

Тема 2: «Полупроводниковые диоды»

1. Электрофизические свойства полупроводников.
2. Электронно-дырочный переход и его свойства.
3. Выпрямительные диоды, их применение, параметры, маркировка.
4. Кремниевые стабилитроны
5. Биполярные транзисторы, их устройство и принцип работы.
6. Характеристики и параметры биполярных транзисторов и их маркировка.
7. Общие сведения о полевых транзисторах.
8. Схемы включения транзисторов.
9. Общие сведения о тиристорах.

1. Электрофизические свойства полупроводников.

Проводимость полупроводниковых приборов, основана на свойстве полупроводников изменять свое сопротивление под действием различных факторов (температуры, освещенности и др.), а также на свойстве односторонней проводимости p - n перехода, образующегося на границе раздела полупроводников с различной электропроводностью (p и n).

Выпускаемые в настоящее время полупроводниковые приборы по выполняемым ими функциям могут заменить все виды электронных и ионных приборов.

Их **преимуществами** являются: значительно меньшие габариты и масса, высокий К.П.Д. из-за отсутствия подогрева одного из электродов, высокие механическая прочность (стойкость к вибрационным и ударным нагрузкам) и надежность, устойчивость к повышенным и пониженным давлениям.

К **недостаткам** полупроводниковых приборов следует отнести зависимость их параметров от температуры окружающей среды и большой разброс параметров приборов одного типа.

Полупроводниковые приборы в зависимости от наличия и числа p - n переходов делятся на следующие группы: беспереходные - резисторы; с одним переходом — диоды, стабилитроны и др.; с двумя переходами - биполярные транзисторы; с тремя переходами — тиристоры; полевые транзисторы, составляющие отдельную группу.

2. Электронно - дырочный переход и его свойства.

Если соединить два полупроводника, один из которых с электронной проводимостью, а другой – с дырочной, то в кристалле возникает внутренний ток (диффузионный). При этом дырки переходят в зону « n », а электроны - в зону « p ». По краям стыка образуется избыток дырок и электронов. На самом стыке образуется обедненная зона. От избытка дырок и электронов создается электрическое поле, препятствующее дальнейшему перетеканию дырок и электронов: потенциальный барьер (рис. 20). Но ток будет течь обратно (дрейфовый ток), он зависит от температуры, поэтому также называется тепловой ток. Соединение двух полупроводников с разной проводимостью называется p - n переходом.



Рис. 20, p - n -переход без внешнего напряжения



Рис. 21, Вольтамперная характеристика p - n перехода

Свойства p - n перехода.

К основным свойствам p - n перехода относятся:

- свойство односторонней проводимости;
- температурные свойства p - n перехода;
- частотные свойства p - n перехода;
- пробой p - n перехода.

3. Выпрямительные диоды, их применение, параметры, маркировка.

Выпрямительный диод служит для преобразования переменного тока в постоянный.

В конструкции диода имеется одна пластина кристалла полупроводника, в которой созданы две области разной проводимости (плоскостной диод). Диоды изготавливаются из кремния или германия с добавлением алюминия, индия, бора или фосфора. Кристалл помещается в металлический или пластмассовый корпус (рис. 12).



Рис. 12. Выпрямительные диоды разной мощности

При подключении диода в прямом направлении на $p-n$ переходе потенциальный барьер уменьшается, потом исчезает, ток растет. При обратном включении потенциальный барьер увеличивается, ток не идет (рис. 13).



Прохождение отрицательных полуволн

Рис. 13. Схемы включения диодов

Параметры выпрямительных диодов:

- $I_{обр}$ - постоянный обратный ток, мкА;
- $U_{пр}$ - постоянное прямое напряжение, В;
- $U_{обр макс}$ - максимально допустимое обратное напряжение, В;
- $I_{пр макс}$ - максимально допустимый прямой ток, А;
- $P_{макс}$ - максимально допустимая мощность, рассеиваемая на диоде, Вт;
- рабочая частота, Гц;
- рабочая температура, градусы Цельсия.

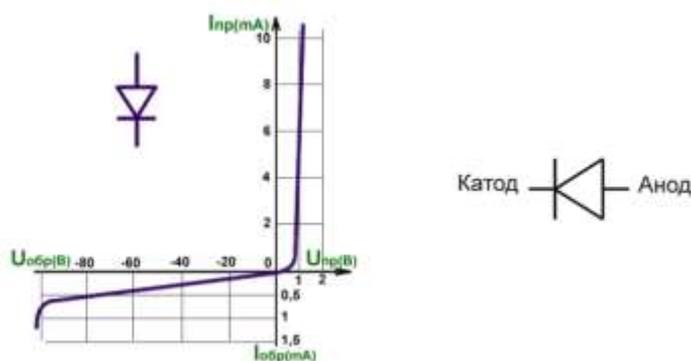


Рисунок 1 Вольт - амперная характеристика (ВАХ) диода (а) и его условное графическое обозначение (б) характеристика показывает, что при небольшом прямом напряжении $U_{пр} = 1В$ на зажимах диода в его цепи проходит относительно большой ток. Когда же к $p-n$ - переходу приложено обратное напряжение, ток очень мал, быстро достигает насыщения и не изменяется до некоторого предельного значения обратного напряжения, после чего резко возрастает. Это так называемое *напряжение пробоя*, при котором наступает пробой

$p-n$ перехода и он разрушается. Таким образом, полупроводниковый диод обладает односторонней проводимостью, т. е. является электрическим вентилем.

4. Кремниевые стабилитроны и их применение

Для работы при напряжениях, превышающих напряжение пробоя диода, предназначены специальные диоды, которые называются стабилитронами (Zener diode).

В этом случае область обратных напряжений, при которой наступает пробой, называется областью стабилизации.

Когда обратное напряжение достаточно велико, чтобы вызвать пробой стабилитрона, через него течет высокий обратный ток. До наступления пробоя обратный ток невелик, после резко возрастает. Это происходит потому, что сопротивление стабилитрона уменьшается при увеличении обратного напряжения.

Стабилитроны выпускают с определенным напряжением пробоя, которое называют **напряжением стабилизации U_c** .

При достижении обратным напряжением некоторого критического значения Акр обратный ток возрастает. Этот режим называется пробоем р — n перехода. Различают два вида пробоя: электрический и тепловой. Электрический пробой не опасен для р — n перехода: при отключении источника обратного напряжения вентильные свойства электронно - дырочного перехода полностью восстанавливаются. Тепловой пробой приводит к разрушению кристалла и является аварийным режимом. Он возникает при недостаточном охлаждении кристалла. Для борьбы с тепловым пробоем полупроводниковые приборы снабжаются устройствами, повышающими теплоотдачу. Электронно - дырочный переход составляет основу полупроводникового прибора.

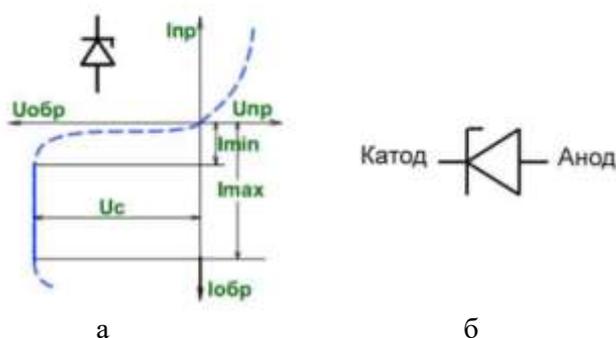


Рис. 10. Вольтамперная характеристика (ВАХ) стабилитрона (а) и его условное графическое обозначение (б)

Корпуса стабилитронов имеют такую же форму, как и у обычных диодов. Маломощные стабилитроны выпускаются в корпусах из стекла или эпоксидной смолы, а мощные — в металлическом корпусе с винтом.



Рис. 11. Полупроводниковые стабилитроны. Стабилитроны используют для стабилизации напряжения.

На рис. 12 показана типичная регулирующая цепь со стабилитроном.

Стабилитрон VD соединен последовательно с резистором R . Резистор обуславливает прохождение через стабилитрон рабочего тока (при котором стабилитрон работает в режиме пробоя (стабилизации)). Входное постоянное напряжение $U_{вх}$ должно быть выше напряжения стабилизации U_c стабилитрона. Падение напряжения на стабилитроне равно напряжению стабилизации стабилитрона: $U_{вх} = U_c$. Падение напряжения на резисторе равно разности входного напряжения и напряжения стабилизации: $U_R = U_{вх} - U_c$.

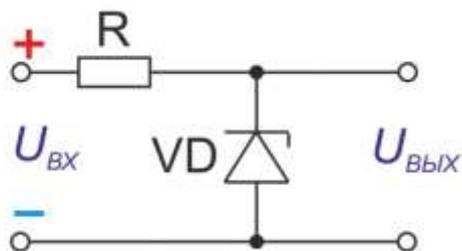


Рис 12 Стабилизация напряжения

Входное напряжение может увеличиваться или уменьшаться, что обуславливает соответствующее увеличение или уменьшение тока через стабилитрон. Когда стабилитрон работает при напряжении стабилизации (в области пробоя), при увеличении входного напряжения через него может идти большой ток. Однако напряжение на стабилитроне останется прежним.

Стабилитрон оказывает противодействие увеличению входного напряжения, так как при увеличении тока его удельное

сопротивление падает, что позволяет выходному напряжению на стабилитроне оставаться постоянным при изменениях входного напряжения. Изменение входного напряжения проявляется только в изменении падения напряжения на последовательно включенном резисторе. Сумма падений напряжения на этом резисторе и стабилитроне равна входному напряжению.

Выходное напряжение снимается со стабилитрона и может быть увеличено или уменьшено путем замены стабилитрона и включенного последовательно с ним резистора.

5. Биполярные транзисторы, их устройство и принцип работы.

В 1948 г. Джон Бардин, Уолтер Браттейн и Уильям Шокли в лабораториях фирмы Bell изготовили первый работающий транзистор.

Наверное, ни одно из открытий современной физики не повлияло столь непосредственно на жизнь людей, как транзистор. Благодаря своим преимуществам перед электронной лампой транзистор совершил революцию в области электронных средств связи и обеспечил создание и широкое использование быстродействующих ЭВМ с большим объемом памяти.

Транзистором называется полупроводниковый прибор с двумя *p-n* переходами, предназначенный для усиления и генерирования электрических колебаний и представляющий собой пластину кремния или германия, состоящую из трех областей. Две крайние области всегда обладают одинаковым типом проводимости, а средняя - противоположной проводимостью. Транзисторы, у которых крайние области обладают электронной проводимостью, а средняя - дырочной проводимостью, называются транзисторами *n-p-n* - типа (рис. 13); транзисторы, у которых крайние области обладают дырочной, а средняя электронной проводимостями - транзисторами *p-n-p* - типа (рис. 14).

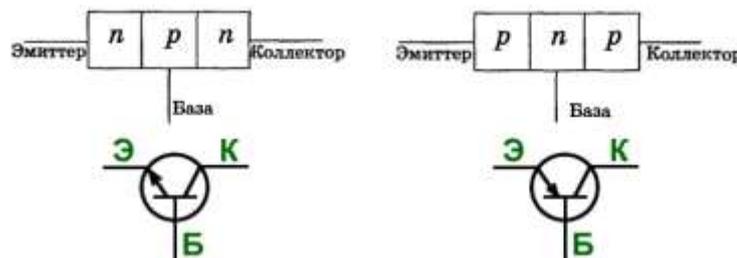


Рис. 13. Транзистор *n-p-n*

Рис. 14. Транзистор *p-n-p*

Физические процессы, происходящие в транзисторах двух типов, аналогичны и различие между ними заключается в том, что полярности включения источников питания их противоположны, а также в том, что если в транзисторе *n-p-n* - типа электрический ток создается в основном электронами, то в транзисторе *p-n-p* - типа - дырками.

Смежные области, отделенные друг от друга *p-p*-переходами, называются эмиттером *Э*, базой *Б* и коллектором *К*.

Эмиттер является областью, испускающей (эмиттирующей) носители зарядов электронов в транзисторе *n-p-n*-типа и дырок в транзисторе *p-n-p*-типа, **коллектор** - область, собирающая носители зарядов, **база** средняя область, основание.

В условиях работы транзистора к левому *p-p*-переходу прикладывается напряжение эмиттер - база *U_{эб}* в прямом направлении, а к правому *p-p*-переходу - напряжение база - коллектор *U_{кб}* - в обратном.

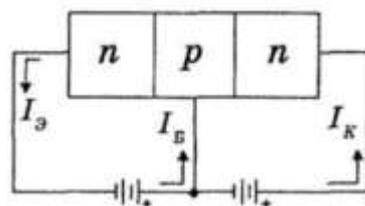


Рис. 15. Схема включения

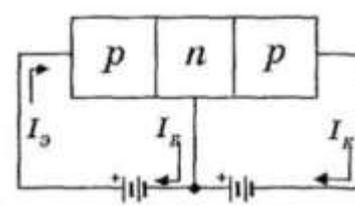


Рис. 16. Схема включения

транзистора структуры *n-p-n* транзистора структуры *p-n-p*

Под действием электрического поля большая часть носителей зарядов из левой области (эмиттера), преодолевая *p-n*-переход, переходит в очень узкую среднюю область (базу). Далее большая часть носителей зарядов продолжает двигаться ко второму переходу и, приближаясь к нему, попадает в электрическое поле, созданное внешним источником *U_{кб}*.

Под влиянием этого поля носители зарядов втягиваются в правую область (коллектор), увеличивая ток в цепи батареи *U_{кб}*.

Если увеличить напряжение $U_э$, то возрастет количество носителей зарядов, перешедших из эмиттера в базу, т. е. увеличится ток эмиттера на некоторую величину $I_э$. При этом также увеличится ток коллектора на величину $I_к$.

В базе незначительная часть носителей зарядов, перешедших из эмиттера, рекомбинирует со свободными носителями зарядов противоположной полярности, убыль которых пополняется новыми носителями зарядов из внешней цепи, образующими ток базы $I_б$.

Таким образом, ток коллектора $I_к = I_э - I_б$ окажется меньше тока эмиттера, незначительно отличаясь от последнего. Отношение $\alpha = \Delta I_к / \Delta I_э$ при $U_к = const$ называется коэффициентом усиления по току и обычно имеет значение $= 0,9 \div 0,995$.

Если цепь эмиттер - база разомкнута и ток в ней равен нулю $I_э = 0$, а между коллектором и базой приложено напряжение $U_к$, то в цепи коллектора будет проходить небольшой обратный (тепловой) ток $I_{к0}$, обусловленный неосновными носителями зарядов. Этот ток в сильной степени зависит от температуры и является одним из параметров транзистора (меньшее его значение соответствует лучшим качествам транзистора).

Так как левый (эмиттерный) $p-n$ -переход находится под прямым напряжением, то он обладает малым сопротивлением. На правый же (коллекторный) $p-n$ -переход воздействует обратное напряжение, и он имеет большое сопротивление. Поэтому напряжение, прикладываемое к эмиттеру, весьма мало (десятые доли вольта), а напряжение, подаваемое на коллектор, может быть достаточно большим (до нескольких десятков вольт).

Изменение тока в цепи эмиттера, вызванное малым напряжением $U_э$, создает примерно такое же изменение тока в цепи коллектора, где действует значительно большее напряжение $U_к$, в результате чего транзистор осуществляет усиление мощности.

Устройство биполярных транзисторов

Устройство плоскостного германиевого транзистора $p-n-p$ -типа показано на рис. 20.

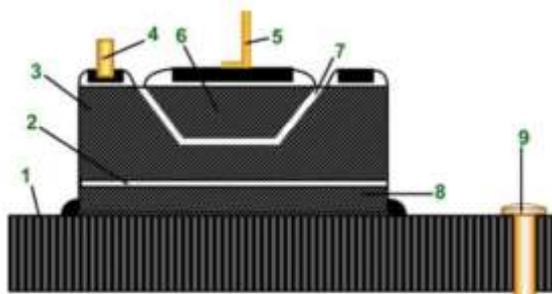


Рис. 20. Устройство транзистора: 1 - кристаллодержатель; 2 - коллекторный переход; 3 - база; 4 - вывод базы; 5 - вывод эмиттера; 6 - эмиттер; 7 - эмиттерный переход; 8 - коллектор.

Базой является пластина 3 из кристаллического германия с электронной проводимостью. С двух сторон в пластину вплавлены индиевые электроды, служащие эмиттером 6 и коллектором 8. При плавлении индия между каждым из этих электродов и германиевой пластиной - базой образуются области с дырочной проводимостью и создаются эмиттерный 7 и коллекторный 2 $p-n$ -переходы. Коллектор 8 крепится на кристаллодержателе 1, от которого наружу проходит вывод коллектора 9. Выводы от эмиттера 5 и базы 4 изолированы от корпуса стеклянными проходными изоляторами. Транзистор помещается в металлический корпус.



Рис. 21. Биполярные транзисторы

Достоинства и недостатки биполярных транзисторов.

Транзисторы по сравнению с электронными лампами имеют следующие **преимущества**: большую механическую прочность и долговечность, постоянную готовность к работе, малые габариты и массу, низкое напряжение питания и высокий КПД; кроме того, отсутствует цепь накала и, следовательно, упрощена схема и нет потребления мощности для разогрева катода.

К недостаткам транзисторов относится зависимость режима работы его от температуры окружающей среды, небольшая выходная мощность, чувствительность к перегрузкам, разброс параметров, вследствие которого отдельные транзисторы одного типа значительно отличаются друг от друга по своим параметрам, большое различие между входными и выходными сопротивлениями.

6. Характеристики и параметры биполярных транзисторов и их маркировка.

Характеристиками транзистора называются зависимости между токами и напряжениями во входной и выходной цепях. При разных схемах включения транзистора входные и выходные цепи различны, следовательно, и характеристики представляют собой зависимости различных величин для каждой схемы включения.

Так, для схемы с общим эмиттером ОЭ входной цепью является цепь базы и **входная характеристика** отражает зависимость **тока базы от напряжения эмиттер - база** при постоянном напряжении между эмиттером и коллектором, т. е. $I_B = f(U_{БЭ})$ при $U_{КЭШ} = const$.

Выходной цепью для этой схемы является цепь коллектора и **выходной характеристикой** - зависимость **тока коллектора от напряжения эмиттер - коллектор** при неизменном токе базы, т. е.

$$I_K = f(U_{ЭК}) \text{ при } I_B = const.$$

Статические характеристики транзистора типа р-п-р, включенного по схеме с общим эмиттером.

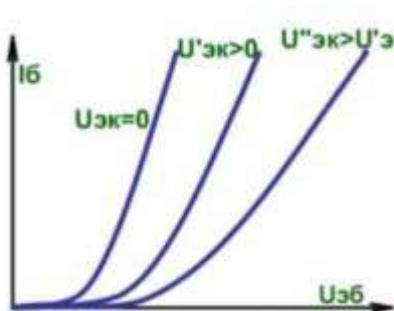


Рис. 18. Входные характеристики.

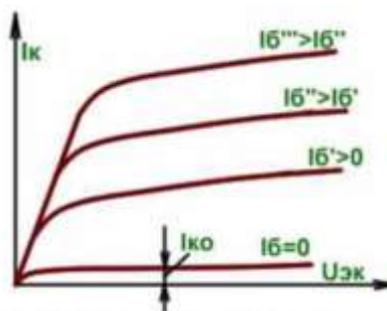


Рис. 19. Выходные характеристики.

На рисунках 18 и 19 показан примерный вид входных и выходных характеристик транзистора типа р-п-р.

При малых значениях напряжения между эмиттером и базой ($U_{БЭ}$) ток базы растет медленно из-за большого сопротивления р-п-перехода, которое с увеличением тока уменьшается.

С увеличением коллекторного напряжения $I_{ЭК}$ входные характеристики смещаются вправо, т. е. с увеличением $U_{ЭК}$ необходимо повысить напряжение $U_{БЭ}$, для того чтобы ток базы остался неизменным. Выходные характеристики показывают, что в рабочей области напряжение $U_{ЭК}$ незначительно влияет на коллекторный ток I_K , так как в основном он зависит от количества дырок, инжектируемых в базу, т. е. от тока эмиттера.

7. Устройство и принцип действия полевых транзисторов.

В полевых транзисторах используют эффект воздействия поперечного электрического поля на проводимость канала, по которому движутся носители электрического заряда

Полевые канальные транзисторы имеют существенные преимущества, к которым прежде всего относятся:

- большое входное сопротивление приборов ($10^{10} - 10^{15} \text{ Ом}$);
- большая устойчивость к проникающим излучениям (допускается уровень излучения на 3-4 порядка больший, чем для биполярных транзисторов);
- малый уровень собственных шумов, малое влияние температуры на усилительные свойства.

Полевые транзисторы изготавливают двух типов:

- с затвором в виде р-п-перехода;
- с изолированным затвором.

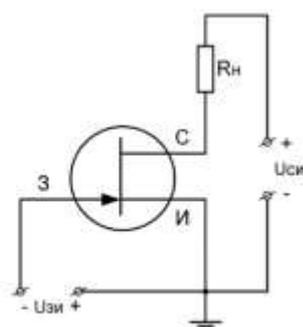
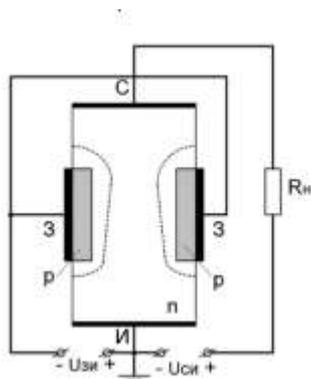


Рисунок 22. Схематическое изображение и схема включения полевого транзистора с р-п-переходом и р-затвором: И — исток; С — сток.

Устройство транзистора с затвором в виде р-п-перехода схематично представлено на рис. 22. Основу прибора составляет слаболегированная полупроводниковая

пластина n -типа, к торцам которой приложено напряжение U_c , создающее ток I_c через сопротивление нагрузки R_n .

В полупроводниковой пластине этот ток обеспечивается движением основных носителей заряда. Торце пластины, от которого движутся носители заряда, называется истоком. Торце, к которому движутся носители заряда, — стоком.

В две противоположные боковые поверхности основной n -пластины вплавлены пластинки типа p .

На границе раздела пластин n и p возникают электронно-дырочные переходы.

Принцип действия полевого транзистора основан на изменении ширины обедненного слоя при изменении обратного напряжения p - n перехода.

Работу полевого транзистора принято характеризовать зависимостью тока стока I_c от напряжения между истоком и стоком U_c при различных значениях напряжения на затворе U_3 .

Эта зависимость аналогична анодной характеристике усилительной лампы. Семейство характеристик полевого транзистора с затвором и в виде p - n перехода изображено на рис. 23.

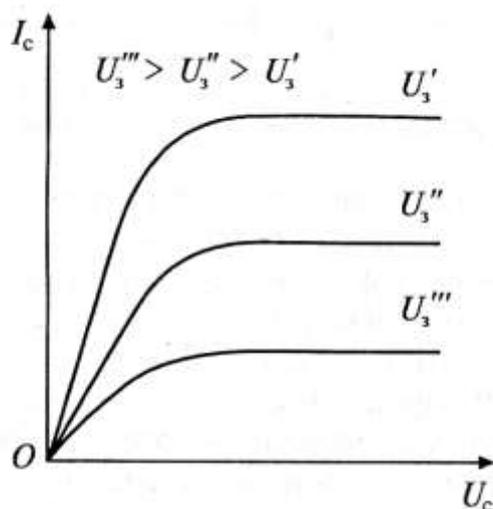


Рис. 23. Семейство ВАХ полевого транзистора с затвором в виде p - n перехода

Сначала с увеличением U_c ток I_c нарастает практически линейно. Затем наступает режим насыщения и увеличение U_c не приводит к росту тока.

Устройство полевого транзистора с изолированным затвором схематически показано на рис. 24. Основу прибора составляет пластина полупроводника p -типа. На небольшом расстоянии друг от друга в поверхность основной пластины вплавляют донорную примесь.

Затем поверхность пластины кремния подвергают термической обработке, в результате чего на ней наращивается тонкий (0,1 мкм) слой диоксида, являющегося хорошим изолятором. На слой изолятора накладывают металлическую пластину затвора, перекрывающую области донорной примеси n .

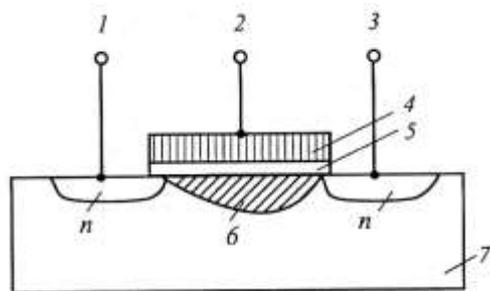


Рис. 24. Схематическое изображение полевого транзистора с изолированным затвором: 1 — исток; 2 — затвор; 3 — сток; 4 — металл; 5 — диэлектрик; 6 — канал n -типа; 7 — полупроводник p -типа

Транзисторы с изолированным затвором чаще называют транзисторами типа МДП (металл—диэлектрик—полупроводник). Упрощенно принцип его работы можно представить следующим образом.

При отсутствии напряжения на затворе области n истока и стока разделены непроводящей прослойкой основной пластины. При подаче на затвор положительного напряжения электроны вытягиваются из основной пластины и скапливаются под изолирующей прослойкой. При определенной разности потенциалов концентрация электронов под диэлектриком превысит концентрацию дырок и области n будут соединены проводящим электронным каналом.

В рассмотренном случае проводящий канал между истоком и стоком индуцируется напряжением затвора. Разновидностью МДП-транзисторов являются конструкции, при которых канал встраивается в процессе изготовления прибора путем введения соответствующих примесей. Напряжение затвора меняет концентрацию носителей и проводимость встроенного канала.

Полевые транзисторы могут быть изготовлены и на основе пластин n -типа.

8. Схемы включения транзисторов.

При работе транзистора в качестве усилителя электрических колебаний входное переменное напряжение $U_{вх}$ (сигнал, подлежащий усилению) подают последовательно с источником постоянного напряжения смещения $U_{см}$ между эмиттером и базой, а выходное напряжение $U_{вых}$ (усиленный сигнал) снимается с нагрузочного резистора R_n .

Возможны три схемы включения транзисторов, рассмотрим их на примере транзистора структуры $n-p-n$ (рис. 17):

- с общей базой **ОБ** (а);
- с общим эмиттером **ОЭ** (б);
- общим коллектором **ОК** (в).

Название схемы показывает, какой электрод транзистора является общим для входной и выходной цепей. Схемы включения транзисторов отличаются своими свойствами, но принцип усиления колебаний остается одинаковым.

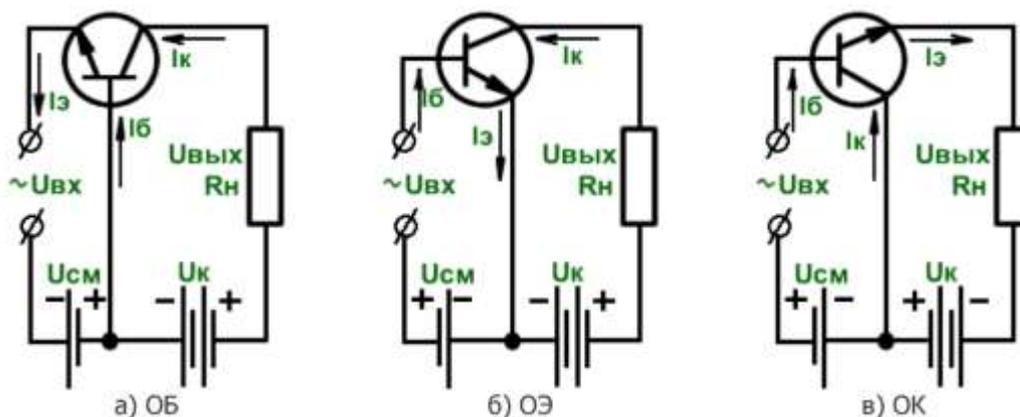


Рис. 17. Схемы включения транзистора структуры $n-p-n$.

Схема с общей базой (ОБ)

В схеме с общей базой положительное приращение напряжения на входе $\Delta U_{вх}$ вызывает увеличение тока эмиттера $I_э$, что приводит к увеличению как тока коллектора $I_к$, так и напряжения выхода $\Delta U_{вых}$, причем $\Delta U_{вых} \gg \Delta U_{вх}$.

В схеме с **ОБ** источник входного напряжения включен в цепь эмиттер - база, а нагрузка и источник питания - в цепь коллектор - база.

Входное сопротивление схемы с **ОБ** мало (несколько ом или десятков Ом), так как эмиттерный переход включен в прямом направлении.

Выходное сопротивление схемы, наоборот, велико (сотни кОм), так как коллекторный переход включён в обратном направлении.

Малое входное сопротивление схемы с **ОБ** является существенным ее недостатком, ограничивающим применение ее в усилителях. Через источник входного сигнала в этой схеме проходит весь ток эмиттера, и усиления по току не происходит (коэффициент усиления по току $\alpha < 1$). Усиление по напряжению и по мощности в этой схеме может достигать нескольких сотен.

Схема с общим эмиттером (ОЭ)

В схеме с общим эмиттером **ОЭ** источник входного напряжения включен в цепь эмиттер - база, а сопротивление нагрузки R_n и источник питания - в цепь эмиттер - коллектор, так что эмиттер является общим электродом для входной и выходной цепей.

Входное сопротивление схемы с **ОЭ** больше, чем у схемы с **ОБ**, так как входным током в ней является ток базы, который много меньше тока эмиттера и тока коллектора. Это сопротивление составляет сотни Ом. Выходное сопротивление схемы с **ОЭ** велико и может составлять до ста кОм.

Схема с общим коллектором (ОК)

В схеме с общим коллектором **ОК** источник входного напряжения включается в цепь базы, а источник питания и сопротивление нагрузки - в цепь эмиттера. Входным током является ток базы, а выходным - ток эмиттера.

Коэффициент усиления по току для этой схемы

$$K_i = \Delta I_э / \Delta I_б = \Delta I_э / (\Delta I_э - \Delta I_к) = 1 / (1 - \alpha).$$

Входное сопротивление схемы с **ОК** велико (десятки кОм), а выходное сопротивление мало (до $1 \div 2$ кОм).

Коэффициент усиления по напряжению схемы с общим коллектором

$$\text{ОК} - K_u = 0,9 \div 0,95,$$

т. е. близок к единице, и эту схему часто называют *эмиттерным повторителем*.

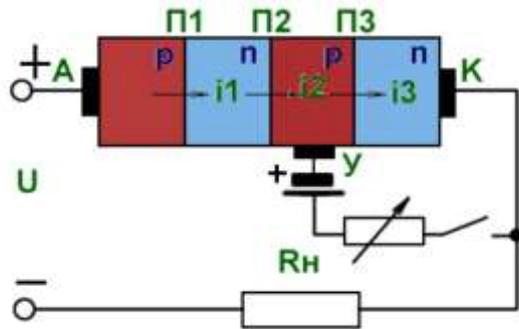
Схема с общим коллектором **ОК** используется для согласования отдельных каскадов усиления, источника сигнала или нагрузки с усилителем.

9. Назначение, устройство и принцип работы тиристоров

Четырехслойный кремниевый вентиль с двумя электродами (анодом и катодом) называется *динистором*. Если кроме анода и катода имеется третий (управляющий) электрод, то вентиль становится управляемым и называется тиристором.

Тиристор, а также динистор имеют четыре слоя *p-n-p-n* (рис. 25), между которыми находятся три *p-n* перехода **П1**, **П2**, **П3**. У тиристора от средней области *p* имеется вывод - управляющий электрод **У**.

Если между анодом и катодом вентилья приложено небольшое постоянное напряжение в прямом направлении, то переходы **П1** и **П3** будут открытыми и их сопротивление мало. Переход **П2** будет включен в обратном (непроводящем) направлении и его сопротивление велико, так что всё приложенное к тиристорыу напряжение будет практически на переходе **П2**, а ток в цепи мал.



При повышении напряжения U на тиристоре ток в цепи увеличивается незначительно, так как ограничивается большим сопротивлением перехода **П2** и вольтамперная характеристика тиристора будет подобна обратной ветви характеристики диода (кривая **Оа** на рис. 26).

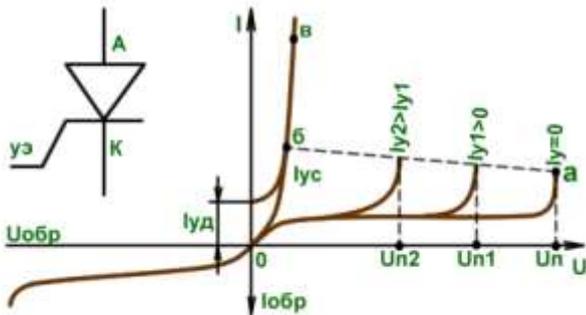


Рис. 25. Схема устройства тиристора

Если напряжение достигнет некоторого определенного значения, называемого напряжением переключения $U_{пер}$, то в переходе **П2** напряженность электрического поля становится достаточной для ионизации и образования новых свободных носителей зарядов (электронов и дырок), его сопротивление резко уменьшается и тиристор открывается. Напряжение на открытом тиристоре (участок **бв** вольтамперной характеристики) мало (порядка 1÷2 В) и почти неизменно, так что ток в цепи ограничивается сопротивлением внешней нагрузки.

Рис. 26. Вольтамперная характеристика (ВАХ) тиристора и его условное обозначение

Наибольший ток тиристора лимитируется предельно допустимой мощностью, рассеиваемой им. Если уменьшать ток через открытый тиристор, то он будет оставаться открытым до тех пор, пока ток в тиристоре достаточен для поддержания процесса образования носителей зарядов в переходе **П2**. При токе, меньше определенного значения, называемого током удержания $I_{уд}$, тиристор закрывается, т. е. возвращается в непроводящее состояние.

Если на управляющий электрод подать положительный потенциал от постороннего источника, то в переходе **П3** возникнет ток управления и появятся дополнительные носители зарядов, вследствие чего уменьшится напряжение переключения этого перехода и тиристор открывается при меньшем напряжении U_{n1} . Чем больше ток управления I_y , тем больше дополнительных зарядов в переходе **П3** и меньше напряжение переключения тиристора.

При определенном значении тока управления, называемом током спрямления I_{cy} тиристор будет работать как *неуправляемый вентиль*, т. е. будет открыт при любом положительном напряжении на его аноде.

Таким образом, тиристор открывается как при подаче на его анод напряжения переключения, так и при включении тока управления достаточной величины I_y .

Тиристоры имеют два устойчивых состояния: при закрытом тиристоре его сопротивление очень велико ($R \sim \infty$), при открытом - мало ($R \sim 0$). Поэтому тиристоры находят применение как бесконтактные переключатели в инверторах, регулируемых выпрямителях, в схемах защиты и т. д.

ТЕМА 2

1. Из чего изготавливаются диоды?
2. Что происходит с потенциальным барьером при подключении диода в прямом и обратном направлении?
3. Перечислите параметры выпрямительных диодов.

4. Что такое напряжение пробоя?
5. Как называются специальные диоды работающие при напряжениях, превышающих напряжение пробоя диода?
6. На чём основана проводимость полупроводниковых приборов?
7. Перечислите преимущества полупроводниковых приборов
8. Перечислите недостатки полупроводниковых приборов
9. На какие группы делятся полупроводниковые приборы в зависимости от наличия и числа *p-n* переходов?
10. Как возникает внутренний ток (диффузионный)?
11. Где в полупроводниках образуется обедненная зона?
12. Назовите свойства *p-n* перехода.
13. Для чего предназначен Выпрямительный диод?
14. Конструкция диода.
15. Что называется областью стабилизации диода?
16. Какой режим называется пробоем *p — n* перехода?
17. Когда возникает тепловой пробой, его последствия?
18. Что применяют для борьбы с тепловым пробоем?
19. Что позволяет выходному напряжению на стабилитроне оставаться постоянным при изменениях входного напряжения?
20. Какой полупроводниковый прибор называется транзистором?
21. Что представляет собой транзистор?
22. Какие полупроводниковые приборы, называется транзисторами *n-p-n* – типа?
23. **Какие** полупроводниковые приборы, называется транзисторами *p-n-p* – типа?
24. Какой областью в транзисторе *n-p-n*-типа является эмиттер?
25. Какой областью в транзисторе *p-n-p*-типа является эмиттер?
26. Какой областью в транзисторе является коллектор?
27. Какой областью в транзисторе является база?
28. Чему равен ток коллектора I_k ?
29. Отношение $\alpha = \Delta I_k / \Delta I_{\text{Э}}$ при $U_k = \text{const}$ называется.....
30. Каким образом транзистор осуществляет усиление мощности?
31. Назовите преимущества транзисторов по сравнению с электронными лампами.
32. Перечислите недостатки транзисторов.
33. На чём основан принцип действия полевого транзистора?
34. Как называют транзисторы с изолированным затвором?
35. Какие схемы включения транзисторов вы знаете?
36. Дайте определение тиристора.
37. Сколько слоёв имеет тиристор и динистор?
38. Назовите область применения тиристоров?