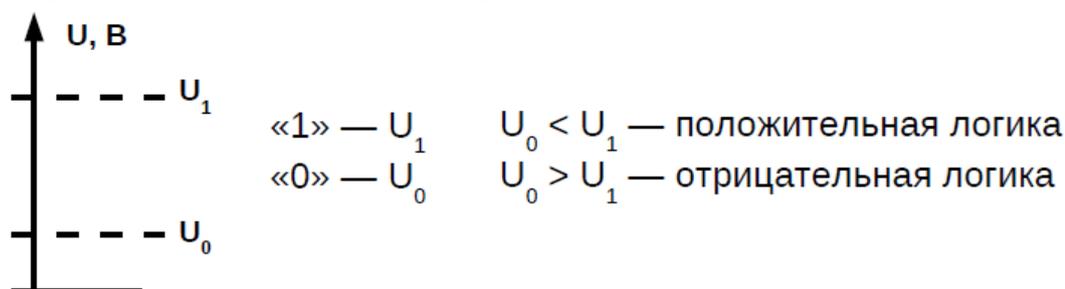
Быстродействие в большинстве случаев уступает ключам на биполярных транзисторах. Однако, они дают большой выигрыш по току из-за большого входного сопротивления.

#### 14. Аналоговая и цифровая обработка информации. Физическое представление информации в ЭВМ. Двоичный код. Реализация элементарных логических функций.

Для некоторых задач связи и управления необходимо преобразование аналоговой информации в дискретную и наоборот. Для этого используются аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи сигналов.

Аналоговый сигнал: определен в любой момент времени, искажается при передаче.

Цифровой сигнал: неизменен на определенном интервале, передается без искажения.

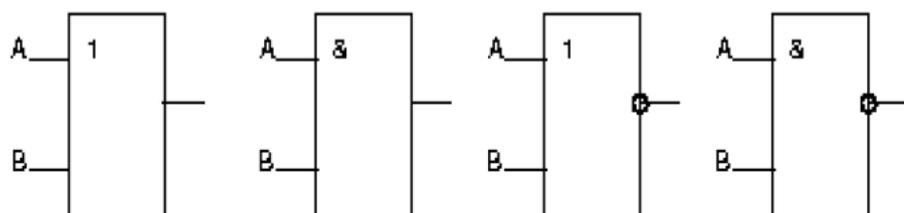


Инвертор: перевод из одной логики в другую: 0->1, 1->0.

Двоичный код — это способ представления данных в одном разряде в виде комбинации двух знаков, обычно обозначаемых цифрами 0 и 1. Разряд в этом случае называется двоичным разрядом.

Основные логические элементы:

#### **НЕ, И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ**



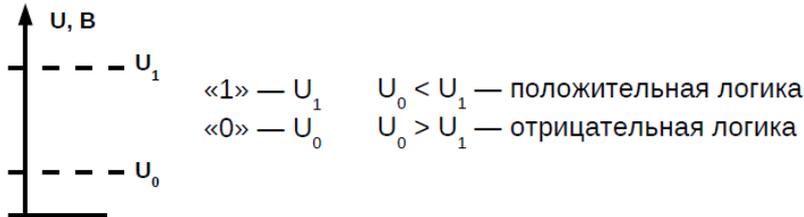
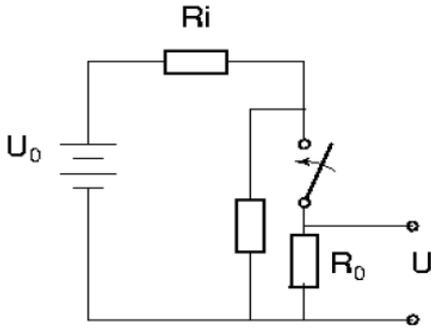
A	B	ИЛИ	И	ИЛИ-НЕ	И-НЕ
0	0	0	0	1	1
0	1	1	0	0	1
1	0	1	0	0	1
1	1	1	1	0	0

#### 15. Ключевой режим работы коммутирующего элемента. «Высокое» и «низкое» состояния логических схем. Позитивная и негативная логики.

Простейший коммутирующий элемент:

Ключ разомкнут:  $U=0$

Ключ замкнут:  $U = U_0 \frac{R_0}{(R_i + R_0)}$

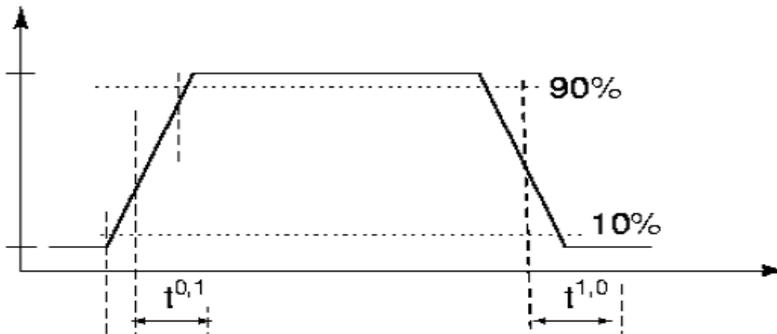


**16. Основные характеристики логических элементов. Потребляемая мощность, время задержки распространения сигнала, энергия переключения, напряжение питания, коэффициент разветвления по выходу.**

Средняя статическая потребляемая мощность  $P_{стат. ср.} = \frac{1}{2} (P^0 + P^1)$

Динамическая потребляемая мощность  $P_{дин. ср} = A_{ср} \cdot \nu$   
 $A_{ср}$  — работа переключения,  
 $\nu$  — частота переключений

**Среднее время задержки распространения сигнала**



Коэффициент разветвления по выходу –  $K$  - допустимое число нагрузок, подключаемых к выходу элемента (подключаются входы аналогичных элементов).

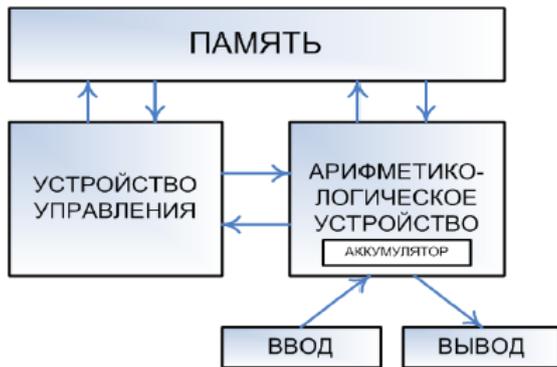
Энергия переключения — работа, затрачиваемая на выполнение единичного переключения. Это интегральный параметр, используемый для сравнения между собой микросхем различных серий и технологий. Он находится как произведение потребляемой мощности и среднего времени задержки распространения сигнала.

Напряжение высокого  $U^1$  и низкого  $U^0$  уровней (входные  $U^1_{вх}$  и выходные  $U^0_{вых}$ ) и их допустимая нестабильность. Под  $U^1$  и  $U^0$  понимают номинальные значения напряжений «Лог.1» и «Лог.0»; нестабильность выражается в относительных единицах или в процентах.

Работа переключения пропорциональна питанию.

**17. Архитектура фон Неймана и обобщенная структура системного блока: микропроцессор (МП), память, шина.**

Архитектура фон Неймана — широко известный принцип совместного хранения программ и данных в памяти компьютера.



Микропроцессор — процессор (устройство, отвечающее за выполнение арифметических, логических операций и операций управления, записанных в машинном коде), реализованный в виде одной микросхемы или комплекта из нескольких специализированных микросхем (в отличие от реализации процессора в виде электрической схемы на элементной базе общего назначения или в виде программной модели).

Компьютерная память (устройство хранения информации, запоминающее устройство) — часть вычислительной машины, физическое устройство или среда для хранения данных, используемых в вычислениях, в течение определённого времени. Память, как и центральный процессор, является неизменной частью компьютера с 1940-х. Память в вычислительных устройствах имеет иерархическую структуру и обычно предполагает использование нескольких запоминающих устройств, имеющих различные характеристики.

Компьютерная шина - подсистема, которая передаёт данные между функциональными блоками компьютера. Обычно шина управляется драйвером. В отличие от связи точка-точка, к шине можно подключить несколько устройств по одному набору проводников.

### 18. Основные характеристики микропроцессора (МП): технология изготовления, напряжение питания, объем адресуемой памяти, разрядность шины данных, тактовая частота. Цикл МП и его фазы.

Физические процессы, протекающие в изделиях микроэлектроники (и в микросхемах памяти тоже), технология изготовления и конструктивные особенности ИМС высокой степени интеграции могут влиять на архитектуру и методы проектирования ЭВМ и систем.

Существуют два вида технологии изготовления БИС: биполярная - основанная на применении биполярных транзисторов и МОП (металл - окисел - полупроводник) - технология, основанная на использовании полевых транзисторов.

Необходимо уменьшение напряжения питания СБИС до 3.6, 3.3, 3 В и т.п., при этом известно, что блок питания компьютера обеспечивает обычно напряжения +5В, +12В, -12В.

Объём памяти - необходимо, чтобы памяти хватало для нашей программы и наших данных.

Поскольку процессор имеет много различных электронных компонент, которые работают независимо, то для того, чтобы синхронизировать их работу, чтобы они знали, в какой момент надо начать работать, когда нужно выполнить свою работу и ждать, существует таймер, который посылает синхроимпульс. Частота, с которой посылается синхроимпульс – и есть тактовая частота процессора.

Основной характеристикой шины данных является её ширина в битах. Ширина шины данных определяет количество информации, которое можно передать за один такт.

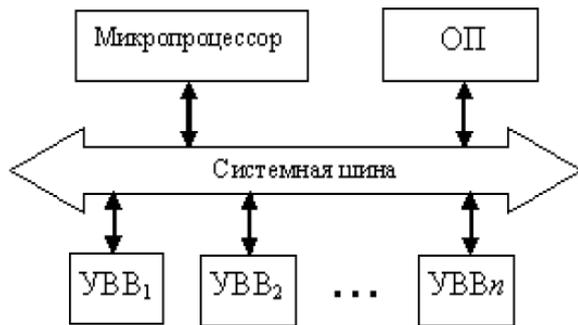
МП работает в составе МПС, обмениваясь информацией с памятью и ВУ. В основе работы МП лежит командный цикл - действия по выбору из памяти и выполнению одной команды. В зависимости от типа и формата команды, способов адресации и числа операндов командный цикл может включать в себя различное число обращений к памяти и ВУ и следовательно - иметь различную длительность. Любой командный цикл (КЦ) начинается с извлечения из памяти первого байта команды по адресу, хранящемуся в РС.

В жизненном цикле микропроцессорной системы, как любой дискретной системы, выделяются три стадии: проектирование, изготовление и эксплуатация. Каждая из стадий подразделяется на несколько фаз, для которых существуют вероятности возникновения конструктивных или

физических неисправностей, приводящих систему в неработоспособное состояние. Поэтому на каждой фазе необходимы процедуры тестового контроля, направленные на обнаружение и локализацию неисправностей.

### 19. Взаимодействие микропроцессора (МП) и оперативного запоминающего устройства (ОЗУ). Способы обмена информацией между МП и внешними устройствами: синхронный, асинхронный и полусинхронный.

ОЗУ - оперативное запоминающее устройство, используемое для временного хранения информации в процессе работы МП. В отличие от ПЗУ, в ОЗУ возможно как считывание, так и запись информации в ячейку, адрес которой находится на шине данных. В простейших МПС ОЗУ может отсутствовать, и его роль выполняют внутренние регистры общего назначения (РОН) МП.



При синхронном обмене процессор заканчивает обмен данными самостоятельно, через раз и навсегда установленный временной интервал выдержки, то есть без учета интересов устройства-исполнителя;

При асинхронном обмене процессор заканчивает обмен только тогда, когда устройство-исполнитель подтверждает выполнение операции специальным сигналом (так называемый режим handshake — рукопожатие).

### 20. Режимы работы процессора: прерывание, прямой доступ к памяти, ожидание. Шины и их основные характеристики (ISA, VESA, AGP, PCI, PCI-E). Мультиплексирование. Внутренняя структура процессора (FSB, QPI, HyperTransport, северный и южный мост).

Прерывание — сигнал, сообщающий процессору о наступлении какого-либо события. При этом выполнение текущей последовательности команд приостанавливается и управление передается обработчику прерывания, который реагирует на событие и обслуживает его, после чего возвращает управление в прерванный код.

Прямой доступ к памяти — режим обмена данными между устройствами или же между устройством и основной памятью (RAM) без участия Центрального Процессора (ЦП). В результате скорость передачи увеличивается, так как данные не пересылаются в ЦП и обратно.

Состояние ожидания - задержка, которая испытана компьютерным процессором, обращаясь к внешней памяти или другому устройству.

Компьютерная шина - подсистема, которая передает данные между функциональными блоками компьютера.

ISA 1981 г - параллельная, синхронная, без мультиплексирования.

PCI 1992 г. - параллельная, синхронная, мультиплексированная.

PCI-Express – последовательная системная шина общего назначения.

VESA DDC — цифровая шина (I<sup>2</sup>C) для обмена служебными данными между монитором и видеокартой, присутствует даже в мониторах 15-летней давности.

AGP - увеличенная пропускная способность; режим работы с памятью DMA и DME; разделение запросов на операцию и передачу данных.



Немультиплексированные шины



Мультиплексированная шина

Front Side Bus (FSB) — шина, обеспечивающая соединение между x86-совместимым центральным процессором и внутренними устройствами.

QPI — последовательная кэш-когерентная шина типа точка-точка для соединения процессоров между собой и с чипсетом, разработанная фирмой Intel.

Шина HyperTransport (HT), ранее известная как Lightning Data Transport (LDT), — это двунаправленная последовательно/параллельная компьютерная шина с высокой пропускной способностью и малыми задержками.

Северный мост— системный контроллер чипсета на материнской плате платформы x86, к которому в рамках организации взаимодействия подключены: микропроцессор, оперативная память, видеоадаптер .

Южный мост, также известен как контроллер-концентратор ввода-вывода (от англ. I/O Controller Hub, ICH). Обычно это одна микросхема, которая связывает «медленные» (по сравнению со связкой «Центральный процессор-ОЗУ») взаимодействия (например, Low Pin Count, Super I/O или разъёмы шин для подключения периферийных устройств) на материнской плате с ЦПУ через Северный мост, который, в отличие от Южного, обычно подключён напрямую к центральному процессору.

## 21. Специализированные микропроцессоры. Мультипроцессорные и многоядерные конфигурации. Супер ЭВМ.

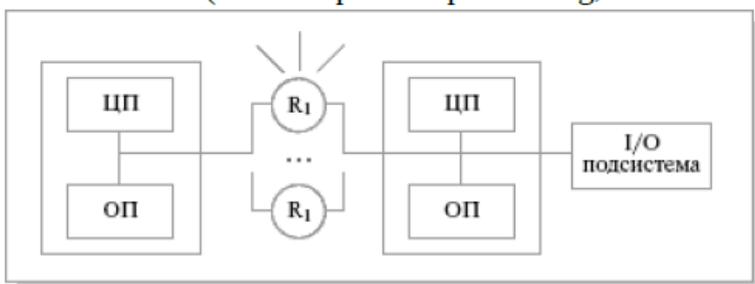
Специализированные микропроцессоры предназначены для решения определенного класса задач, а иногда только для решения одной конкретной задачи. Их существенными особенностями являются простота управления, компактность аппаратных средств, низкая стоимость и малая мощность потребления.

В много- или мультипрограммных микропроцессорах одновременно выполняется несколько (обычно несколько десятков) программ. Организация мультипрограммной работы микропроцессорных управляющих систем позволяет осуществить контроль за состоянием и управлением большим числом источников или приемников информации.

### SMP (symmetric multiprocessing)



### MPP (massive parallel processing)



Суперкомпьютер (СуперЭВМ) — вычислительная машина, значительно превосходящая по своим техническим параметрам большинство существующих компьютеров. Как правило, современные суперкомпьютеры представляют собой большое число высокопроизводительных серверных компьютеров, соединённых друг с другом локальной высокоскоростной магистралью для достижения максимальной производительности в рамках подхода распараллеливания вычислительной задачи.

## 22. Конденсатор и триггер как простейшие ячейки памяти. Энергозависимая и энергонезависимая память.

Триггер (триггерная система) — класс электронных устройств, обладающих способностью длительно находиться в одном из двух устойчивых состояний и чередовать их под воздействием внешних сигналов. Каждое состояние триггера легко распознаётся по значению выходного напряжения. По характеру действия триггеры относятся к импульсным устройствам — их активные элементы (транзисторы, лампы) работают в ключевом режиме, а смена состояний длится очень короткое время.

Конденсатор — двухполюсник с определённым значением ёмкости и малой омической проводимостью; устройство для накопления заряда и энергии электрического поля.

Энергонезависимая память — любое устройство компьютерной памяти, или его часть, сохраняющее данные вне зависимости от подачи питающего напряжения. Однако попадающие под это определение носители информации, ПЗУ, ППЗУ, устройства с подвижным носителем информации (диски, ленты) и другие носят свои, более точные названия.

Энергозависимая память — компьютерная память, которая требует постоянного использования электропитания для возможности удерживать записанную на неё информацию. Подавляющее большинство современных видов оперативной памяти с произвольным доступом являются энергозависимыми. Сюда относятся динамическая (DRAM) и статическая (SRAM) память с произвольным доступом.

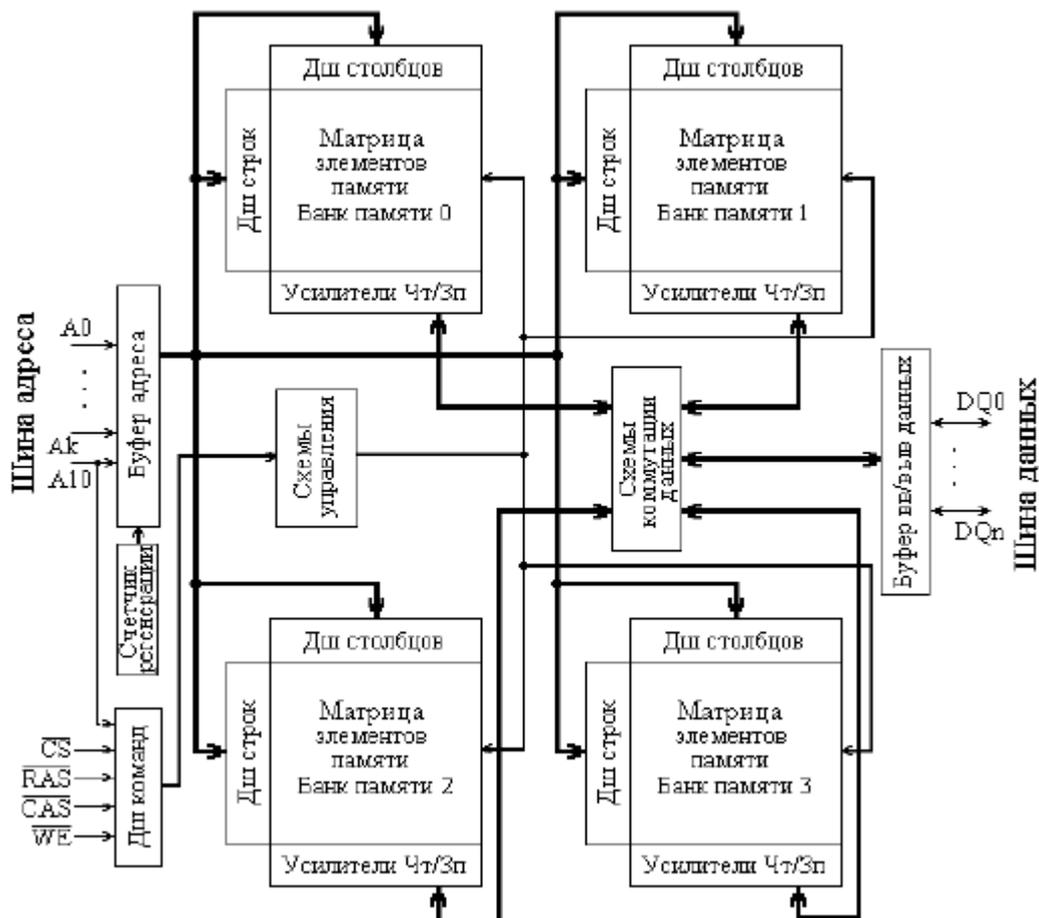
## 23. Энергозависимая и энергонезависимая память. Статическое оперативное запоминающее устройство (СОЗУ). Принципы работы. Применение СОЗУ в ЭВМ.

Энергонезависимая память — любое устройство компьютерной памяти, или его часть, сохраняющее данные вне зависимости от подачи питающего напряжения. Однако попадающие под это определение носители информации, ПЗУ, ППЗУ, устройства с подвижным носителем информации (диски, ленты) и другие носят свои, более точные названия.

Энергозависимая память — компьютерная память, которая требует постоянного использования электропитания для возможности удерживать записанную на неё информацию. Подавляющее большинство современных видов оперативной памяти с произвольным доступом являются энергозависимыми. Сюда относятся динамическая (DRAM) и статическая (SRAM) память с произвольным доступом.

ОЗУ, которое не надо регенерировать (и обычно схематически собранное на триггерах), называется статической памятью с произвольным доступом или просто статической памятью. Достоинство этого вида памяти — скорость. Поскольку триггеры собраны на вентилях, а время задержки вентиля очень мало, то и переключение состояния триггера происходит очень быстро. Данный вид памяти не лишён недостатков. Во-первых, группа транзисторов, входящих в состав триггера, обходится дороже, даже если они вытравляются миллионами на одной кремниевой подложке. Кроме того, группа транзисторов занимает гораздо больше места, поскольку между транзисторами, которые образуют триггер, должны быть вытравлены линии связи. Используется для организации сверхбыстрого ОЗУ, критичного к скорости работы.

## 24. Общая организация памяти. Характеристики памяти: стоимость, ёмкость, быстродействие, потребляемая мощность, возможность доступа.



Время доступа – это промежуток времени, за который может быть записано или прочитано содержимое ячейки памяти после подачи её адреса и соответствующего управляющего сигнала. Ёмкость определяет количество ячеек или битов в устройстве памяти.

Стоимость измеряется денежными затратами в расчете на единицу ёмкости памяти.

В зависимости от того, в каком порядке может записываться или читаться информация, существуют две разновидности ОЗУ:

ОЗУ с параллельным или произвольным доступом (это наиболее универсальная схема);

ОЗУ с последовательным доступом (это более специфическая схема).

Основная память потребляет около четверти мощности, необходимой для работы компьютера.

## 25. Энергозависимая и энергонезависимая память. Динамическое оперативное запоминающее устройство (ДОЗУ). Принципы работы и методы регенерации. Применение ДОЗУ в ЭВМ.

Энергонезависимая память — любое устройство компьютерной памяти, или его часть, сохраняющее данные вне зависимости от подачи питающего напряжения. Однако попадающие под это определение носители информации, ПЗУ, ППЗУ, устройства с подвижным носителем информации (диски, ленты) и другие носят свои, более точные названия.

Энергозависимая память — компьютерная память, которая требует постоянного использования электропитания для возможности удерживать записанную на неё информацию. Подавляющее большинство современных видов оперативной памяти с произвольным доступом являются энергозависимыми. Сюда относятся динамическая (DRAM) и статическая (SRAM) память с произвольным доступом.

ДОЗУ: Экономичный вид памяти. Для хранения разряда (бита или трита) используется схема, состоящая из одного конденсатора и одного транзистора (в некоторых вариациях конденсаторов два). Память на основе конденсаторов работает медленнее, поскольку если в SRAM изменение напряжения на входе триггера сразу же приводит к изменению его состояния, то для того чтобы установить в единицу один разряд (один бит) памяти на основе конденсатора, этот конденсатор нужно зарядить, а для того чтобы разряд установить в ноль, соответственно, разрядить. За то, что

разряды в ней хранятся не статически, а «стекают» динамически во времени, память на конденсаторах получила своё название динамическая память. В связи с этим обстоятельством, дабы не потерять содержимое памяти, заряд конденсаторов для восстановления необходимо «регенерировать» через определённый интервал времени. Регенерация выполняется центральным микропроцессором или контроллером памяти, за определённое количество тактов считывания при адресации по строкам. Так как для регенерации памяти периодически приостанавливаются все операции с памятью, это значительно снижает производительность данного вида ОЗУ.

Области возможного применения ДОЗУ:

хранение видеоизображений, генерируемых бортовым графическим контроллером;

хранение данных, передаваемых по сетевому интерфейсу;

использование в качестве системной оперативной памяти ЭВМ иного назначения, например, персональной;

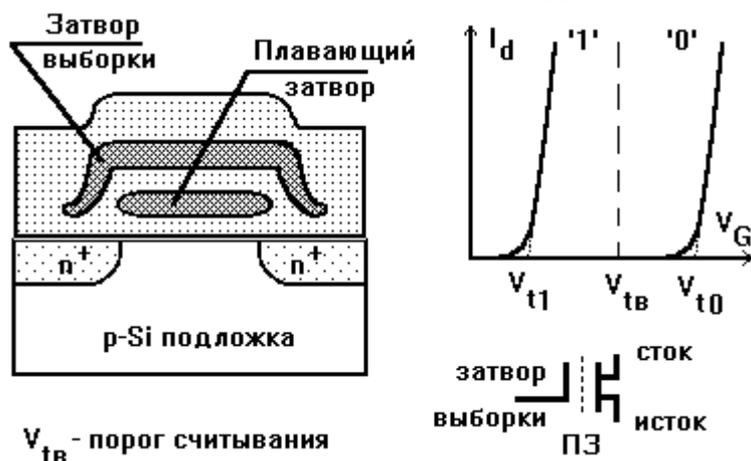
применение в других вычислительных устройствах, предъявляющих жесткие требования к объёму оперативной памяти и ее быстродействию.

## 26. Постоянное запоминающее устройство (ПЗУ). Элементы на основе структур с плавающим затвором. Стирание информации. Применение ПЗУ в ЭВМ. Сравнительные характеристики и перспективы развития ПЗУ: Flash-память. MRAM.

Постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) — энергонезависимая память, используется для хранения массива неизменяемых данных.

В постоянную память часто записывают микропрограмму управления техническим устройством: телевизором, сотовым телефоном, различными контроллерами, или компьютером (BIOS или OpenBoot на машинах SPARC).

Программируемые постоянные запоминающие устройства (ППЗУ) делятся на однократно программируемые (например, биполярные ПЗУ с плавкими соединениями) и рассматриваемые здесь многократно электрически программируемые МОП ПЗУ. Это полевой транзистор с плавающим затвором и МДОП (металл-диэлектрик-оксид полупроводник) транзистор. Обычно в качестве диэлектрика используют нитрид кремния.



ПЗУ со стиранием информации ультрафиолетовым излучением в настоящее время наиболее широко используются в микропроцессорных системах.

Флеш-память (англ. flash memory) — разновидность полупроводниковой технологии электрически перепрограммируемой памяти (EEPROM).

Благодаря компактности, дешевизне, механической прочности, большому объёму, скорости работы и низкому энергопотреблению, флеш-память широко используется в цифровых портативных устройствах и носителях информации. Срок хранения заряда, заявляемый большинством производителей для бытовых изделий — 10-20 лет.

Магниторезистивная оперативная память (MRAM — англ. magnetoresistive random-access memory) — запоминающее устройство с произвольным доступом, которое хранит информацию при помощи магнитных моментов, а не электрических зарядов.

Важнейшее преимущество этого типа памяти — энергонезависимость, то есть способность сохранять записанную информацию (например, программные контексты задач в системе и состояние всей системы) при отсутствии внешнего питания. Её сторонники верят, что благодаря ряду преимуществ, она в конечном счёте заменит все типы компьютерной памяти, и станет по-настоящему «универсальной» компьютерной памятью.

### 27. Роль и место различных типов памяти в ЭВМ.

Энергонезависимая память — память, реализованная ЗУ, записи в которых не стираются при снятии электропитания. К этому типу памяти относятся все виды памяти на ПЗУ и ППЗУ;

Энергозависимая память — память, реализованная ЗУ, записи в которых стираются при снятии электропитания. К этому типу памяти относятся память, реализованная на ОЗУ, кэш-память.

Статическая память — энергозависимая память, которой для хранения информации достаточно сохранения питающего напряжения;

Динамическая память — энергозависимая память, в которой информация со временем разрушается (деградирует), и, кроме подачи электропитания, необходимо производить её периодическое восстановление (регенерацию).

### 28. Функции интерфейса ввода-вывода. Информационная, электрическая и конструктивная совместимость интерфейсов.

Под стандартным интерфейсом понимается совокупность аппаратных, программных и конструктивных средств, необходимых для реализации взаимодействия различных функциональных компонентов в системах и направленные на обеспечение информационной, электрической и конструктивной совместимости компонентов.

Основными элементами интерфейса являются:

Совокупность правил обмена информации (временные диаграммы и диаграммы состояний сигналов интерфейса), аппаратная реализация (физическая реализация) (контроллеры), программное обеспечение интерфейса (драйверы).

Общение процессора с внешними устройствами происходит по шинам. Системная шина соединяет между собой штатные устройства, а внешние устройства соединяются со штатными посредством шин ввода - вывода. Кроме того, для связи с внешним устройством необходим контроллер, который знает, какое конкретное устройство он обслуживает, и соединяется с шиной для данного типа устройств. Контроллер согласует линии передачи данных, сигналы, временные такты сигналов и т.п.

Регистры контроллера: данных, состояния, управления.

Информационная совместимость – согласованность взаимодействий функциональных элементов системы в соответствии с совокупностью логических условий.

Электрическая совместимость – согласование статических и динамических параметров электрических сигналов в системе шин с учетом ограничений на пространство размещения устройств интерфейса и техническая реализация приемо-передающих элементов.

Конструктивная совместимость – согласование конструктивных элементов интерфейса, предназначена для обеспечения механического контакта электрического соединения и механической замены схемных элементов.

### 29. Устройство типичного интерфейса. Функциональная и управляющая части интерфейса. Методы доступа FIFO и LIFO.

Составными элементами связи интерфейса являются электрические цепи (линии интерфейса).

Часть линий сгруппированных по функциональному назначению – шина (BUS), совокупность всех линий – магистраль. Во всей системе шин условно выделяют две магистрали: магистраль информационного канала, магистраль управления информационным каналом.

Магистраль информационного канала – магистраль, по которой передаются коды данных, адреса, команд, информации состояния (статуса).

Магистраль управления информационным каналом включает: шину управляющих сигналов, шину прерывания, шину управления обменом, шину передачи управления.

Функциональная организация определяет ряд основных функций интерфейса, которые необходимо реализовать для обеспечения информационной совместимости: селекция информационного канала; синхронизация обмена информацией; координация взаимодействия; буферное хранение информации; преобразование формы представления информации.

Принцип – first in first out, чем раньше сообщение попало в буфер, тем скорее его покинет.

Принцип FIFO обычно используется в электронных схемах для буферизации и управления потоком, передаваемом от аппаратного обеспечения к программному. В аппаратной форме FIFO в основном состоит из множества указателей чтения и записи, памяти и логики управления.

Устройство памяти может быть SRAM, триггер, защёлка или любого другого подходящего типа.

Для FIFO больших размеров используется, как правило, двойной порт SRAM, в котором один порт используется для записи, а другой для чтения.

### 30. Интерфейс последовательной связи. Дуплексная и полудуплексная связь.

Асинхронная и синхронная связь. Типы универсальных и специализированных интерфейсов. Скорость передачи информации и электрические параметры. Основные характеристики некоторых универсальных интерфейсов: USB, FireWire, Thunderbolt.

Последовательный интерфейс требует наличия как минимум двух линий связи между устройствами. Существует разделение способов связи на полудуплексные и дуплексные. Первый тип связан характерен тем, что передача данных происходит только в одном направлении в определенный момент времени, а дуплексная связь – в двух направлениях одновременно. С точки зрения принципов работы, последовательный интерфейс может быть синхронным и асинхронным. Синхронная передача данных обязательно сопровождается каким-либо тактирующим импульсом, кроме того, при синхронной передаче данных частоты работы приемника и передатчика должны быть близки. Асинхронная передача предполагает, что приемник и передатчик работают на примерно одних и тех же частотах, причем это условие более жесткое, чем для синхронной передачи.

Внешние интерфейсы ПУ можно разделить на две группы: специализированные интерфейсы и универсальные интерфейсы.

Специализированные интерфейсы обслуживают только один тип ПУ. К ним можно отнести: интерфейсы клавиатуры, интерфейс манипуляторов, аудиоинтерфейсы, интерфейсы мониторов, интерфейс игрового адаптера, интерфейс флоппи-дисков.

Универсальные интерфейсы позволяют подключать различные типы ПУ (печать, сканер, графопостроитель, видеокамера и т.д.). К этим интерфейсам относятся: последовательные интерфейсы RS-232c, USB, Fire Wire и др., параллельные интерфейсы Centronics (стандарт IEEE1284), SCSI, ATA и др.

USB: 1.5, 12 Мбит/сек; последовательный; полудуплексный.

FireWire: 100, 200, 400 Мбит/сек; последовательный; полудуплексный.

Thunderbolt: 10 Гбит/сек; параллельный; дуплексный.

### 31. Модем. Амплитудная, частотная и фазовая модуляция сигнала. Передача данных по телефонным линиям. Скорость передачи данных.

Модем (модулятор + демодулятор) — устройство, применяющееся в системах связи для физического сопряжения информационного сигнала со средой его распространения, где он не может существовать без адаптации.

Модулятор в модеме осуществляет модуляцию несущего сигнала при передаче данных, то есть изменяет его характеристики в соответствии с изменениями входного информационного сигнала, демодулятор осуществляет обратный процесс при приёме данных из канала связи. Модем выполняет функцию оконечного оборудования линии связи. Само формирование данных для передачи и обработки принимаемых данных осуществляет т. н. терминальное оборудование (в его роли может выступать и персональный компьютер).

Модуляция — процесс изменения одного или нескольких параметров высокочастотного несущего колебания по закону низкочастотного информационного сигнала (сообщения). Амплитудная модуляция — вид модуляции, при которой изменяемым параметром несущего сигнала является его амплитуда.

Частотная модуляция (ЧМ) — вид аналоговой модуляции, при котором информационный сигнал управляет частотой несущего колебания. По сравнению с амплитудной модуляцией здесь амплитуда остаётся постоянной.

Фазовая модуляция — один из видов модуляции колебаний, при которой фаза несущего колебания управляется информационным сигналом.

Для передачи цифровых компьютерных данных по телефонным линиям связи их преобразуют в электрические колебания. На приемном конце происходит обратное преобразование электрических колебаний в машинные коды.

Шина USB дает большую скорость обмена данными (до 12 Мбит/с. для версии 1.1, до 480 Мбит/с. для версии 2.0) и возможность "горячего" подключения.

### 32. Магнетизм. Магнитные материалы: диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики. Кривая намагниченности ферромагнетиков. Температура Кюри. Доменная структура.

Магнетизм - форма взаимодействия движущихся электрических зарядов, которая осуществляется на расстоянии (дальнодействие) посредством магнитного поля.

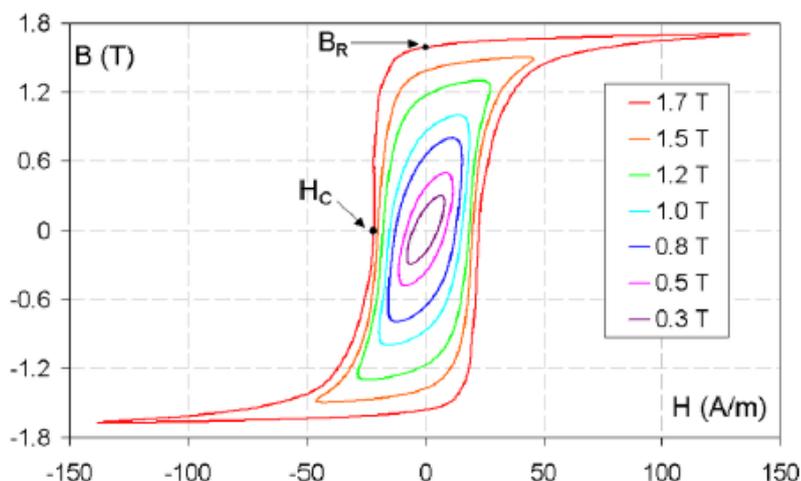
Диамагнетики - вещества, намагничивающиеся против направления внешнего магнитного поля.

Парамагнетики - вещества, которые намагничиваются во внешнем поле в направлении этого поля.

Ферромагнетики - вещества, в которых ниже критической температуры (точка Кюри) устанавливается дальний ферромагнитный порядок магнитных моментов атомов / ионов (в неметаллических кристаллах) или моментов коллективизированных электронов (в металлах). Т.е. ферромагнетик - такое вещество, которое ниже точки Кюри, может обладать намагниченностью в отсутствие внешнего поля.

Температура Кюри - температура фазового перехода, связанного со скачком магнитных свойств ферромагнетиков.

#### **Кривая намагниченности ферромагнетиков: мягкие и жесткие ферромагнетики**



$B_R$  характеризует остаточную намагниченность

Если  $B_R$  велико, ферромагнетик называют «жестким», а если мало — «мягким»

При записи информации мягкие магнитные материалы используют в магнитных головках, а жесткие - для создания носителей информации

Домены - макроскопические области в магнитных кристаллах, в которых существует определенная ориентация вектора спонтанной однородной намагниченности (ферромагнетики) либо вектора антиферромагнетизма (при температуре ниже точек Кюри и Нееля, соответственно) и эта ориентация отличается от ориентации соответствующего вектора в соседних доменах. Домены существуют в ферромагнитных и антиферромагнитных кристаллах, а также других веществах, обладающих спонтанным дальним порядком (например, сегнетоэлектриках).

### 33. Принципы записи и считывания информации на магнитных носителях. Типы

## магнитных носителей и магнитных головок. Продольная и поперечная запись информации. Предельная плотность записи и скорость доступа к записанной информации.

Память на магнитных сердечниках (ферритовая память) - запоминающее устройство, хранящее информацию в виде направления намагниченности небольших ферритовых сердечников, обычно имеющих форму кольца.

Считывающие головки не касаются поверхности пластин благодаря тонкой прослойке набегающего потока воздуха, образующейся у поверхности диска при его быстром вращении. Расстояние между самой головкой и диском находится в нм диапазоне (в современных дисках ~10 нм), причем именно отсутствие механического контакта обеспечивает долгий срок службы устройства.

MIG головка позволяет уменьшить насыщение сердечника и повысить магнитную индукцию.

TF головка позволяет уменьшить до ~ 30 нм расстояние между носителем и головкой.

Типы магнитных носителей: дисковые (магнитные диски, оптические, магнитооптические); ленточные (магнитные ленты, перфоленты); барабанные (магнитные барабаны); карточные (магнитные карты, перфокарты, флэш-карты, и др.); печатные платы (карты DRAM, картриджи).

Продольная магнитная запись: Информация хранится на частицах, состоящих из 70 - 100 доменов. Если соседние области имеют противоположное направление моментов, часть доменов на границе может потерять стабильность и произвольно менять направление магнитного момента. При перпендикулярной записи магнитные диполи расположены под углом 90° к плоскости диска. Поэтому диполи, хранящие разные значения, не отталкиваются друг от друга (намагниченные частицы повернуты друг к другу разными полюсами).

Рост плотности записи (уменьшение размера частиц) не требует уменьшения толщины слоя, что обеспечивает высокую стабильность магнитного материала.

Поверхностная плотность записи зависит от нескольких основных факторов. Ее предельная величина, в первую очередь, определяется размерами ферромагнитных частиц (доменов) рабочего слоя — их уменьшение позволяет добиться больших значений поверхностной плотности записи данных. Следующими по значимости факторами являются коэрцитивная сила рабочего слоя и размеры головок чтения/записи (точнее, ширина их магнитного зазора). Увеличение коэрцитивной силы позволяет повысить соотношение сигнал/шум при считывании, а уменьшение ширины зазора — более компактный «профиль» поля намагничивания головки в режиме записи, что позволяет уменьшить расстояние между зонами смены знака остаточной намагниченности на поверхности носителя и, следовательно, получить более высокие значения плотности записи.

Наконец, плотность записи зависит от толщины воздушной подушки — расстояния между головкой чтения/записи и поверхностью носителя. Чем ближе головка чтения/записи располагается к магнитному слою, тем выше может быть поверхностная плотность записи.

Доступ к данным, хранящимся на CD-ROM, осуществляется быстрее, чем к данным, записанным на дискетах, но уступает скорости доступа к данным жестких дисков.

## 34. Использование оптических явлений для повышения плотности записи информации на магнитных носителях. Магнитооптика.

Магнитооптический диск (также допускается написание магнитно-оптический диск) — носитель информации, сочетающий свойства оптических и магнитных накопителей.

Магнитооптический диск изготавливается с использованием ферромагнетиков. Первые магнитооптические диски были размером с 5,25" дискету, потом появились диски размером 3,5". Запись на магнитооптический диск осуществляется по следующей технологии: излучение лазера разогревает участок дорожки выше температуры точки Кюри, после чего электромагнитный импульс изменяет намагниченность, создавая отпечатки, эквивалентные битам на оптических дисках.

Считывание осуществляется тем же самым лазером, но на меньшей мощности, недостаточной для разогрева диска: поляризованный лазерный луч проходит сквозь материал диска, отражается от подложки, проходит сквозь оптическую систему и попадает на датчик. При этом в зависимости от намагниченности изменяется плоскость поляризации луча лазера (эффект Керра) что и определяется датчиком.

Принцип Ферма - постулат, предписывающий лучу света в геометрической оптике двигаться из начальной точки в конечную точку по пути, минимизирующему время движения (или, что то же самое, оптическую длину пути).

### 35. Оптическая память. Предельная плотность записи информации в оптике. CD и DVD диски. Blu-ray и HD-DVD технологии.

Оптическая память:

Среда, хранящая информацию: последовательность участков (питов), отражающих или рассеивающих свет.

Чтение: отражение либо рассеяние лазерного луча от питов;

Запись: точечный нагрев, изменяющий свойства отражающего слоя.

Плотность записи по сравнению с обычной грампластинкой больше в 100 раз. По сравнению с механической звукозаписью имеет ряд преимуществ: очень высокую плотность записи и полное отсутствие механического контакта между носителем и считывающим устройством в процессе записи и воспроизведения. Основное отличие DVD-диска от обычного компакт-диска – в десятки раз более высокая плотность записи информации.

Предельная плотность записи информации для двумерной записи  $10^8$  бит/см<sup>2</sup>.

CD-R: при нагревании красителя выше определенной температуры он разрушается и темнеет, меняя отражательную способность «прожженной» зоны. Управляя мощностью излучения лазера во времени, на записывающем слое получают чередование темных и светлых пятен, которые при чтении (меньшая мощность излучения лазера) интерпретируются как питы.

Технология CD-RW - в отличие от CD-R позволяет проводить многократную (~ 1000 раз) перезапись данных.

Формат	DVD	HD DVD	Blu-Ray
Длина волны, нм	650	405	405
емкость слоя, Гб	4,7	15	27
Толщина диска, мм	0,6+0,6	0,6+0,6	1,1+0,1

### 36. Повышение предельной плотности записи информации. Многослойные оптические диски. Трехмерная оптическая память: фоторефрактивные и фотохромные материалы.

Быстрое изменение диаметра пучка по продольной координате при жесткой фокусировке дает возможность создания многослойных дисков, в которых выбор слоя проводится продольным перемещением объектива. Используется материал, при записи приобретающий флуоресцентные свойства. Активированные «питы» слоев (до 100 (!) при чтении излучают свет, смещенный по длине волны относительно читающего излучения. Смещение – разное для разных слоев, что дает возможность разделить информацию, полученную от каждого слоя.

В голографии в некой области пространства складывают две волны: одна из них идет от источника (опорная волна), а другая отражается от объекта записи (объектная волна). Результат их интерференции - сложная картина светлых и темных полос – регистрируют на фотопластинке (или ином фоточувствительном материале).

Фотохромизм - изменение окраски (спектра поглощения) под действием света. Вместе с изменением цвета вещество обычно меняет и другие химико-физические характеристики.

Фоторефракция - изменение показателя преломления вещества под действием света. Параллельно с этим вещество может менять и другие химико-физические характеристики.

### 37. Принципы отображения визуальной информации. Алфавитно-цифровые и графические (аналоговые) мониторы.

RGB - аддитивная модель, описывающая синтез цвета для цветовоспроизведения. Выбор основных цветов обусловлен физиологией восприятия цвета сетчаткой глаза.

Монитор - устройство, предназначенное для визуального отображения динамической информации. Состоит из корпуса, блока питания, плат управления и экрана. Информация (видеосигнал) для вывода поступает на монитор с компьютера с видеокарты, либо с другого устройства, формирующего видеосигнал.

По характеру выводимой информации:

Алфавитно-цифровые – для вывода алфавитно-цифровой информации и «псевдографических» символов.

Графические - вывод текстовой и графической (в том числе, видео) информации.

По размерности отображения:

двухмерный (2D) - одно изображение для обоих глаз.

трехмерный (3D) - для каждого из глаз формируется свое собственное изображение.

### 38. Электронно-лучевая трубка (ЭЛТ). Физические процессы в ЭЛТ: термоэлектронная эмиссия, отклонение, фокусировка, люминесценция.

ЭЛТ (CRT) - электровакуумный прибор, для преобразования информации, представленной в форме электрического сигнала, в оптический сигнал. В ЭЛТ используются сфокусированные потоки электронов, управляемые по интенсивности и положению в пространстве.

Термоэлектронная эмиссия (эффект Ричардсона, эффект Эдисона) — явление испускания электронов нагретыми телами.

Внутри ЭЛТ - глубокий вакуум. Пучок электронов формирует электронная пушка. Катод, нагретый нитью накала, испускает электроны. Плотностью потока частиц управляют, меняя напряжение на модуляторе. Далее этот пучок фокусируют, а его частицы ускоряют до энергий ~20 кэВ. Система отклонения задает точку на экране, в которую он попадет. В телевизионных ЭЛТ для отклонения используют магнитное поле (требуются большие углы). В ЭЛТ осциллографов – электростатика (более высокое быстродействие). Далее пучок попадает на экран, покрытый люминофором. За счет такой бомбардировки частицы люминофора светятся. Причем чем больше плотность потока электронов, тем ярче светится экран.

### 39. Формирование изображения в ЭЛТ, строчная (чересстрочная и прогрессивная) и кадровая развертки. Отображение цвета.

Внутри ЭЛТ - глубокий вакуум. Пучок электронов формирует электронная пушка. Катод, нагретый нитью накала, испускает электроны. Плотностью потока частиц управляют, меняя напряжение на модуляторе. Далее этот пучок фокусируют, а его частицы ускоряют до энергий ~20 кэВ. Система отклонения задает точку на экране, в которую он попадет. В телевизионных ЭЛТ для отклонения используют магнитное поле (требуются большие углы). В ЭЛТ осциллографов – электростатика (более высокое быстродействие). Далее пучок попадает на экран, покрытый люминофором. За счет такой бомбардировки частицы люминофора светятся. Причем чем больше плотность потока электронов, тем ярче светится экран.

Частоты вертикальной (кадровой) развертки ~25 Гц и горизонтальной (строчной) ~16 кГц выбраны так, что слишком быстродвигающееся для глаза пятно переменной яркости формирует на экране статическое изображение.

Чересстрочная развёртка — метод телевизионной развёртки, при котором каждый кадр разбивается на два полукадра (или поля), составленные из строк, выбранных через одну.

Прогрессивная развёртка (Построчная развёртка) — метод телевизионной развёртки, при котором для отображения, передачи или хранения движущихся изображений все строки каждого кадра отображаются последовательно.

Цветное изображение на экране монитора в соответствии с теорией цвета формируется за счет смешивания (глазом) трех базовых цветов: красного, зеленого и синего. В мониторах может использоваться и более сложная система смешивания цветов, соответствующая, например, массиву цветных фильтров шаблона Байера.

#### 40. «Плоские» мониторы: жидкокристаллические (LCD) дисплеи и их типы, плазменные (газоразрядные PDP) мониторы, дисплеи на основе автоэлектронной эмиссии (FED), OLED дисплеи и электронная бумага.

FED - дисплей с автоэлектронной эмиссией, которая позволяет задействовать не три, а много миниатюрных электронных пушек.

Плазменная панель (PDP) – газоразрядный монитор, работа которого основана на свечении люминофора под действием ультрафиолетового излучения, возникающего при электрическом разряде в ионизированном газе (плазме).

Жидкий кристалл – вид жидкого состояния вещества, которое характеризуется определенным позиционным и/или ориентационным упорядочением молекул.

В зависимости от расположения молекул, согласно классификации Фриделя (Франция), различают три основных типа ЖК: смектические, нематические и холестерические.

Органический светодиод (OLED) – п/п прибор, изготовленный из органических соединений, который испускает свет при пропускании через него тока.

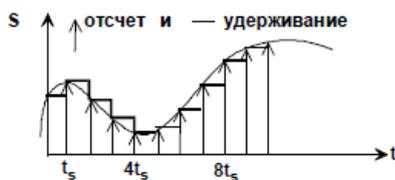
В OLED дисплеях как и в ЖК мониторах можно использовать пассивные и активные (AMOLED) матрицы. В активных матрицах применяются TFT на основе поликристаллического кремния.

Электронная бумага - технология отображения информации, имитирующая печать на бумаге и основанная на явлении электрофореза. Изображение формируется в отраженном свете и может храниться очень долго. Электрическая энергия затрачивается лишь на его изменение.

#### 41. Ввод и вывод информации в ЭВМ. Цифро-аналоговое и аналого-цифровое преобразование. Принципы реализации. Разрядность и погрешности ЦАП и АЦП.

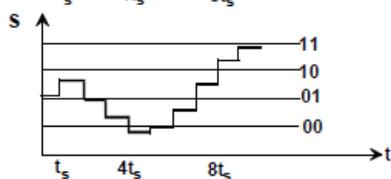


## ФОРМИРОВАНИЕ ЦИФРОВОГО СИГНАЛА



- ЦЕЛЬ – ПОЛУЧИТЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ В ВИДЕ «1» И «0»

- СИГНАЛ ДИСКРЕТИЗИРУЮТ С ПЕРИОДОМ  $t_s$



- УДЕРЖИВАЮТ ДИСКРЕТИЗИРУЕМОЕ ЗНАЧЕНИЕ ДО СЛЕДУЮЩЕГО ОТСЧЕТА

- РАСПРЕДЕЛЯЮТ НОВЫЙ СИГНАЛ ПО УРОВНЯМ = КВАНТУЮТ

- БОЛЬШЕ УРОВНЕЙ – ВЫШЕ ТОЧНОСТЬ



СИГНАЛ = 10 10 01 01 00 00 ?

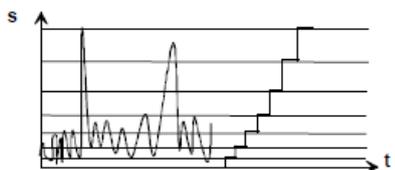
Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) - устройство, преобразующее входной аналоговый сигнал в цифровой сигнал (дискретный код). Обратное преобразование осуществляется при помощи ЦАП (цифро-аналогового преобразователя). Как правило, АЦП – электронное устройство, преобразующее напряжение в двоичный цифровой код. Простейшим одноразрядным двоичным АЦП является компаратор. Разрядность АЦП характеризует количество дискретных значений, которые преобразователь может выдать на выходе. В двоичных АЦП разрядность измеряется в битах. Большинство АЦП - линейные, что означает, что диапазон входных значений по линейному закону связан с цифровым выходным значением.

## ОШИБКА КВАНТОВАНИЯ



- КВАНТОВАНИЕ ПОРОЖДАЕТ ОШИБКИ

- УВЕЛИЧЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА УРОВНЕЙ КВАНТОВАНИЯ НЕ ВСЕГДА РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ



- НЕРАВНОМЕРНОЕ КВАНТОВАНИЕ

- БОЛЬШЕ УРОВНЕЙ ТАМ, ГДЕ ЕСТЬ ОСЦИЛЛЯЦИИ С МАЛОЙ АМПЛИТУДОЙ

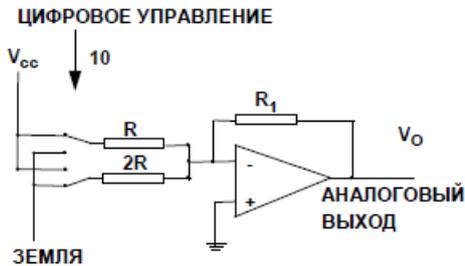
- МЕНЬШЕ УРОВНЕЙ ТАМ, ГДЕ НЕТ РЕЗКИХ ИЗМЕНЕНИЙ СИГНАЛА

### 42. Понятие о цифровом методе хранения и передачи аналоговой информации.

Цифровой метод хранения данных, равно как и запись на носители, подразумевает описание информации в виде цифр, как правило, это представляется через 1 и 0.

## ОТ ЦИФРОВОГО К АНАЛОГОВОМУ

### ЦАП С УМНОЖЕНИЕМ НАПРЯЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА



- ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КОДА "10" ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОДКЛЮЧАЕТ R К ИСТОЧНИКУ ( $V_{cc}$ ),  $2R$  ЗАЗЕМЛЯЕТ АНАЛОГОВЫЙ ВЫХОД  $= (R1/R) \cdot V_{cc}$
- УСИЛЕНИЕ =  $R1/\text{входное сопротивление}$

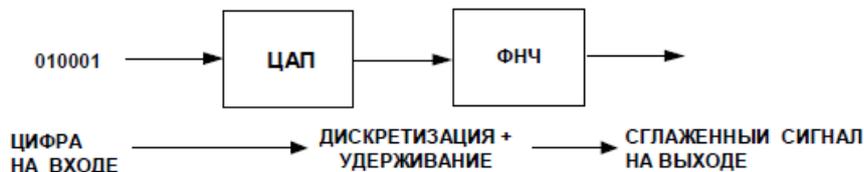
$$V_0 = - \left[ \underset{\text{MSB}}{V_{вх} \cdot (R_1/R)} + \underset{\text{LSB}}{V_{вх} \cdot (R_1/2R)} \right]$$

MSB = СТАРШИЙ ЗНАЧАЩИЙ БИТ  
LSB = МЛАДШИЙ ЗНАЧАЩИЙ БИТ

- ВОЗМОЖНЫЕ ВХОДЫ И ВЫХОДЫ ДЛЯ  $R1 = R$

ВХОДЫ	ВЫХОДЫ
11	$1.5 V_{cc}$
10	$V_{cc}$
01	$0.5 V_{cc}$
00	0

## СГЛАЖИВАНИЕ НА ВЫХОДЕ



- ПРЕОБРАЗУЕТ ЦИФРЫ НА ВХОДЕ В АНАЛОГОВЫЙ СИГНАЛ
- УДЕРЖИВАЕТ ДО СЛЕДУЮЩЕГО ОТСЧЕТА
- ВЫХОДНОЙ СИГНАЛ СГЛАЖИВАЕТСЯ

### 43. Ввод оптического изображения в ЭВМ: приборы с зарядовой связью (ПЗС). Принцип действия ПЗС-камеры.

ПЗС - прибор с зарядовой связью - прибор со считыванием накопленного электрического заряда методом последовательного сдвига этого заряда от одной ячейки к другой.

ПЗС - это матрица очень близко расположенных МДП - конденсаторов.

На поверхности полупроводника, накрытой тонким ( $\sim 0.1$  мкм) слоем диэлектрика, находится система прозрачных электродов. Причем расстояния между соседними элементами в этой системе столь малы, что оказываются существенны эффекты взаимного влияния соседей.

Работа ПЗС основана на возникновении (фотоэффект), хранении и направленной передаче зарядовых пакетов в потенциальных ямах, образующихся в приповерхностном слое полупроводника при приложении к электродам внешних электрических напряжений.

### 44. Принципы отображения информации на твердых носителях - принтеры и плоттеры. Алфавитно-цифровые и графические принтеры. Матричные, струйные, лазерные и светодиодные принтеры. Цветная печать.

С помощью алфавитно-цифровых принтеров можно выводить только символьную и текстовую информацию. В графических принтерах любое изображение формируется из множества мелких ( $0,1 \dots 0,3$  мм) точек, нанесенных на бумагу в необходимом порядке. В настоящее время

применяются практически исключительно графические печатные устройства. По способу нанесения красящих точек их разделяют на три основных вида: матричные, струйные, лазерные. Матричный принтер: печатающая головка - несколько электромагнитов с тонкими металлическими иглами, размещенными перпендикулярно бумаге. Головка движется вдоль строки, а иглы в нужный момент ударяют по бумаге через красящую ленту.

В основе лазерной и светодиодной печати лежит принцип электрографии:

1. Источник освещает заряженную поверхность фоточувствительного вала 2. На освещенных местах поверхности меняется заряд и к ним притягивается тонер 3. С поверхности фотовала тонер переносится электростатическими силами на бумагу 4. Здесь перенесенный тонер закрепляется под действием высокой температуры и давления.

Четырехцветная схема СМΥК (Cyan, Magenta, Yellow, Key color) - схема формирования цвета, используемая в полиграфии для стандартной триадной печати на белом фоне.

Первые три цвета являются парными комбинациями цветов схемы RGB, а в качестве четвертого используется черный - дополнительный цвет к аналогичной тройной комбинации.

В струйных принтерах изображение формируется каплями (объем до  $10^{-12}$  л) чернил, выбрасываемых на бумагу через микроскопические сопла.

Графопостроитель, плоттер — устройство для автоматического вычерчивания с большой точностью рисунков, схем, сложных чертежей, карт и другой графической информации на бумаге размером до А0 или кальке. Графопостроители рисуют изображения с помощью пера (пишущего блока).

#### 45. Методы кодирования информации: амплитудная, фазовая и частотная модуляция.

Модуляция - процесс изменения одного или нескольких параметров высокочастотного несущего колебания по закону низкочастотного информационного сигнала (сообщения). Передаваемая информация содержится в управляющем (модулирующем) сигнале, а переносчиком информации является высокочастотное колебание, называемое несущим, характеристики которого заведомо известны.

В качестве несущего могут быть использованы колебания различной формы (прямоугольные, треугольные и т. д.), однако чаще всего применяются гармонические колебания. В зависимости от того, какой из параметров несущего колебания изменяется, различают виды модуляции: амплитудная, частотная, фазовая и др. Модуляция дискретным сигналом называется цифровой модуляцией.

Амплитудная модуляция — вид модуляции, при которой изменяемым параметром несущего сигнала является его амплитуда.

Фазовая модуляция — один из видов модуляции колебаний, при которой фаза несущего колебания управляется информационным сигналом.

Частотная модуляция — вид аналоговой модуляции, при котором информационный сигнал управляет частотой несущего колебания. По сравнению с амплитудной модуляцией здесь амплитуда остаётся постоянной.

#### 46. Распределенные линии для разных диапазонов частот. Двухпроводная линия и радиоканал. Телеграфное уравнение. Скорость распространения сигналов в линии. Волновое сопротивление. Согласование линии с нагрузкой.

Телеграфные уравнения - линейные дифференциальных уравнения, описывающие распределение напряжения и тока в линии электропередачи и следующие из уравнений Максвелла. Уравнения получены Хевисайдом и применимы ко всем многопроводным линиям, включая телеграфные, радиочастотные, телефонные, силовые линии и линии

постоянного тока. Линия полагается состоящей из бесконечной цепи двухполюсников, каждый из которых эквивалентен ее бесконечно короткому участку.

Радиоканал - канал связи, в котором передача информации осуществляется с помощью радиоволн. Включает среду распространения радиоволн и устройства преобразования электрических сигналов в электромагнитное излучение (радиопередающее устройство) и электромагнитное излучение в электрические сигналы (радиоприемное устройство).

Длинная линия - регулярная линия электропередачи, длина которой превышает длину волны колебаний, распространяющихся в ней, а расстояние между проводниками, из которых она состоит, значительно меньше этой длины волны.

Основной недостаток двухпроводной линии – ее открытость, т.е. допускается излучение электромагнитных волн в окружающее пространство и прием электромагнитных волн из окружающего пространства. Это приводит к потерям мощности и влиянию внешних помех на передачу сигнала.

### Открытые линии связи

Беспроводные линии связи			
	Широкополосные системы	Оптические линии	Радиорелейные системы
Скорость передачи	несколько Мбит/с	> 150 Мбит/с	< 150 Мбит/с

Волновое сопротивление — характеристика среды распространения волнового возмущения. Единица измерения — Ом.

В электродинамике волновое сопротивление линий передачи — отношение амплитуды напряжения бегущей волны к амплитуде силы тока бегущей волны. (Бегущие волны могут присутствовать и в других режимах) Зависит от таких параметров линии, как ёмкость, диэлектрическая проницаемость материала проводника (зависит от частоты работы генератора сигнала), индуктивность и сопротивление на единицу длины.

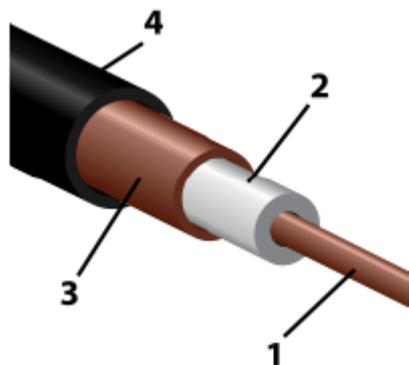
Согласование (в электронике) сводится к правильному выбору сопротивлений генератора (источника), линии передачи и приёмника (нагрузки).

#### 47. Линии передачи. Коаксиальный кабель и витая пара. Оптические волокна и волоконно-оптические кабели. Распространение света по оптическим волокнам.

Линия передачи — протяжённое на всём расстоянии от точки передачи до точки приёма устройство, ограничивающее область распространения электромагнитных колебаний и направляющее поток электромагнитной энергии в заданном направлении.

Коаксиальный кабель — электрический кабель, состоящий из расположенных соосно центрального проводника и экрана.

Устройство коаксиального кабеля 1 — внутренний проводник (провод), 2 — изоляция (полиэтилен), 3 — внешний проводник (оплетка), 4 — оболочка (полиэтилен).



Витая пара - тип кабеля связи в форме одной или нескольких пар изолированных проводников, скрученных между собой (с небольшим числом витков на единицу длины) и покрытых пластиковой оболочкой.

Оптическое волокно — нить из оптически прозрачного материала (стекло, пластик), используемая для переноса света внутри себя посредством полного внутреннего отражения.

Волоконная оптика — раздел прикладной науки и машиностроения, описывающий такие волокна. Кабели на базе оптических волокон используются в волоконно-оптической связи, позволяющей передавать информацию на большие расстояния с более высокой скоростью передачи данных, чем в электронных средствах связи. В ряде случаев они также используются при создании датчиков.

Оптическое волокно имеет круглое сечение и состоит из сердцевины и оболочки. Показатель преломления сердцевины выше, чем оболочки. Например, если показатель преломления оболочки равен 1,474, то сердцевины - 1,479. Поэтому свет, направленный в сердцевину, так по ней и распространяться.

Возможны более сложные конструкции: вместо ступенчатого изменения показателя преломления могут использоваться волокна с градиентным профилем показателя преломления, форма сердцевины может отличаться от цилиндрической. Такие конструкции обычно нужны для удержания поляризации, снижения потерь, изменения дисперсии и др.

#### 48. Оптические моды, дисперсия мод, критическая длина волны. Градиентные волокна, волокна со ступенчатым профилем показателя преломления.

Волокна делят на ступенчатые и градиентные. В ступенчатых - показатель преломления от оболочки к сердцевине меняется скачком. В градиентных - показатель преломления сердцевины плавно растёт от края к центру. Благодаря этому снижается роль дисперсии. Профиль показателя преломления градиентного волокна может быть параболическим, треугольным, ломаным и т.д. Оптические волокна могут быть одномодовыми и многомодовыми. Диаметр сердцевины одномодовых волокон составляет от 7 до 10 микрон. Благодаря малому диаметру достигается передача по волокну лишь одной моды электромагнитного излучения, за счёт чего исключается влияние дисперсионных искажений. В настоящее время практически все производимые волокна являются одномодовыми.

В многомодовом оптическом волокне со ступенчатым профилем, моды распространяются по оптическим путям разной длины и поэтому приходят к концу световода в разное время. Эта дисперсия может быть значительно уменьшена.

В общем случае дисперсия определяется тремя основными факторами: различием в скорости распространения разных мод, направляющими свойствами оптического волокна, физическими параметрами материала волокна.

Критическая длина волны:

$$\lambda_{\text{кр}} = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2} \cdot \pi \cdot d}{P_{mn} \cdot n_1}, \text{ где } P_{mn} \text{ – табличный параметр, характеризующий тип волны(моду).}$$

#### 49. Оптические передатчики и приемники: свето- и фотодиоды, полупроводниковые лазеры. Предельная скорость передачи информации. Оптические солитоны.

Светодиод или светоизлучающий диод — полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока. Излучаемый свет лежит в узком диапазоне спектра. Его спектральные характеристики зависят во многом от химического состава использованных в нём полупроводников.

Фотодиод — приёмник оптического излучения, который преобразует попавший на его фоточувствительную область свет в электрический заряд за счёт процессов в p-n-переходе.

Полупроводниковый лазер — твердотельный лазер, в котором в качестве рабочего вещества используется полупроводник. В таком лазере, в отличие от лазеров других типов (в том числе и других твердотельных), используются излучательные переходы не между изолированными уровнями энергии атомов, молекул и ионов, а между разрешенными энергетическими зонами или подзонами кристалла.

Временное уплотнение (TDM) - увеличение частоты передачи сигналов, т.е. использование при передаче (в цифровом режиме кодирования) импульсных сигналов минимальной длительности и скважности.

Один из способов реализации принципа TDM - использование сверхкоротких (длительность  $\sim 1-10$  пс) световых импульсов - солитонов. Считается, что именно в этом случае будут достигнуты предельные ( $\sim$ Тбит/с) скорости передачи данных по одномодовому волокну.

#### 50. Реализация устойчивых одно- и многоэлектронных состояний в различных системах. Предельные размеры, быстродействие и энергозатраты. Нанотехнологии и новые материалы.

Потенциальная яма - область пространства, где присутствует локальный минимум потенциальной энергии частицы. При отклонении частицы от точки, соответствующей минимуму потенциальной энергии возникает сила, направленная в противоположную отклонению сторону. Если частица подчиняется законам квантовой механики, то даже несмотря на недостаток энергии она с определенной вероятностью может покинуть потенциальную яму (явление туннельного эффекта).

Потенциальный барьер - область пространства, разделяющая две другие области с различными или одинаковыми потенциальными энергиями. Характеризуется «высотой» - минимальной энергией классической частицы, необходимой для преодоления барьера. Если частица подчиняется квантовым законам, то даже несмотря на недостаток энергии она с определенной вероятностью может преодолеть потенциальный барьер (явление туннельного эффекта).

Минимальный размер потенциальной ямы определяется предельной локализацией частицы, которую можно оценить по периоду кристаллической решетки. Поскольку в современных системах на бит информации приходится  $> 100$  частиц, предельный размер на бит информации - 4-5 периодов решетки.

Минимальная глубина потенциальной ямы (высота потенциального барьера) определяется средней энергией теплового возбуждения частицы ( $3/2 kT$ ), которой должно быть недостаточно для покидания ямы.

Это же определяет минимальные затраты энергии ( $\sim 10^{-17}-10^{-18}$  Дж) и выделение тепла при перезаписи одного бита информации.

1998 - IBM, технология «кремний на изоляторе» (КНИ, SOI): на кремниевой пластине формируется слой SiO<sub>2</sub> (изолятор), а поверх него - тонкий слой Si.

В 2004 технологию «напряженный кремний» Intel и AMD применили для техпроцесса 90 нм. Для 65 нм была внедрена ионная имплантация германия и углерода в исток и сток. Германий «раздувает» концы транзистора и сжимает канал, что увеличивает скорость дырок (основных носителей заряда в р-канальных транзисторах). Углерод сжимает исток и сток, что растягивает n-канал, увеличивая подвижность электронов. Также весь р-канальный транзистор покрывается сжимающим слоем нитрида кремния

Для 90-нм техпроцесса толщина затвора уменьшилась до 1,2 (Intel) - 1,9 (Fujitsu) нм при периоде решетки кремния - 0,543 нм. В таких условиях электроны начинают туннелировать через диэлектрик, что приводит к утечке тока. Поэтому для 65-нм техпроцесса уменьшились все параметры транзистора, кроме толщины затвора.

За счет использования слоя оксинитрида кремния-гафния (HfSiON,  $k = 20-40$ ) толщиной 3 нм в технологическом процессе 45-нм удалось уменьшить утечки тока в 20-1000 раз.

Углеродные нанотрубки - длинные цилиндрические структуры (диаметр от одного до нескольких десятков нанометров, длина до нескольких сантиметров), состоящие из одной или нескольких свернутых в трубку гексагональных графитовых плоскостей и заканчивающиеся обычно полусферой, которая может рассматриваться как половина молекулы фуллерена.

#### 51. Вычисления в «классических» и «квантовых» компьютерах. Биты и кубиты. «Квантовые» алгоритмы.

Квантовый компьютер - вычислительное устройство, которое работает на основе квантовой механики и принципиально отличается от классических компьютеров.

Для вычислений квантовый компьютер использует не обычные (классические) алгоритмы, а квантовые алгоритмы, реализуемые в процессах квантовой природы. За счет этого используются квантовый параллелизм и квантовая запутанность.

Квантовый алгоритм - алгоритм, предназначенный для выполнения на квантовом компьютере. Квантовый алгоритм - классический алгоритм, который задает последовательность унитарных операций с указанием, над какими именно кубитами их надо совершать. Алгоритм задается либо в виде словесного описания команд, либо с помощью их графической записи в виде системы вентилей (quantum gate array).

Результат работы алгоритма всегда носит вероятностный характер. Однако за счет сравнительно небольшого увеличения числа операций в алгоритме вероятность получения правильного результата может быть сделана сколь угодно близкой к единице.

**Кубит (quantum bit) - квантовый разряд или наименьший элемент для хранения информации в квантовом компьютере.**

Как и бит, кубит допускает два собственных состояния, обозначаемых  $|0\rangle$  и  $|1\rangle$  (обозначения Дирака), но при этом может находиться и в их суперпозиции, т.е. в состоянии  $A * |0\rangle + B * |1\rangle$ , где А и В любые комплексные числа, удовлетворяющие условию нормировки  $|A|^2 + |B|^2 = 1$

## 52. Как построить квантовый компьютер? Когерентность состояний. Особенности «квантовых» вычислений. Разрушение когерентности как источник ошибок при «квантовых» вычислениях и их коррекция.

Бор постулировал, что электроны в атоме могут двигаться только по определенным (стационарным) орбитам, находясь на которых они вопреки классической физике не излучают. Излучение и поглощение происходят только в момент перехода с одной орбиты на другую. Основа квантовой механики – уравнение Шредингера, которое описывает эволюцию волновой функции квантовой системы.

Квантовая (когерентная) суперпозиция - суперпозиция состояний, которые не могут быть реализованы одновременно (с классической точки зрения – взаимоисключающих состояний). Когерентность – коррелированность (согласованность) нескольких колебательных или волновых процессов во времени, проявляющаяся при их сложении. Колебания когерентны, если разность их фаз постоянна во времени и при сложении колебаний получается колебание той же частоты.

Квантовая перепутанность (запутанность) – квантовомеханическое явление, при котором квантовые состояния двух или большего числа объектов оказываются взаимозависимыми. Источник перепутанных фотонов - нелинейный кристалл, в котором за счет спонтанного параметрического рассеяния фотонов определенной частоты рождаются два конуса излучения разной поляризации, несущие пары перепутанных фотонов (бифотонов).

Квантовая телепортация (1993) - передача квантового состояния на расстояние при помощи разъединенной в пространстве перепутанной пары и классического канала связи.

Квантовый компьютер - вычислительное устройство, которое работает на основе квантовой механики и принципиально отличается от классических компьютеров.

Для вычислений квантовый компьютер использует не обычные (классические) алгоритмы, а квантовые алгоритмы, реализуемые в процессах квантовой природы. За счет этого используются квантовый параллелизм и квантовая запутанность.

Оптически контролируемые кубиты. Тонкая пленка Si наносится на кварцевую или алмазную подложку, после чего заполняется донорами: кубитами (красные частицы) и управляющими элементами (зеленые частицы).