

Стремительное развитие и расширение областей применения электронных устройств обусловлено совершенствованием элементной базы, основу которой составляют **полупроводниковые приборы**. Поэтому, для понимания процессов функционирования электронных устройств необходимо знание устройства и принципа действия основных типов полупроводниковых приборов.

Полупроводниковые материалы по своему удельному сопротивлению занимают промежуточное место между проводниками и диэлектриками.

Основными материалами для производства полупроводниковых приборов являются кремний (Si), карбид кремния (SiC), соединения галлия и индия.

Электропроводность полупроводников зависит от наличия примесей и внешних энергетических воздействий (температуры, излучения, давления и т.д.).

Протекание тока обуславливают два типа носителей заряда – электроны и дырки. В зависимости от химического состава различают чистые и примесные полупроводники.

Для изготовления электронных приборов используют твердые полупроводники, имеющие кристаллическое строение.

Полупроводниковыми приборами называются приборы, действие которых основано на использовании свойств полупроводниковых материалов.

На основе беспереходных полупроводников

изготавливаются **полупроводниковые резисторы**:

Линейный резистор - удельное сопротивление мало зависит от напряжения и тока. Является «элементом» интегральных микросхемах.

Варистор - сопротивление зависит от приложенного напряжения.

Терморезистор - сопротивление зависит от температуры. Различают два типа: термистор (с увеличением температуры сопротивление падает) и позисторы (с увеличением температуры сопротивление возрастает).

Фоторезистор - сопротивление зависит от освещенности (излучения).

Тензорезистор - сопротивление зависит от механических деформаций.

Принцип работы большинства полупроводниковых приборов основывается на свойствах **электронно-дырочного перехода p-n – перехода**.

Полупроводниковые диоды

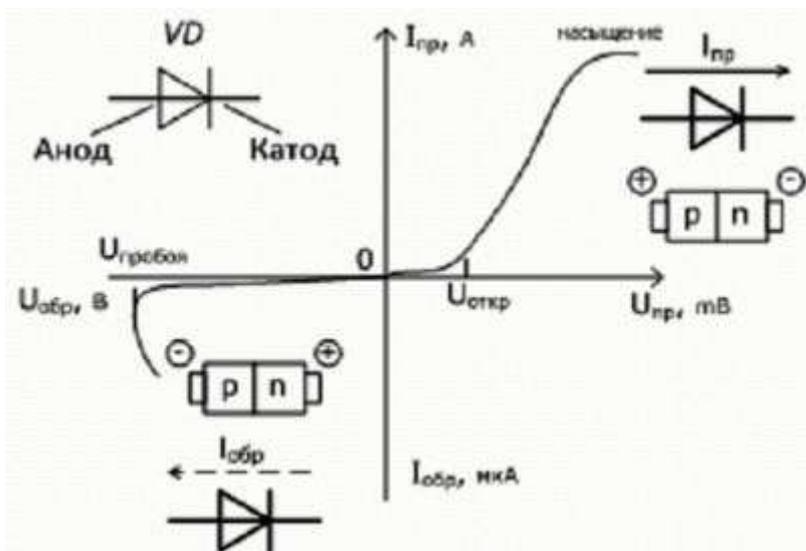
Это полупроводниковый прибор с одним p-n-переходом и двумя выводами, работа которого основана на свойствах p-n - перехода.

Основным свойством p-n – перехода является односторонняя проводимость – ток протекает только в одну сторону. Условно-графическое обозначение (УГО) диода имеет форму стрелки, которая и указывает направление протекания тока через прибор.

Конструктивно диод состоит из p-n-перехода, заключенного в корпус (за исключением микромодульных бескорпусных) и двух выводов: от p-области – анод, от n-области – катод.

Т.е. диод – это полупроводниковый прибор, пропускающий ток только в одном направлении – от анода к катоду.

Зависимость тока через прибор от приложенного напряжения называется **вольт-амперной характеристикой (ВАХ)** прибора $I=f(U)$. Односторонняя проводимость диода видна из его ВАХ (рис. 1).



В зависимости от назначения полупроводниковые диоды подразделяют на выпрямительные, универсальные, импульсные, стабилитроны и стабисторы, туннельные и обращенные диоды, светодиоды и фотодиоды.

Односторонняя проводимость определяет выпрямительные свойства диода. При прямом включении («+» на анод и «-» на катод) диод открыт и через него протекает достаточно большой прямой ток. В обратном включении («-» на анод и «+» на катод) диод заперт, но протекает малый обратный ток.

Выпрямительные диоды предназначены для преобразования переменного тока низкой частоты (обычно менее 50 кГц) в постоянный, т.е. для выпрямления. Их основными параметрами являются максимально допустимый прямой ток $I_{пр\ max}$ и максимально допустимое обратное напряжение $U_{обр\ max}$. Данные параметры называют предельными – их превышение может частично или полностью вывести прибор из строя.

С целью увеличения этих параметров изготавливают диодные столбы, сборки, матрицы, представляющие собой последовательно-параллельное, мостовое или другие соединения p-n-переходов.

Универсальные диоды служат для выпрямления токов в широком диапазоне частот (до нескольких сотен мегагерц). Параметры этих диодов те же, что и у выпрямительных, только вводятся еще дополнительные: максимальная рабочая частота (мГц) и емкость диода (пФ).

Импульсные диоды предназначены для преобразования импульсного сигнала, применяются в быстродействующих импульсных схемах. Требования, предъявляемые к этим диодам, связаны с обеспечением быстрой реакции прибора на импульсный характер подводимого напряжения - малым временем перехода диода из закрытого состояния в открытое и обратно.

Стабилитроны - это полупроводниковые диоды, падение напряжения на которых мало зависит от протекающего тока. Служат для стабилизации напряжения.

Варикапы - принцип действия основан на свойстве p-n-перехода изменять значение барьерной емкости при изменении на нем величины обратного напряжения. Применяются в качестве конденсаторов переменной емкости, управляемых напряжением. В схемах варикапы включаются в обратном направлении.

Светодиоды - это полупроводниковые диоды, принцип действия которых основан на излучении p-n-переходом света при прохождении через него прямого тока.

Фотодиоды – обратный ток зависит от освещенности p-n-перехода.

Диоды Шоттки – основаны на переходе металл-полупроводник, за счет чего обладают значительно более высоким быстродействием, нежели обычные диоды.



Транзисторы

Транзистор - это полупроводниковый прибор, предназначенный для усиления, генерирования и преобразования электрических сигналов, а также коммутации электрических цепей.

Отличительной особенностью транзистора является способность усиливать напряжение и ток - действующие на входе транзистора напряжения и токи приводят к появлению на его выходе напряжений и токов значительно большей величины.

С распространением цифровой электроники и импульсных схем основным свойством транзистора является его способность находиться в открытом и закрытом состояниях под действием управляющего сигнала.

Свое название транзистор получил от сокращения двух английских слов tran(sfer) (re)sistor - управляемый резистор. Это название неслучайно, так как под действием приложенного к транзистору входного напряжения сопротивление между его выходными зажимами может регулироваться в очень широких пределах.

Транзистор позволяет регулировать ток в цепи от нуля до максимального значения.

Классификация транзисторов:

- по принципу действия: полевые (униполярные), биполярные, комбинированные.
- по значению рассеиваемой мощности: малой, средней и большой.
- по значению предельной частоты: низко-, средне-, высоко- и сверхвысокочастотные.
- по значению рабочего напряжения: низко- и высоковольтные.
- по функциональному назначению: универсальные, усилительные, ключевые и др.
- по конструктивному исполнению: бескорпусные и в корпусном исполнении, с жесткими и гибкими выводами.

В зависимости от выполняемых функций транзисторы могут работать в трех режимах:

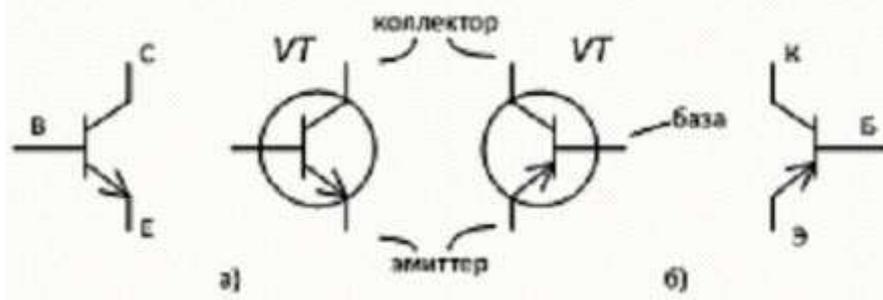
- 1) Активный режим - используется для усиления электрических сигналов в аналоговых устройствах. Сопротивление транзистора изменяется от нуля до максимального значения - говорят транзистор «приоткрывается» или «подзакрывается».
- 2) Режим насыщения - сопротивление транзистора стремится к нулю. При этом транзистор эквивалентен замкнутому контакту реле.
- 3) Режим отсечки - транзистор закрыт и обладает высоким сопротивлением, т.е. он эквивалентен разомкнутому контакту реле.

Режимы насыщения и отсечки используются в цифровых, импульсных и коммутационных схемах.

Биполярный транзистор - это полупроводниковый прибор с двумя p-n-переходами и тремя выводами, обеспечивающей усиление мощности электрических сигналов.

В биполярных транзисторах ток обусловлен движением носителей заряда двух типов: электронов и дырок, что и определяет их название.

На схемах транзисторы допускается изображать, как в окружности, так и без неё (рис. 3). Стрелка указывает направление протекания тока в транзисторе.



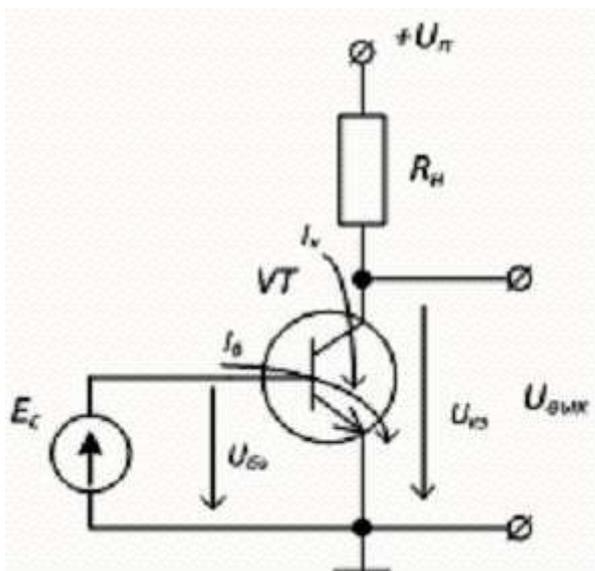
Основой транзистора является пластина полупроводника, в которой сформированы три участка с чередующимся типом проводимости - электронным и дырочным. В зависимости от чередования слоев различают два вида структуры транзисторов: n-p-n (рис. 3, а) и p-n-p (рис. 3, б).

Эмиттер (Э) - слой, являющийся источником носителей заряда (электронов или дырок) и создающий ток прибора;

Коллектор (К) – слой, принимающий носители заряда, поступающие от эмиттера;

База (Б) - средний слой, управляющий током транзистора.

При включении транзистора в электрическую цепь один из его электродов является входным (включается источник входного переменного сигнала), другой - выходным (включается нагрузка), третий электрод - общий относительно входа и выхода. В большинстве случаев используется схема с общим эмиттером (рис 4). На базу подается напряжение не более 1 В, на коллектор более 1 В, например +5 В, +12 В, +24 В и т.п.



Ток коллектора возникает только при протекании тока базы I_b (определяется $U_{бэ}$). Чем больше I_b , тем больше I_c . I_b измеряется в единицах мА, а ток коллектора - в десятках и сотнях мА, т.е. $I_b I_c$. Поэтому при подаче на базу переменного сигнала малой амплитуды, малый I_b будет изменяться, и пропорционально ему будет изменяться большой I_c . При включении в цепь коллектора сопротивления нагрузки, на нем будет выделяться сигнал, повторяющий по форме входной, но большей амплитуды, т.е. усиленный сигнал.

К числу предельно допустимых параметров транзисторов в первую очередь относятся: максимально допустимая мощность, рассеиваемая на коллекторе $P_{k.max}$, напряжение между коллектором и эмиттером $U_{кэ.max}$, ток коллектора $I_{к.max}$.

Для повышения предельных параметров выпускаются транзисторные сборки, которые могут насчитывать до нескольких сотен параллельно соединенных транзисторов, заключенных в один корпус.

Биполярные транзисторы ныне используются все реже и реже, особенно в импульсной силовой технике. Их место занимают **полевые транзисторы MOSFET и комбинированные транзисторы IGBT**, имеющие в этой области электроники несомненные преимущества.

В полевых транзисторах ток определяется движением носителей только одного знака (электронами или дырками). В отличие от биполярных, ток транзистора управляется электрическим полем, которое изменяет сечение проводящего канала.

Так как нет протекания тока во входной цепи, то и потребляемая мощность из этой цепи практически равна нулю, что несомненно является достоинством полевого транзистора.

Конструктивно транзистор состоит из проводящего канала n- или p-типа, на концах которого находятся области: исток, испускающий носители заряда и сток, принимающий носители. Электрод, служащий для регулирования поперечного сечения канала, называют затвором.

Полевой транзистор - это полупроводниковый прибор, регулирующий ток в цепи за счет изменения сечения проводящего канала.

Различают полевые транзисторы с затвором в виде p-n перехода и с изолированным затвором.

У полевых транзисторов с изолированным затвором между полупроводниковым каналом и металлическим затвором расположен изолирующий слой из диэлектрика - МДП-транзисторы (металл - диэлектрик - полупроводник), частный случай - окисел кремния - МОП-транзисторы.

МДП-транзистор со встроенным каналом имеет начальную проводимость, которая при отсутствии входного сигнала ($U_{зи} = 0$) составляет примерно половине от максимальной. В МДП-транзисторы с индуцированным каналом при напряжении $U_{зи}=0$ выходной ток отсутствует, $I_c = 0$, так как проводящего канала изначально нет.

МДП-транзисторы с индуцированным каналом называют также MOSFET транзисторы. Используются в основном в качестве ключевых элементов, например в импульсных источниках питания.

Ключевые элементы на МДП-транзисторах имеют ряд преимуществ: цепь сигнала гальванически не связана с источником управляющего воздействия, цепь управления не потребляет тока, обладают двухсторонней проводимостью.

Полевые транзисторы, в отличие от биполярных, не боятся перегрева.

Подробнее о транзисторах смотрите здесь:

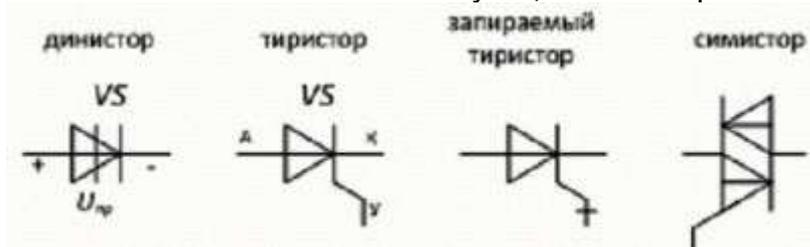
Тиристоры

Тиристор - это полупроводниковый прибор, работающие в двух устойчивых состояниях – низкой проводимости (тиристор закрыт) и высокой проводимости (тиристор открыт). Конструктивно тиристор имеет три или более p-n – переходов и три вывода.

Кроме анода и катода, в конструкции тиристора предусмотрен третий вывод (электрод), который называется управляющим.

Тиристор предназначен для бесконтактной коммутации (включения и выключения) электрических цепей. Характеризуются высоким быстродействием и

способностью коммутировать токи весьма значительной величины (до 1000 А). Постепенно вытесняются коммутационными транзисторами.



Динисторы (двухэлектродные) - как и обычные выпрямительные диоды имеют анод и катод. С увеличением прямого напряжения при определенном значении $U_a = U_{вкл}$ динистор открывается.

Тиристоры (триносторы - трехэлектродные) - имеют дополнительный управляющий электрод; $U_{вкл}$ изменяется током управления, протекающим через управляющий электрод.

Для перевода тиристора в закрытое состояние необходимо подать напряжение обратное (- на анод, + на катод) или уменьшить прямой ток ниже значения, называемого током удержания $I_{удер}$.

Запираемый тиристор – может быть переведен в закрытое состояние подачей управляющего импульса обратной полярности.

Тиристоры: принцип действия, конструкции, типы и способы включения

Симисторы (симметричные тиристоры) - проводят ток в обоих направлениях.

Тиристоры применяются в качестве бесконтактных переключателей и управляемых выпрямителей в устройствах автоматики и преобразователях электрического тока. В цепях переменного и импульсных токов можно изменять время открытого состояния тиристора, а значит и время протекания тока через нагрузку. Это позволяет регулировать мощность, выделяемую в нагрузке.