

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Электротехника и электроника»

ЭЛЕКТРОНИКА

Часть I

ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Учебное пособие

для студентов электротехнических специальностей

Учебное электронное издание

М и н с к 2 0 1 2

УДК 621.38 (075.8)
ББК 32.85я7

А в т о р ы :

Ю.В. Бладыко, Т.Е. Жуковская

Р е ц е н з е н т ы :

О.И.Александров, доцент кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», кандидат технических наук;
М.И.Полуянов, доцент Авиационного колледжа, кандидат технических наук

В учебном пособии дано изложение основных элементов современной электронной техники. Рассмотрены основы функционирования, строения и применения полупроводниковых и оптоэлектронных приборов, приведены их основные характеристики и параметры. Большое внимание уделено маркировке и условно графическому обозначению электронных приборов.

Предложенный материал является базовой основой для дальнейшего изучения устройств аналоговой и цифровой электроники. Соответствует программам изучения дисциплин «Основы электроники», «Промышленная электроника», «Электротехника и электроника», «Электротехника и промышленная электроника», «Электроника и информационно-измерительная техника».

Белорусский национальный технический университет
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.(017)292-71-93
E-mail: eie@bntu.by
<http://www.electro.bntu.edu.by/>
Регистрационный № БНТУ/ЭФ39-39.2012

© Ю.В. Бладыко, Т.Е. Жуковская, 2012
© Т.Е. Жуковская компьютерный дизайн, 2012
© БНТУ, 2012

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

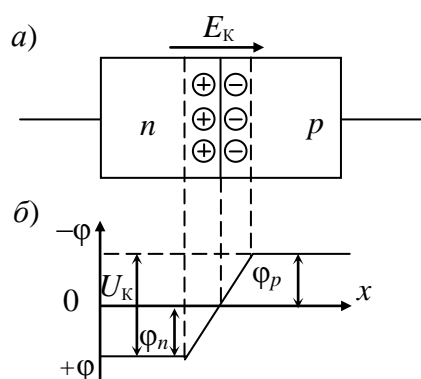
К полупроводниковым относятся материалы, которые при комнатной температуре имеют удельное сопротивление $\rho = 10^{-3} \dots 10^{10}$ Ом·см, зависящее от температуры, освещенности, ионизирующего излучения, электрического поля и др.

Для изготовления полупроводниковых приборов применяют простые полупроводниковые вещества – германий, кремний, селен – и некоторые химические соединения, например, арсенид галлия *GaAs*, антимонид индия *InSb*, фосфид индия *InP*, карбид кремния *SiC*.

Полупроводники имеют кристаллическую структуру, которая однородна при температуре абсолютного нуля. По мере нагрева часть валентных связей нарушается вследствие тепловых колебаний в кристаллической решетке, что приводит к одновременному образованию свободных электронов и незаполненных связей (дырок). Генерация пар носителей заряда может происходить также под действием света, электрического поля, излучения и др. Электропроводность собственного полупроводника, обусловленную парными носителями заряда (электронами и дырками), называют собственной. Вводя в собственный полупроводник примеси, получают примесную электропроводность. Донорные примеси, атомы которых отдают электроны, образуют полупроводники с преобладающей электронной электропроводностью (*n*-типа). Полупроводники с преобладающей дырочной электропроводностью называют полупроводниками *p*-типа, а соответствующие примеси – акцепторами.

Область на границе контакта двух полупроводников с противоположным типом электропроводности называется электронно-дырочным или *n-p*-переходом. Переход обладает несимметричной проводимостью, т. е. имеет нелинейное сопротивление. Работа большинства полупроводниковых приборов (диодов, тиристоров и др.) основана на использовании свойств *n-p*-переходов.

Рассмотрим процессы в *n-p*-переходе при отсутствии внешнего источника напряжения (рис. 1.1). Так как носители заряда совершают беспорядочное тепловое движение, то происходит их диффузия из одного полупроводника в другой. Концентрация электронов в *n*-слое больше, чем в *p*-слое, и часть электронов перейдет из *n*-слоя в *p*-слой. Одновременно наблюдается диффузионный переход дырок из *p*-слоя в *n*-слой.



В результате в *n*-слое остается нескомпенсированный объемный заряд положительных ионов (в основном донорной примеси), а в *p*-слое – нескомпенсированный объемный заряд отрицательных ионов акцепторной примеси. Между образовавшимися объемными зарядами возникает контактная разность потенциалов $U_k = \phi_n - \phi_p$ и электрическое

Рис. 1.1

поле напряженностью E_k . На потенциальной диаграмме n - p -перехода (рис. 1.1, б) за нулевой потенциал принят потенциал граничного слоя. В n - p -переходе возникает потенциалный барьер, препятствующий диффузионному перемещению носителей заряда. Высота барьера равна контактной разности потенциалов и обычно составляет десятые доли вольта. На рис. 1.1, б изображен барьер для дырок, стремящихся за счет диффузии перемещаться из области p в область n .

Таким образом, в n - p -переходе вследствие ухода электронов и дырок вглубь p - и n -областей образуется обедненный зарядами слой, называемый **запирающим** и обладающий большим сопротивлением в сравнении с сопротивлением остальных объемов n - и p -областей.

Если источник внешнего напряжения положительным полюсом подключить к полупроводнику p -типа и отрицательным к n -типа (прямое включение), то электрическое поле, создаваемое в n - p -переходе прямым напряжением $U_{пр}$, действует навстречу контактной разности потенциалов U_k . Потенциальный барьер понижается до величины $U_k - U_{пр}$, уменьшаются толщина запирающего слоя и его сопротивление $R_{пр}$.

Если полярность внешнего источника изменить на обратную, то потенциальный барьер возрастает до величины $U_k + U_{обр}$. В этом случае через переход могут пройти только неосновные носители: электроны из p -области в n -область и дырки во встречном направлении. Так как концентрация основных носителей заряда на несколько порядков выше концентрации неосновных, то прямые токи на несколько порядков больше обратных. Электронно-дырочный переход обладает **выпрямляющими** свойствами, которые используются для создания диодов.

1. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

На рис. 1.2 представлена классификация и условные графические обозначения полупроводниковых диодов.

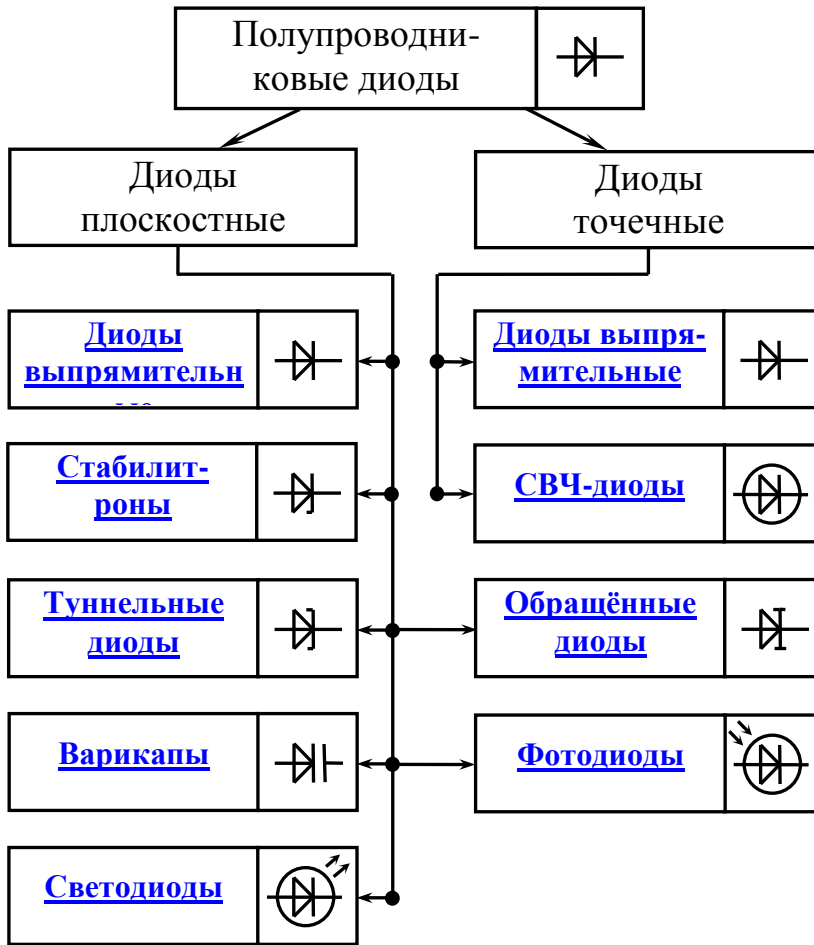


Рис. 1.2 Классификация и условные графические обозначения полупроводниковых диодов

Диод – полупроводниковый прибор с одним *n-p*-переходом и двумя внешними выводами **анод** и **катод**. По назначению диоды делят на выпрямительные, высокочастотные, импульсные, стабилитроны и т.д. Их изготавливают на основе германия или кремния. По технологии исполнения различают точечные, плоскостные (сплавные) и диффузионные диоды. Точечный диод получают при вращении металлической проволоки в пластину полупроводника.

Плоскостные диоды получают при сплавлении пластин либо внесении примеси посредством диффузии.

Выпрямительные диоды предназначены для преобразования переменного тока низкой частоты в постоянный ток. Вольтамперная характеристика (ВАХ) выпрямительного диода, его условное графическое изображение и буквенное обозначение приведены на рис. 1.3. Основные параметры выпрямительного диода: предельно допустимый постоянный ток диода $I_{пр.мах}$ и максимально допустимое обратное напряжение $U_{обр.мах}$.

Стабилитрон представляет собой кремниевый полупроводниковый диод, который нормально работает при электрическом

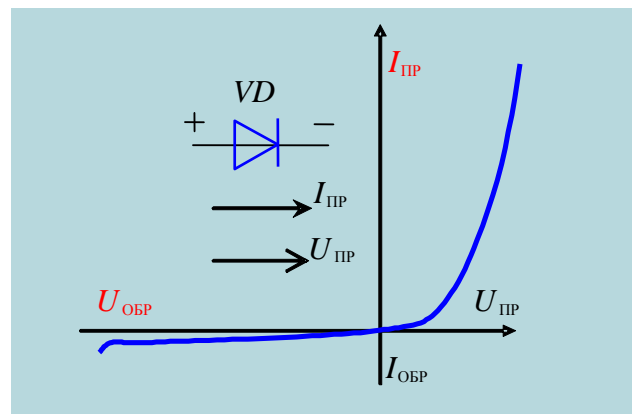


Рис. 1.3

пробое n - p -перехода. При этом напряжение на диоде незначительно зависит от протекающего тока. Электрический пробой не вызывает разрушения перехода, если ограничить ток до допустимой величины. Стабилитроны применяют для стабилизации постоянного напряжения. ВАХ стабилитрона и его условное графическое обозначение приведены на рис. 1.4.

Основные параметры стабилитрона: напряжение стабилизации $U_{ст.ном}$, минимальный $I_{ст.min}$ и максимальный $I_{ст.max}$ токи стабилизации, максимальная мощность $P_{ст.max}$.

Светодиод

– полупроводниковый прибор с одним или несколькими электрическими переходами, преобразующий электрическую энергию в энергию обычного светового излучения. Явление свечения в светодиоде называется инжекционной электролюминесценцией. Основой светодиода является p - n - переход, смещенный внешним источником напряжения в проводящем направлении.

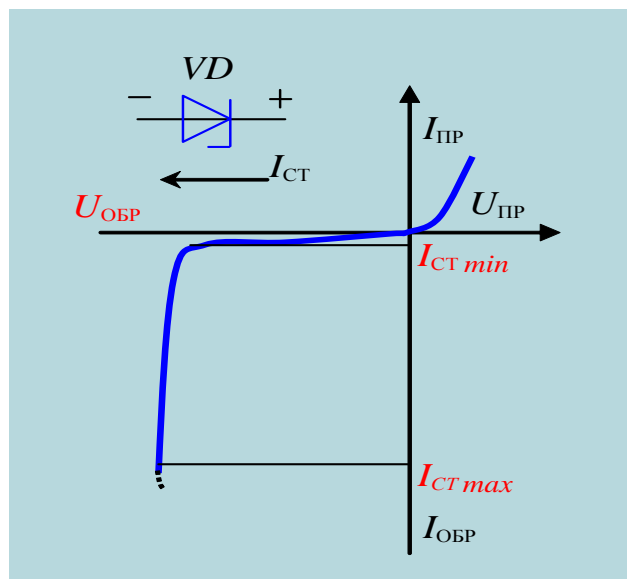


Рис. 1.4

При прямом смещении потенциальный барьер n - p перехода понижается и происходит инжекция электронов в p -область и дырок в n -область. В процессе рекомбинации носителей заряда в n - p переходе энергия выделяется в виде фотонов, то есть процесс рекомбинации сопровождается световым излучением, частота которого определяет спектр излучения. Основными материалами для изготовления светодиодов служат арсенид галлия ($GaAs$), селенид цинка ($ZnSe$) фосфит галлия (GaP), нитрид галлия (GaN), индия-галлия нитрид ($InGaN$). Варьируя состав полупроводников, можно создавать светодиоды для всевозможных длин волн от ультрафиолета (GaN) до среднего инфракрасного диапазона (PbS)

Светодиоды нашли применение в световых индикаторах, табло, приборных панелях автомобилей и самолетов, рекламных экранах, различных системах визуализации информации. По светоотдаче, долговечности, надежности превосходят обычные лампы накаливания.

Основные параметры светодиодов:

1. Сила света I_v – световой поток, приходящийся на единицу телесного угла в заданном направлении (составляет десятые доли – единица мКд);
2. Яркость излучения равна отношению силы света к площади светящейся поверхности (составляет десятки-сотни Кд/см²);
3. Постоянное прямое напряжение (2...4 В);
4. Цвет свечения или длина волны, соответствующая максимальному световому потоку;

5. Максимально допустимый постоянный прямой ток (составляет десятки мА);
6. Максимально допустимое постоянное обратное напряжение (единицы В);
7. Быстродействие излучающего диода ($\tau = 10^{-6} \dots 10^{-9}$ сек.), определяемое временем переключения $t_{пер.}$;
8. Диапазон температур окружающей среды ($T_0 = -60 \dots +70$ °С);
9. Срок службы – составляет 104...106 часов.

Недостатком светодиодов является зависимость их параметров от температуры. Выпускаются светодиоды в виде точечных приборов, в виде матричных панелей и в виде знаков синтезирующих индикаторов.

Фотодиод – это полупроводниковый прибор, принцип действия которого основан на использовании внутреннего фотоэффекта – генерации носителей заряда в полупроводнике под действием светового потока.

Работает в двух режимах: фотопреобразовательном и фотогенераторном.

В *фотопреобразовательном* режиме под воздействием светового потока Φ увеличивается обратный ток фотодиода. Такие диоды используют в устройствах, реагирующих на свет.

В *фотогенераторном* режиме диод работает как источник электрической энергии, преобразующий энергию света в электрическую. ВАХ фотодиода представлена на рис. 1.5.

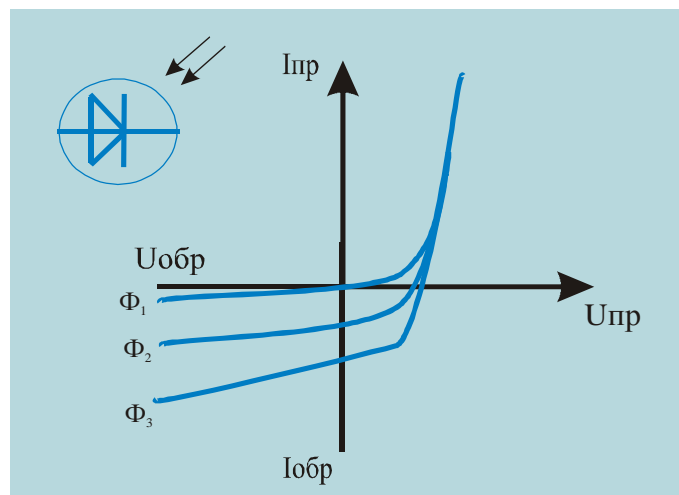


Рис. 1.5

Туннельный диод – полупроводниковый диод на основе вырожденного полупроводника, в котором туннельный эффект приводит к появлению на вольт-амперных характеристиках (рис. 1.6) при прямом напряжении участка с отрицательной дифференциальной электрической проводимостью. Материалом для туннельных диодов служит сильнолегированный германий или арсенид галлия.

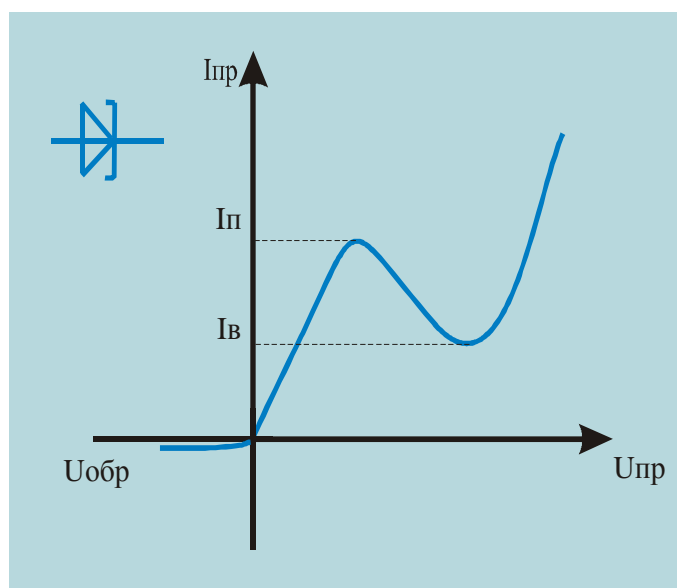


Рис. 1.6

Основными параметрами туннельного диода являются ток пика I_p и отношение тока пика к

току впадины $I_{\pi} / I_{в}$.

Для выпускаемых диодов $I_{\pi} = 0,1 \dots 1000$ мА и $I_{\pi} / I_{в} = 5 \dots 20$.

Туннельные диоды относятся к быстродействующими полупроводниковыми приборами и применяются в генераторах высокочастотных колебаний и импульсных переключателях.

Обращённый диод – диод на основе полупроводника с критической концентрацией примесей, в котором электрическая проводимость при обратном напряжении вследствие туннельного эффекта значительно больше, чем при прямом напряжении. Обращённые диоды представляют собой разновидность туннельных диодов, у которых ток пика $I_{пр} = 0$. Если к обращённому диоду приложить прямое напряжение $U_{пр} \leq 0,3$ В, то ток диода $I_{пр} \approx 0$ А, в то же время даже при небольшом обратном напряжении (порядка десятков милливольт) обратный ток достигает нескольких миллиампер.

Таким образом, обращённые диоды обладают вентильными свойствами при малых напряжениях именно в той области, где выпрямительные диоды обычно вентильными свойствами не обладают. При этом направлением наибольшей проводимости является направление, соответствующее обратному току. (Рис 1.7)

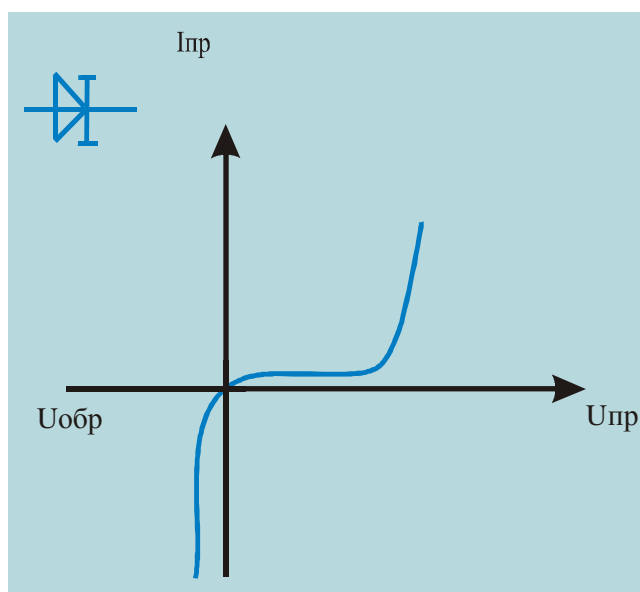


Рис. 1.7

Варикап – полупроводниковый диод, в котором используется зависимость ёмкости p - n -перехода от обратного напряжения и который предназначен для применения в качестве элемента с электрически управляемой ёмкостью.

Основными параметрами варикапа являются общая ёмкость $C_{в}$, которая фиксируется обычно при небольшом обратном напряжении $U_{обр} = 2 \dots 5$ В, и коэффициент перекрытия по ёмкости $K_C = C_{\max} / C_{\min}$. Для большинства выпускаемых варикапов $C = 10 \dots 500$ пФ и $K_C = 5 \dots 20$.

Варикапы применяют в системах дистанционного управления и автоматической подстройки частоты и

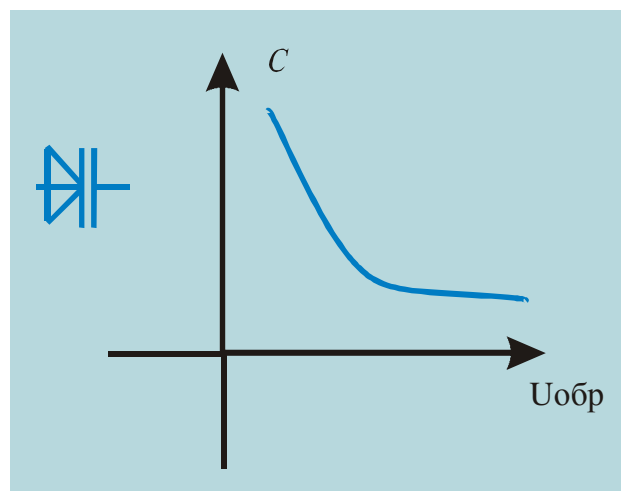


Рис. 1.8

в параметрических усилителях с малым уровнем собственных шумов. Варикап – это диод, принцип действия которого основан на емкостном свойстве р-п-перехода. Зависимость $C = f(U)$ приведена на рис 1.8. Используется в устройствах автоматической подстройки частоты (АПЧ).

СВЧ – диод – предназначен для преобразования и обработки сверхвысокочастотного сигнала (до десятков и сотен гигагерц). СВЧ – диоды применяются в устройствах генерации и усиления электромагнитных колебаний СВЧ диапазона, умножения частоты, модуляции, генерирования сигналов и т.д.

Диод Шотки – получают, используя переход металл – полупроводник. В месте контакта возникает обедненный слой полупроводника, называемый запирающим. Ток через контакт металл – полупроводник, в отличие от тока через электронно-дырочный переход, обусловлен только основными носителями заряда.

Отличительные особенности диода Шотки по сравнению с диодами других типов: более низкое прямое падение напряжения; малая инерционность; высокое быстродействие; низкий уровень ВЧ шумов; простота изготовления. Вольт амперная характеристика диода с переходом металл – полупроводник из – за малого сопротивления, ближе к идеальной. Диод Шотки применяют как СВЧ-диод различного назначения (детекторного, лавинно-пролётного, параметрического, импульсного); кроме того, применяют в качестве приёмников излучения, детекторов ядерного излучения, тензодатчиков, модуляторов света; их используют также в низковольтных высокочастотных выпрямителях.

Классификация и система обозначений полупроводниковых диодов

Система условных обозначений современных типов диодов установлена отраслевым стандартом ГОСТ 11 336.919-81. В основу системы обозначений положен буквенно-цифровой код.

Первый элемент обозначает исходный полупроводниковый материал, из которого изготовлен диод. Используются буквы или цифры:

Г или 1 – германий или его соединения;

К или 2 – кремний или его соединения;

А или 3 – соединения галлия;

И или 4 – соединений индия.

Второй элемент – буква, определяющая подкласс (или группу) прибора.

Д – диоды выпрямительные, импульсные;

И – туннельные диоды;

А – сверхвысокочастотные диоды;

Ц – выпрямительные столбы и блоки;

В – варикапы;

С – стабилитроны (включая стабисторы и ограничители);

Г – генераторы шума;

Третий элемент – цифра, определяющая функциональные возможности диода.

Подкласс Д – диоды выпрямительные, импульсные, магнитодиоды, термодиоды:

1 – для выпрямительных диодов с постоянным или средним значением прямого тока не более 0,3 А;

2 – для выпрямительных диодов с постоянным или средним значением прямого тока от 0,3 А до 10А;

3 – для магнитодиодов, термодиодов и прочих диодов;

4 – для импульсных диодов с временем восстановления обратного сопротивления более 500 нс;

5 – для импульсных диодов с временем восстановления от 150 до 500 нс;

6 – для импульсных диодов с временем восстановления от 30 до 150 нс;

7 – для импульсных диодов с временем восстановления от 5 до 30 нс;

8 – для импульсных диодов с временем восстановления от 1 до 5 нс;

9 – для импульсных диодов с эффективным временем жизни неосновных носителей заряда менее 1 нс

Подкласс И – туннельные диоды:

1 – для усилительных туннельных диодов;

2 – для генераторных туннельных диодов;

3 – для переключательных туннельных диодов;

4 – для обращенных диодов.

Подкласс А – сверхвысокочастотные диоды:

1 – для смесительных диодов;

2 – для детекторных диодов;

- 3 – для усилительных диодов;
- 4 – для параметрических диодов.
- 5 – для переключательных и ограничительных диодов;
- 6 – для умножительных и настроечных диодов;
- 7 – для генераторных диодов;
- 8 – для импульсных диодов.

Подкласс Ц – выпрямительные столбы и блоки:

- 1 – для столбов с постоянным или средним значением прямого тока не более 0,3 А;
- 2 – для столбов с постоянным или средним значением прямого тока от 0,3 до 10 А;
- 3 – для блоков с постоянным или средним значением прямого тока не более 0,3 А;
- 4 – для блоков с постоянным или средним значением прямого тока от 0,3 до 10 А;

Подкласс В – варикапы:

- 1 – для подстроечных варикапов;
- 2 – для умножительных варикапов.

Подкласс С – стабилитроны:

- 1 – для стабилитронов мощностью не более 0,3 Вт с номинальным напряжением стабилизации менее 10 В;
- 2 – для стабилитронов мощностью не более 0,3 Вт с номинальным напряжением стабилизации от 10 до 100 В;
- 3 – для стабилитронов мощностью не более 0,3 Вт с номинальным напряжением стабилизации более 100 В;
- 4 – для стабилитронов мощностью от 0,3 до 5 Вт с номинальным напряжением стабилизации менее 10 В;
- 5 – для стабилитронов мощностью от 0,3 до 5 Вт с номинальным напряжением стабилизации от 10 до 100 В;
- 6 – для стабилитронов мощностью от 0,3 до 5 Вт с номинальным напряжением стабилизации более 100 В;
- 7 – для стабилитронов мощностью от 5 до 10 Вт с номинальным напряжением стабилизации менее 10 В;
- 8 – для стабилитронов мощностью от 5 до 10 Вт с номинальным напряжением стабилизации от 10 до 100 В;
- 9 – для стабилитронов мощностью от 5 до 10 Вт с номинальным напряжением стабилизации более 100 В;

Подкласс Г – генераторы шума:

- 1 – для низкочастотных генераторов шума;
- 2 – для высокочастотных генераторов шума;

Четвертый элемент – число, обозначающее порядковый номер разработки диода.

Пятый элемент – буква, условно определяющая классификацию диодов по параметрам. Для бескорпусных приборов в состав обозначения

дополнительно через дефис вводится цифра, характеризующая соответствующую модификацию конструктивного исполнения;

1 – с гибкими выводами без кристаллодержателя (подложки);

2 – с гибкими выводами на кристаллодержателе (подложке);

3 – с жесткими выводами без кристаллодержателя (подложки);

4 – с жесткими выводами на кристаллодержателе (подложке);

5 – с контактными площадками без кристаллодержателя (подложки) и без выводов;

6 – с контактными площадками на кристаллодержателе (подложке) и без выводов;

буква Р после последнего элемента обозначения – для СВЧ диодов с парным подбором;

буква Г – с подбором в четверки;

буква К – с подбором в шестерки.

[РАЗМЕРЫ УСЛОВНО ГРАФИЧЕСКИХ ОБОЗНАЧЕНИЙ \(ФЛЭШ\) !\[\]\(dd161862f9164df98f62b726e9846241_img.jpg\)](#)

2. ТИРИСТОРЫ

Классификация и система обозначений полупроводниковых тиристоров приведена на рис. 2.1.

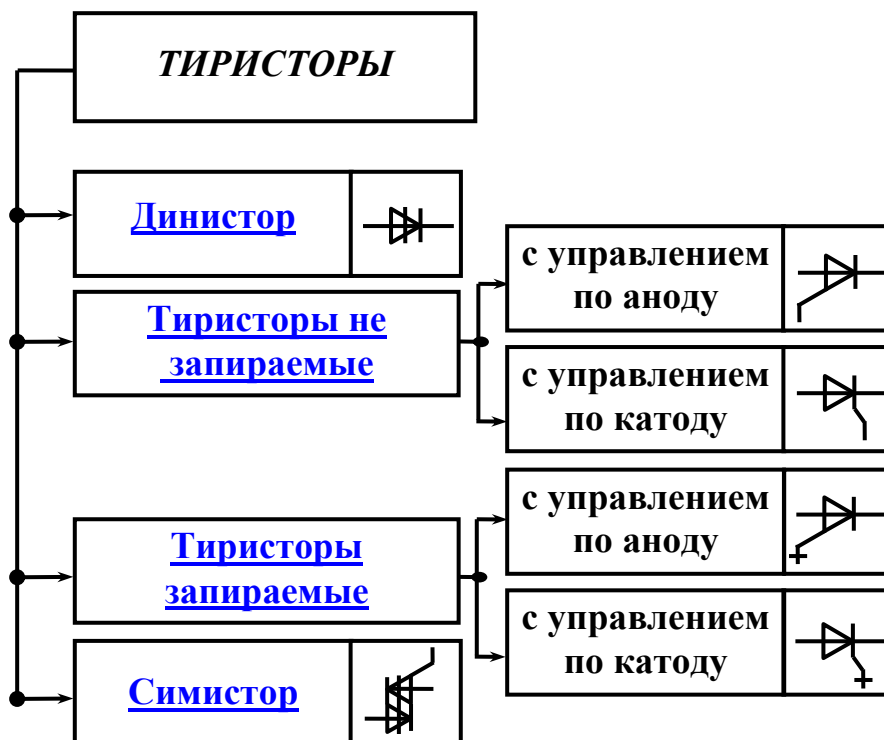


Рис. 2.1

Т и р и с т о р о м называют полупроводниковый прибор с тремя или более n - p -переходами. Он может находиться в одном из двух устойчивых состояний: низкой проводимости (закрыт) или высокой проводимости (открыт). Различают диодные (неуправляемые) и триодные (управляемые) тиристоры. Диодный тиристор называют динистором, а триодный - тринистором. Структура, условное графическое и буквенное обозначения тиристора, его вольтамперная характеристика даны на рис. 2.2, а, б, в.

Основу прибора составляет кристалл кремния, в котором созданы четыре слоя с разными типами электропроводности. Внешний p -слой называют **анодом** (А), внешний n -слой – **катодом** (К), а два внутренних слоя – базами. Одна из баз имеет вывод – управляющий электрод (У).

При прямом включении (анод положителен по отношению к катоду) переходы П1 и П3 смещены в прямом направлении, а переход П2 – в обратном направлении. До тех пор, пока П2 закрыт, прямой ток практически равен нулю (участок oa характеристики рис. 2.2, в). При некотором значении прямого напряжения, равном $U_{вкл.мах}$, за счет перераспределения зарядов в области баз переход П2 открывается (точка a). Сопротивление его быстро уменьшается

(участок ab), и тиристор работает на участке $бв$ характеристики, которая подобна ВАХ диода.

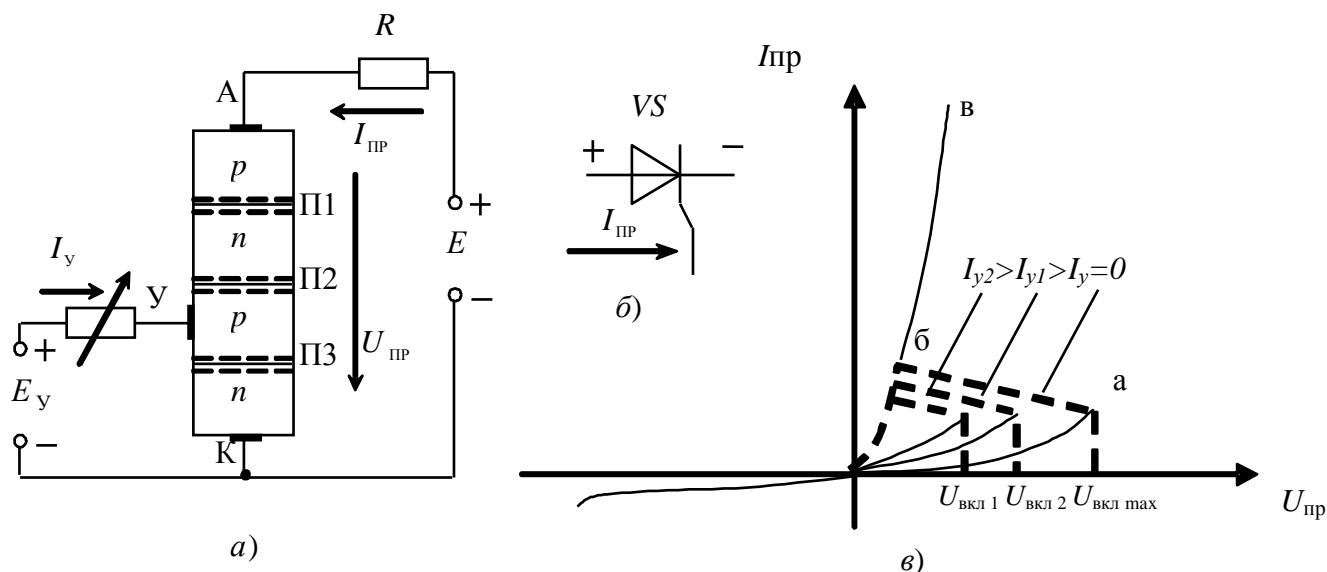


Рис. 2.2

Напряжение включения $U_{\text{вкл}}$ можно уменьшить введением добавочных носителей заряда в любой из слоев, прилегающих к переходу П2. Добавочные носители заряда I_y на рис. 1.4, а вводятся в слой p от вспомогательной управляющей цепи с независимым источником E_y . При увеличении тока управления I_y характеристика включения (рис. 2.2, в) смещается влево (к естественной прямой ветви ВАХ диода). Тиристор остается во включенном состоянии, пока протекающий через него ток больше критического, называемого током удержания $I_{\text{уд}}$. Как только $I_{\text{пр}}$ станет меньше $I_{\text{уд}}$, тиристор закрывается.

Следует отметить, что после включения тиристора объемные заряды в области перехода П2 будут компенсированы основным током, если он больше тока $I_{\text{уд}}$, и тогда ток управления I_y не нужен. Поэтому для снижения потерь в тиристоре он управляется короткими импульсами I_y .

При обратном включении тиристора (анод отрицателен по отношению к катоду) закрыты два перехода П1 и П3, и тиристор тока не проводит. Во избежание пробоя необходимо, чтобы обратное напряжение было меньше $U_{\text{обр.мах}}$.

Основные параметры, используемые при выборе тиристорov: предельно допустимый анодный ток в открытом состоянии тиристора $I_{\text{пр.мах}}$, предельно допустимое обратное напряжение $U_{\text{обр.мах}}$, предельно допустимое прямое напряжение в закрытом состоянии тиристора $U_{\text{пр.мах}}$, ток удержания $I_{\text{уд}}$, прямое напряжение в точке включения диодного тиристора $U_{\text{вкл}}$.

Маломощные тиристоры применяют в релейных схемах и маломощных коммутирующих устройствах. Мощные тиристоры используют в управляемых выпрямителях, инверторах и различных преобразователях.

Запираемые тиристоры – имеют четырехслойную *p-n-p-n* структуру, но в тоже время обладают рядом существенных конструктивных особенностей, придающих им принципиально отличное от традиционных тиристоров – свойство полной управляемости. Для выключения запираемого тиристора необходимо подать в цепь управляющего электрода мощный импульс отрицательного тока (примерно 1:5 по отношению к значению прямого выключаемого тока), но короткой длительности (10...100 мкс).

Запираемые тиристоры также имеют более низкие значения предельных напряжений и токов (примерно на 20...30 %) по сравнению с обычными тиристорами.

Симистор

Симистор – тиристор, имеющий пятислойную структуру, что определяет симметричность его вольтамперной характеристики в I и III квадрантах

(рис. 2.3, в). Это полупроводниковый прибор, который широко используется в системах, питающихся переменным напряжением. Упрощенно он может рассматриваться как управляемый выключатель.

Симистор можно представить двумя тиристорами, включенными встречно – параллельно. Он пропускает ток в обоих направлениях. Структура этого полупроводникового прибора показана на рис. 2.3, а. Симистор имеет три электрода: один управляющий и два основных для пропускания рабочего тока.

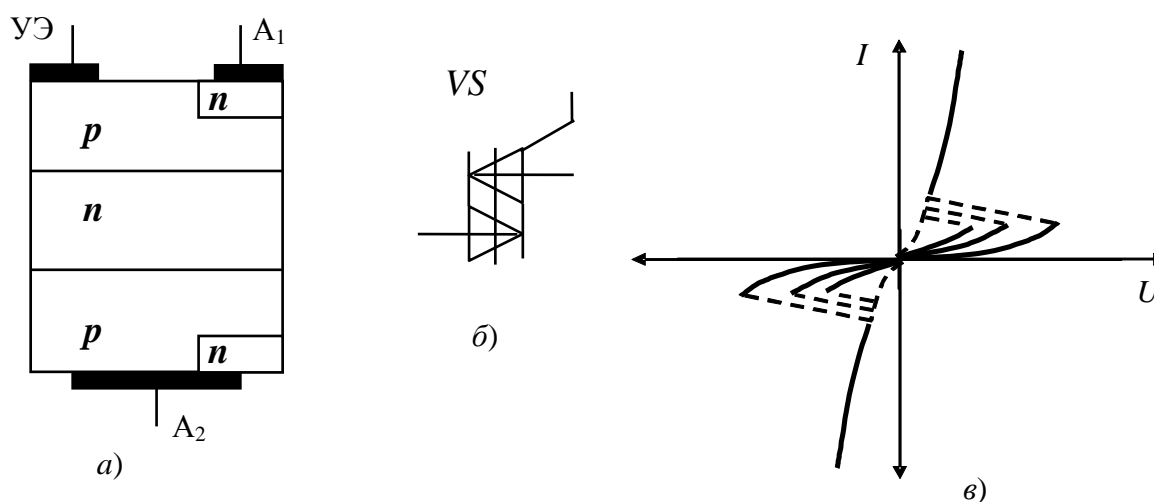


Рис. 2.3

Симистор открывается, если на управляющий электрод УЭ подается отпирающий ток или если напряжение между его электродами A_1 и A_2 превышает некоторую максимальную величину $U_{вкл}$. Отпирающий ток должен сохраняться до тех пор, пока рабочий ток I_H не превысит в два - три раза

величину удерживающего тока I_y . Этот минимальный отпирающий ток и является током включения симистора.

Симистор переходит в закрытое состояние после изменения полярности между его выводами A_1 и A_2 если значение рабочего тока меньше тока удержания I_y .

Фототиристоры

Фототиристоры имеют четырехслойную структуру (рис. 2.4, а) и управляются световым потоком, подобно тому, как триодные тиристоры управляются током, подаваемым в цепь управляющего электрода. При действии света на область базы $p1$ в этой области генерируются электроны и дырки.

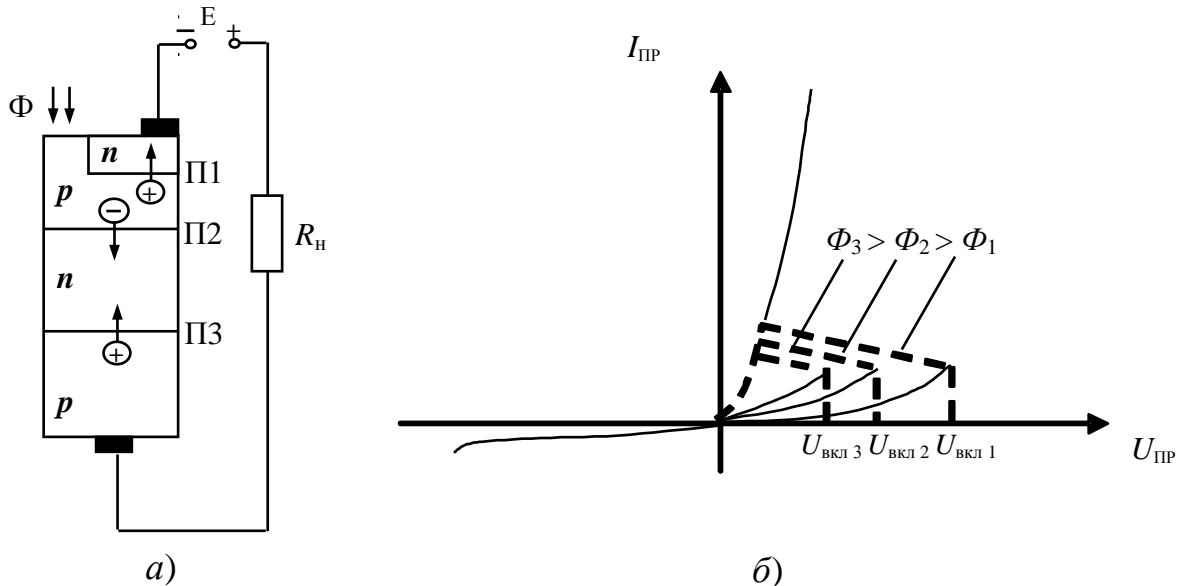


Рис. 2.4

Электроны, попадая в область перехода П2, находящегося под обратным напряжением, уменьшают его сопротивление. В результате происходит увеличение инжекции носителей из переходов П1 и П3. Ток через структуру прибора лавинообразно нарастает, т.е. тиристор отпирается. Чем больше световой поток, действующий на тиристор, тем при меньшем напряжении включается тиристор (рис. 2.4, б).

Фототиристоры могут успешно применяться в различных автоматических устройствах в качестве бесконтактных ключей для включения значительных напряжений и мощностей. Важные достоинства тиристоров: малое потребление мощности во включенном состоянии, малые габариты, отсутствие искрения, малое время включения.

Основные параметры тиристоров

1. Напряжение переключения: постоянное – $U_{\text{прк}}$, импульсное – $U_{\text{прк и}}$ (десятки – сотни вольт).
2. Напряжение в открытом состоянии $U_{\text{ос}}$ – падение напряжения на тиристоре в открытом состоянии ($U_{\text{ос}} = 1 \dots 3 \text{ В}$).
3. Обратное напряжение $U_{\text{обр}}$ – напряжение, при котором тиристор может работать длительное время без нарушения его работоспособности (единицы – тысячи вольт).

4. Постоянное прямое напряжение в закрытом состоянии $U_{зс}$ – максимальное значение прямого напряжения, при котором не происходит включение тиристора (единицы – сотни вольт).

5. Неотпирающее напряжение на управляющем электроде $U_{у,нот}$ – наибольшее напряжение, не вызывающее отпирание тиристора (доли вольт).

6. Запирающее напряжение на управляющем электроде $U_{уз}$ – напряжение, обеспечивающее требуемое значение запирающего тока управляющего электрода (единицы – десятки вольт).

7. Ток в открытом состоянии $I_{откр\ max}$ – предельное значение тока открытого тиристора (сотни миллиампер – сотни ампер).

8. Обратный ток $I_{обр}$ (доли миллиампер).

9. Отпирающий ток $I_{у\ от}$ – наименьший ток управляющего электрода, необходимый для включения тиристора (десятки миллиампер).

10. Ток удержания $I_{уд}$ – минимальный прямой ток, проходящий через тиристор при разомкнутой цепи управления, при котором тиристор еще находится в открытом состоянии.

11. Время включения $t_{вкл}$ – это время от момента подачи управляющего импульса до момента снижения напряжения на тиристоре до 10 % от начального значения при работе на активную нагрузку (единицы – десятки микросекунд).

12. Время выключения $t_{выкл}$, называемое также временем восстановления управляющей способности тиристора. Это время от момента, когда прямой ток тиристора становится равным нулю, до момента, когда прибор снова будет способен выдерживать прямое напряжение между анодом и катодом. Это время в основном определяется временем рассасывания неосновных носителей в зонах полупроводника (десятки – сотни микросекунд).

Классификация и система обозначений полупроводниковых тиристоров

Система условных обозначений современных типов тиристоров установлена отраслевым стандартом ГОСТ 11 336.919-81. В основу системы обозначений положен буквенно-цифровой код.

Первый элемент обозначает исходный полупроводниковый материал, из которого изготовлен прибор.

Используются буквы или цифры:

Г или 1 – для германия или его соединений;

К или 2 – для кремния или его соединений;

А или 3 – для соединений галлия;

И или 4 – для соединений индия.

Второй элемент – буква, определяющая подкласс (или группу) прибора.

Н – для диодных тиристоров;

У – триодных тиристоров.

Третий элемент – цифра, определяющая функциональные возможности тиристора.

Подкласс Н – для диодных тиристоров:

1 – для тиристоров с максимально допустимым значением прямого тока не более 0,3 А;

2 – для тиристоров с максимально допустимым значением прямого тока от 0,3 А до 10 А;

Подкласс У – для триодных тиристоров.

Незапираемые тиристоры:

1 – для тиристоров с максимально допустимым значением среднего тока в открытом состоянии не более 0,3 А или с максимально допустимым значением импульсного тока в открытом состоянии не более 15 А;

2 – для тиристоров с максимально допустимым значением среднего тока в открытом состоянии не более от 0,3 до 10 А или с максимально допустимым значением импульсного тока в открытом состоянии не более от 15 до 100 А;

7 – для тиристоров с максимально допустимым значением среднего тока в открытом состоянии более 10 А или с максимально допустимым значением импульсного тока в открытом состоянии более 100 А;

Запираемые тиристоры:

3 – для тиристоров с максимально допустимым значением среднего тока в открытом состоянии не более 0,3 А или с максимально допустимым значением импульсного тока в открытом состоянии не более 15 А;

4 – для тиристоров с максимально допустимым значением среднего тока в открытом состоянии не более от 0,3 до 10 А или с максимально допустимым значением импульсного тока в открытом состоянии не более от 15 до 100 А;

8 – для тиристоров с максимально допустимым значением среднего тока в открытом состоянии более 10 А или с максимально допустимым значением импульсного тока в открытом состоянии более 100 А;

Симметричные тиристоры:

5 – для тиристоров с максимально допустимым значением среднего тока в открытом состоянии не более 0,3 А или с максимально допустимым значением импульсного тока в открытом состоянии не более 15 А;

6 – для тиристоров с максимально допустимым значением среднего тока в открытом состоянии не более от 0,3 до 10 А или с максимально допустимым значением импульсного тока в открытом состоянии не более от 15 до 100 А;

9 – для тиристоров с максимально допустимым значением среднего тока в открытом состоянии более 10 А или с максимально допустимым значением импульсного тока в открытом состоянии более 100 А;

Четвертый элемент – число, обозначающее порядковый номер разработки диода.

Пятый элемент – буква, условно определяющая классификацию тиристоров по параметрам.

Для бескорпусных приборов в состав обозначения дополнительно через дефис вводится цифра, характеризующая соответствующую модификацию конструктивного исполнения;

1 – с гибкими выводами без кристаллодержателя (подложки);

2 – с гибкими выводами на кристаллодержателе (подложке);

3 – с жесткими выводами без кристаллодержателя (подложки);

4 – с жесткими выводами на кристаллодержателе (подложке);

5 – с контактными площадками без кристаллодержателя (подложки) и без выводов;

6 – с контактными площадками на кристаллодержателе (подложке) и без выводов;

[РАЗМЕРЫ УСЛОВНО ГРАФИЧЕСКИХ ОБОЗНАЧЕНИЙ \(ФЛЭШ\) !\[\]\(ec9132f1d27c8919987d92907322654d_img.jpg\)](#)

3. ТРАНЗИСТОРЫ

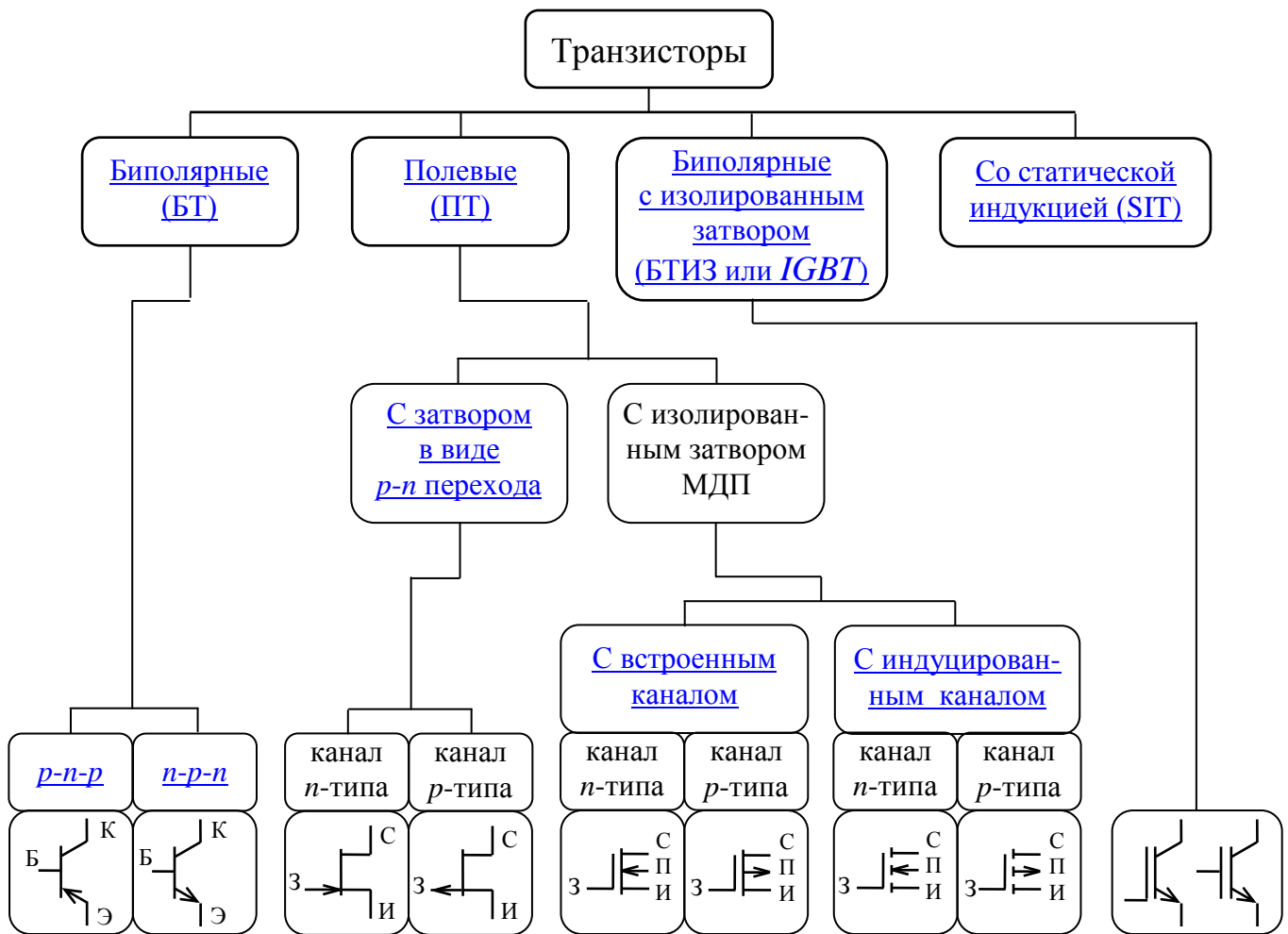


Рис. 3.1

Биполярные транзисторы

Биполярным транзистором называют полупроводниковый прибор с двумя $n-p$ -переходами, образованными слоями полупроводникового материала $n-p-n$ или $p-n-p$ -типа. Он имеет три или более выводов, изготавливается на основе германия или кремния, обеспечивает усиление мощности электрических сигналов. На рис. 3.2 приведены структурные схемы, условные графические и буквенные обозначения транзисторов $n-p-n$ -типа (рис. 3.2, а) и $p-n-p$ -типа (рис. 3.2, б).

Средний слой кристалла называют базой (Б). Ее толщина мала, составляет несколько микрометров и концентрация примесей здесь значительно меньше, чем в соседних слоях. Крайние слои называют эмиттером (Э) и коллектором (К).

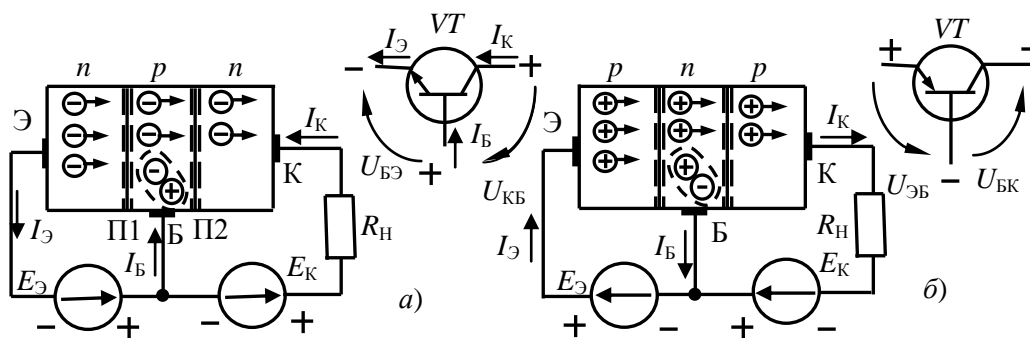


Рис. 3.2

Для нормальной работы транзистора между его выводами должны быть включены источники питания. Если источники включены так, что оба перехода П1, П2 находятся под обратным напряжением, то токи транзистора практически равны нулю – этот режим называют *отсечкой*. Если переходы транзистора имеют прямое смещение, то их сопротивление мало, и транзистор можно рассматривать как узел цепи. Такой режим работы называют *насыщением*. В усилительном каскаде транзистор работает в активном режиме, при этом эмиттерный переход смещен в прямом направлении, а коллекторный – в обратном (рис. 3.2). Прямосмещенный эмиттерный переход имеет небольшое сопротивление – несколько ом. Коллекторный переход, при отсутствии инжекции из эмиттера, имеет очень большое сопротивление – несколько мегаом, поэтому в цепь коллектора можно включать нагрузку с большим сопротивлением, практически не изменяя тока коллектора.

Под действием источника $E_э$ основные носители заряда из эмиттера преодолевают $n-p$ -переход и попадают в область базы, где частично рекомбинируют с основными носителями заряда базы, образуя ток базы $I_б$. Так как концентрация основных носителей заряда в базе мала (дырков в $n-p-n$ -типе и электронов в $p-n-p$ -типе), то и число рекомбинаций в базе незначительно, ток базы мал. Большинство зарядов, инжектированных в область базы из эмиттера, под действием поля источника $E_к$ и вследствие диффузии, преодолевают коллекторный переход и образуют ток коллектора.

Коэффициент передачи тока эмиттера

$$\alpha = \Delta I_к / \Delta I_э \text{ при } U_{кб} = \text{const.}$$

В современных транзисторах база очень тонкая и $\alpha = 0.9 \dots 0.995$.

Рассмотренная на рис. 3.2 схема включения транзистора называется схемой с общей базой (ОБ), так как база является общим электродом для входной и выходной цепей. Она обеспечивает усиление сигнала по напряжению и мощности, но ток в нагрузке будет меньше, чем входной ток источника сигнала.

Наиболее часто используется в электронных устройствах схема включения транзистора с общим эмиттером (ОЭ) – рис. 3.3, а. Входным здесь является ток базы $I_б$, а выходным – ток коллектора $I_к$.

Коэффициент передачи тока базы схемы ОЭ

$$\beta = \Delta I_K / \Delta I_B \text{ при } U_{КЭ} = \text{const}; \quad \beta = \alpha / (1 - \alpha); \quad \beta \gg 1.$$

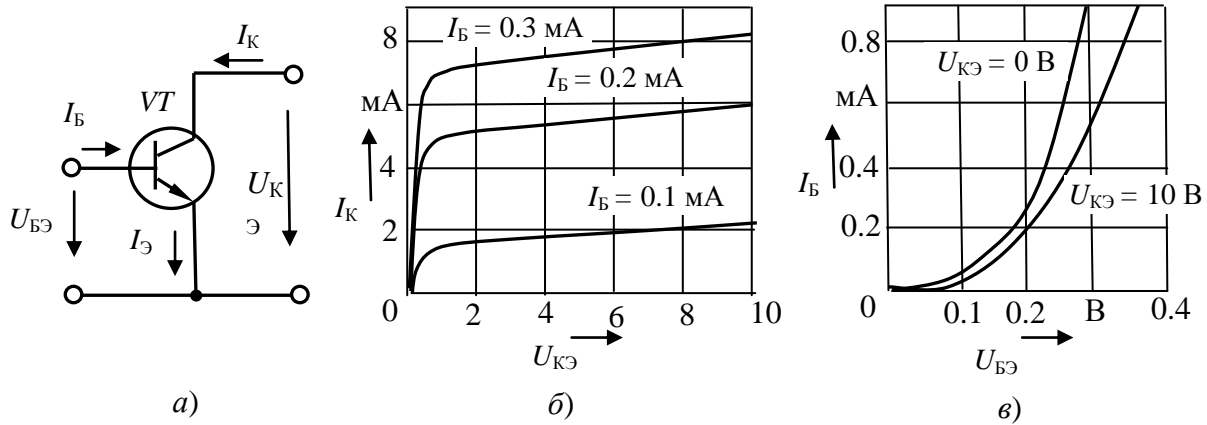


Рис. 3.3

Эта схема обеспечивает усиление сигнала по току, напряжению и максимальное усиление по мощности.

Работу транзисторов включенных по схеме с ОЭ описывают семейства входных и выходных характеристик:

- 1) выходные – $I_K (U_{КЭ})$ при $I_B = \text{const}$ (рис. 3.3, б),
- 2) входные – $I_B (U_{БЭ})$ при $U_{КЭ} = \text{const}$ (рис. 3.3, в).

Они определяют связь между постоянными составляющими токов и напряжений, дают возможность выбрать наилучший режим работы, оценить нелинейные искажения усиливаемого сигнала.

Для расчета цепей с биполярными транзисторами используют h - параметры: транзистор представляют четырехполосником и записывают уравнения четырехполосника в h - параметрах.

$$\begin{cases} \Delta U_{БЭ} = h_{11} \Delta I_B + h_{12} \Delta U_{КЭ} \\ \Delta I_K = h_{21} \Delta I_B + h_{22} \Delta U_{КЭ} \end{cases}$$

Коэффициенты четырехполосника (h - параметры) выражаются следующим образом:

$$h_{11} = \Delta U_{БЭ} / \Delta I_B \text{ при } U_{КЭ} = \text{const} - \text{входное сопротивление } R_{ВХ}, \text{ Ом};$$

$h_{12} = \Delta U_{БЭ} / \Delta U_{КЭ}$ при $I_B = \text{const}$ – безразмерный коэффициент обратной связи по напряжению;

$h_{21} = \Delta I_K / \Delta I_B$ при $U_{КЭ} = \text{const}$ – безразмерный коэффициент передачи тока (β);

$$h_{22} = \Delta I_K / \Delta U_{КЭ} \text{ при } I_B = \text{const} - \text{выходная проводимость } (1 / R_{ВЫХ}), \text{ См.}$$

h – параметры приводятся в справочниках, а также могут быть определены по семейству входных и выходных характеристик транзистора.

Области работы транзистора. На выходных характеристиках можно выделить три области работы транзистора (рис. 3.4): насыщения (I); линейной работы (II); отсечки (III).



Рис 3.4

В области отсечки и насыщения нет прямопропорциональной зависимости между входным и выходным током, эта зависимость наблюдается только в области линейной работы, где $\Delta I_{к} = \beta \Delta I_{Б}$. (таблица 1).

Таблица 1

Область работы	Состояние $p-n$ - переходов	
	эмиттер – база	база – коллектор
Насыщения	открыт	открыт
Отсечки	закрыт	закрыт
Линейная	открыт	закрыт

Предельно - допустимые параметры транзистора. Для нормальной работы транзистора необходимо укладываться в область, ограниченную предельно допустимыми параметрами : $U_{к\max}$; $I_{к\max}$; $P_{к\max}$:

– если $U_{к} > U_{к\max}$, возможен пробой коллекторного $p-n$ перехода;

– если $I_{к} > I_{к\max}$, возможен перегрев эмиттерного $p-n$ перехода;

– если $P_{к} > P_{к\max}$ работа транзистора невозможна из-за перегрева коллекторного $p-n$ -перехода. Область работы транзистора ограничивают все три условия (рис. 3.5).

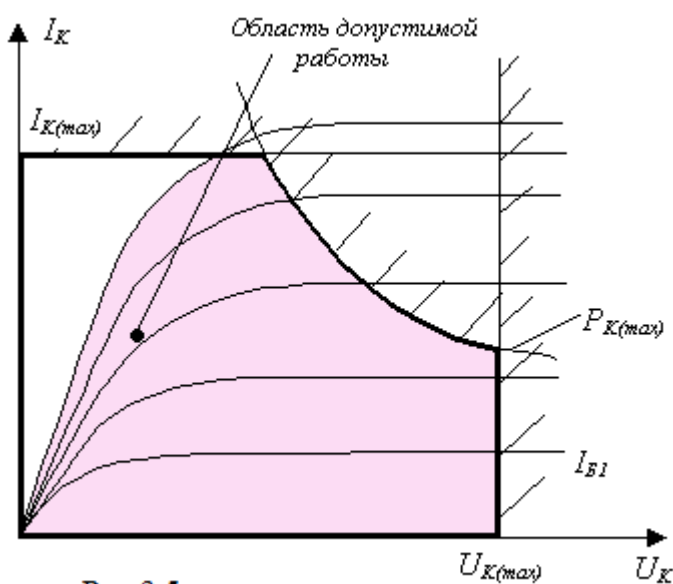


Рис 3.5

Полевые транзисторы

Полевые транзисторы (ПТ) – это полупроводниковые приборы с каналом, ток в котором управляется электрическим полем. Принцип действия их основан на протекании носителей заряда только одного знака через проводящий канал.

Главным достоинством полевых транзисторов является высокое входное сопротивление, т.е. они практически не потребляют ток из входной цепи. Кроме того, они более технологичны и дешевле, чем биполярные, обладают высокой воспроизводимостью требуемых параметров.

Полевые транзисторы подразделяют на два основных типа:

- Полевые транзисторы с управляющим $n - p$ -переходом;
- Полевые транзисторы МДП – типа
 - со встроенным каналом;
 - с индуцированным каналом

Полевые транзисторы с управляющим $n - p$ -переходом

Это ПТ у которого затвор отделён от канала закрытым $n - p$ -переходом. Канал – это центральный слой (может быть p -типа либо n -типа), заключенный между двумя $n - p$ -переходами (рис. 3.6, а). Канал имеет два вывода во внешнюю цепь: исток (И), из которого заряды выходят в канал, сток (С), в который заряды входят из канала. Слои p -типа (внешние) соединены между собой и имеют вывод во внешнюю цепь, называемый затвором (З). Затвор служит для регулирования поперечного сечения канала. Особенность ПТ в том, что движение основных носителей заряда только одного знака происходит по каналу от истока к стоку, а не через переход, как в биполярном транзисторе.

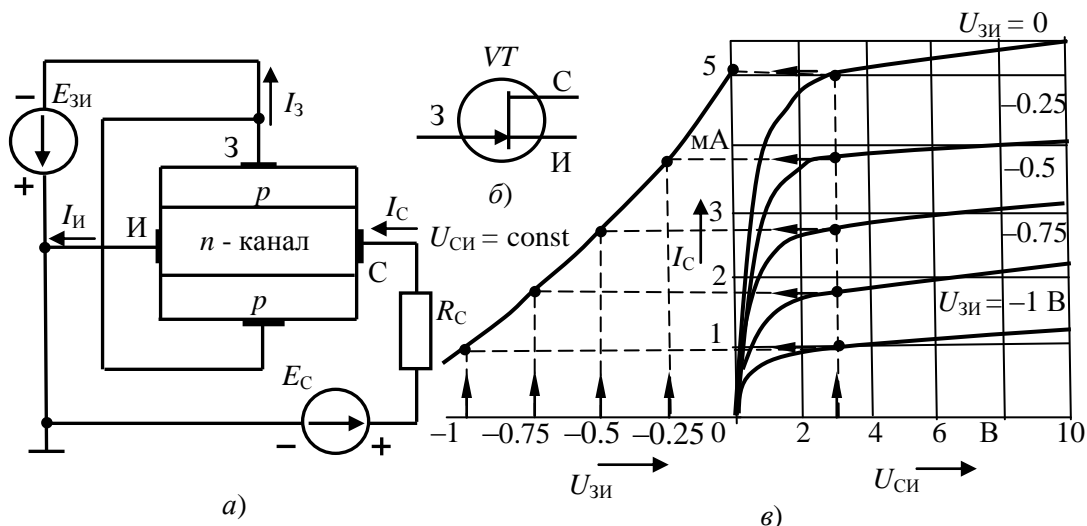


Рис. 3.6

Управляющее напряжение между затвором и истоком является обратным для обоих $n - p$ -переходов ($U_{зи} < 0$). Оно создает вдоль канала равномерный

слой, обедненный носителями заряда при $U_{си} = 0$. Изменяя $U_{зи}$, изменяют ширину $n - p$ -переходов, тем самым регулируют сечение токопроводящего канала и его проводимость. Напряжение $U_{си} > 0$ вызывает неравномерность обедненного зарядами слоя, наименьшее сечение канала вблизи стока.

Управляющее действие затвора иллюстрируют передаточной (стоко-затворной) характеристикой $I_c (U_{зи})$ при $U_{си} = \text{const}$. На практике чаще используют выходные (стоковые) характеристики $I_c (U_{си})$ при $U_{зи} = \text{const}$, по которым строят передаточные (рис. 3.6, в).

Полевые транзисторы с управляющим $n - p$ -переходом работают в режиме обеднения канала, при увеличении управляющего напряжения $U_{зи}$ поперечное сечение проводящего канала и его проводимость уменьшаются, что вызывает снижение тока канала I_c .

Полевые транзисторы МДП – типа со встроенным каналом

МДП – транзисторы со встроенным каналом имеют структуру металл(М) – диэлектрик(Д) – полупроводник(П), их так же называют полевыми транзисторами с изолированным затвором, т. к. у них затвор отделен от канала диэлектриком. У поверхности кристалла полупроводника (подложки p -типа) созданы две области n -типа и тонкая перемычка между ними – канал (рис. 3.7, а). Области n -типа имеют выводы: И – исток и С – сток. Кристалл покрыт окисной пленкой диэлектрика SiO_2 , на которой расположен металлический затвор (З), электрически изолированный от цепи исток – сток. Подложка соединяется с истоком внутри прибора, либо имеет вывод во внешнюю цепь (П).

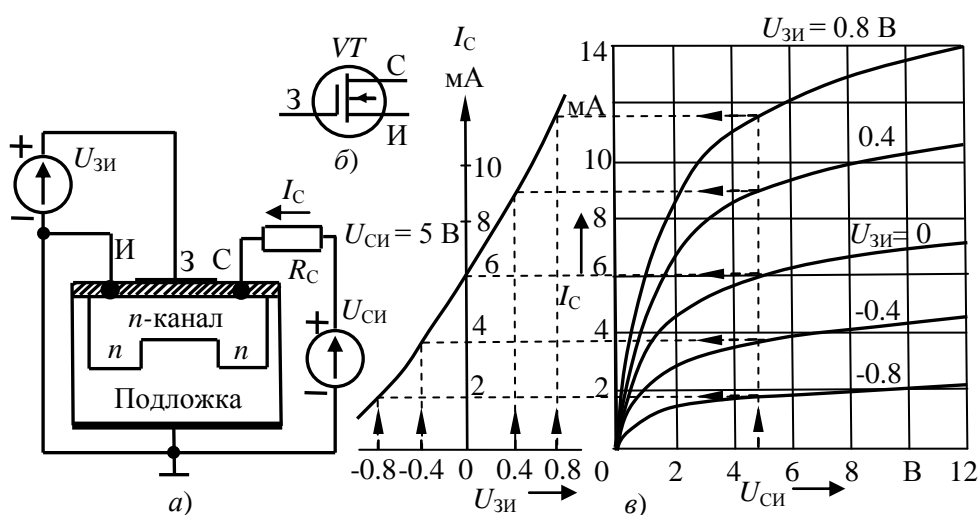


Рис. 3.7

При отрицательном потенциале на затворе $U_{зи} < 0$ поле затвора выталкивает электроны из канала в p -подложку, исток и сток. Канал обедняется электронами, его сопротивление увеличивается, и ток стока уменьшается.

Такой режим называют режимом обеднения. Характеристики $I_C(U_{СИ})$ располагаются ниже кривой при $U_{ЗИ} = 0$ (рис. 3.7, в). Если на затвор подано $U_{ЗИ} > 0$, то под действием поля затвора канал насыщается электронами из p -подложки, истока и стока - это режим обогащения.

Таким образом, МДП-транзистор со встроенным каналом может работать как в режиме обеднения, так и в режиме обогащения, что наглядно показывают его характеристики. Структура, условное графическое изображение, передаточная $I_C(U_{ЗИ})$ при $U_{СИ} = \text{const}$ и стоковые $I_C(U_{СИ})$ при $U_{ЗИ} = \text{const}$ характеристики ПТ со встроенным каналом даны на рис. 3.7, а, б, в.

Полевые транзисторы МДП – типа с индуцированным каналом

МДП-транзисторы с индуцированным каналом не имеют специально созданного канала между истоком и стоком, и при $U_{ЗИ} = 0$ выходной ток $I_C = 0$. Канал индуцируется при положительном потенциале на затворе $U_{ЗИ} > 0$ благодаря притоку электронов из p -подложки.

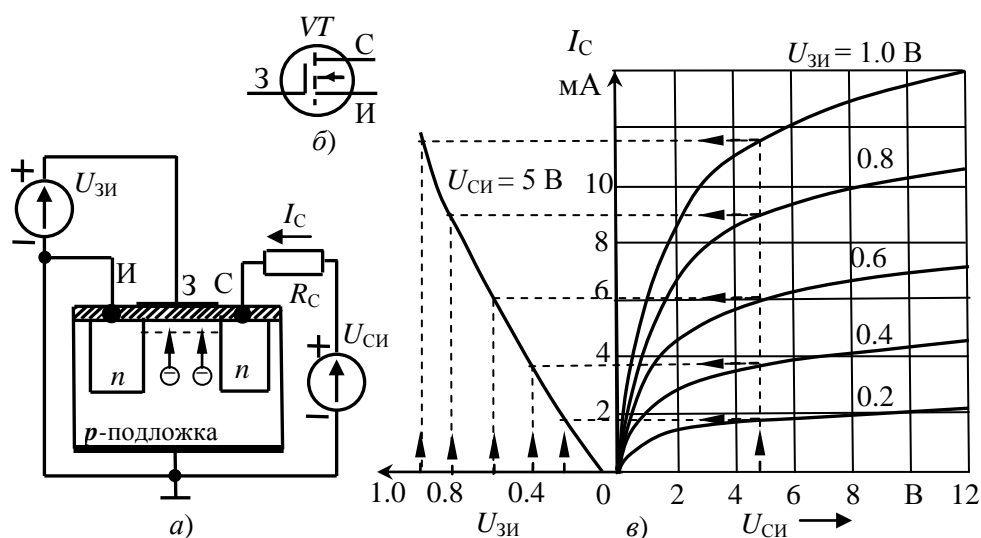


Рис. 3.8

Напряжение затвора, при котором создается канал, называют пороговым $U_{ПОР}$, при дальнейшем увеличении управляющего напряжения относительно порогового происходит увеличение поперечного сечения канала. Этот прибор работает только в режиме обогащения.

Основными параметрами полевых транзисторов являются:

Крутизна передаточной характеристики

$$S = \Delta I_C / \Delta U_{ЗИ} \text{ при } U_{СИ} = \text{const}$$

$$S = 0,1 \dots 500 \text{ mA/V ;}$$

Внутреннее (выходное) сопротивление

$$R_i = \Delta U_{СИ} / \Delta I_C \text{ при } U_{ЗИ} = \text{const.}$$

$$R_i = 0,1 \dots 1 \text{ МОм}$$

Коэффициентом усиления

$$\mu = \Delta U_{\text{си}} / \Delta U_{\text{зи}} \text{ при } I_{\text{с}} = \text{const};$$

$$\mu = SRi.$$

Начальный ток стока $I_{\text{с нач}}$ при $U_{\text{зи}} = 0$:

у транзисторов с управляющим $n-p$ - переходом $I_{\text{си нач}} = 0,2 \dots 600 \text{ мА}$;

со встроенным каналом $I_{\text{си нач}} = 0,1 \dots 100 \text{ мА}$;

с индуцированным каналом $I_{\text{с нач}} = 0,01 \dots 0,5 \text{ мкА}$.

Напряжение отсечки $U_{\text{зиотс}} = 0,2 \dots 10 \text{ В}$.

Пороговое напряжение $U_{\text{зипор}} = 1 \dots 6 \text{ В}$.

Предельно допустимые параметры $U_{\text{зи max}}$ В, P_{max} мВт

Биполярные транзисторы и изолированным затвором (БТИЗ)

БТИЗ являются новым типом активного прибора, который появился сравнительно недавно. Его входные характеристики подобны входным характеристикам полевого транзистора, а выходные – выходным характеристикам биполярного. В иностранной литературе этот прибор называют *IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)*. По быстродействию он значительно превосходит биполярные транзисторы. Чаще всего *IGBT*-транзисторы используют в качестве мощных ключей, у которых время включения $0,2 \dots 0,4 \text{ мкс}$, а время выключения $0,2 \dots 1,5 \text{ мкс}$, коммутируемые напряжения достигают $3,5 \text{ кВ}$, а токи 1200 А .

Схематичный разрез структуры *IGBT* показан на рис. 3.9 а. Биполярный транзистор образован слоями p^+ (эмиттер), n (база), p (коллектор); полевой - слоями n (исток), n^+ (сток) и металлической пластиной (затвор). Слои p^+ и p имеют внешние выводы, включаемые в силовую цепь. Затвор имеет вывод, включаемый в цепь управления. На рис. 3.9, б изображена структура *IGBT IV* поколения, выполненного по технологии "утопленного" канала (*trench-gate technology*), позволяющей исключить сопротивление между p -базами и уменьшить размеры прибора в несколько раз.

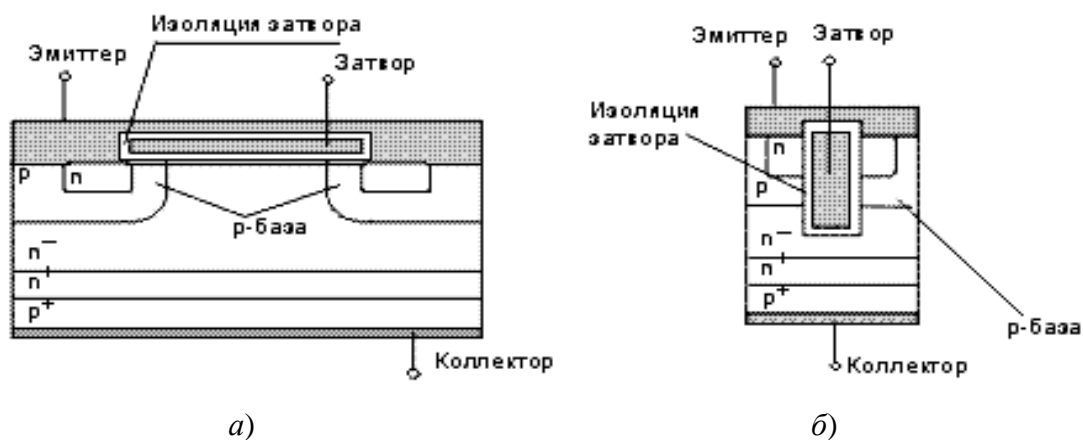


Рис. 3.9

Процесс включения *IGBT* можно разделить на два этапа: при подаче положительного напряжения на затвор электрическое поле оттолкнёт дырки,

находящиеся близко к поверхности затвора вглубь подложки, а электроны притянет, при достижении *порогового напряжения*, происходит открытие полевого транзистора (формируется *n* - канал между истоком и стоком). Движение зарядов из области *n* в область *p* приводит к открытию биполярного транзистора и возникновению тока от эмиттера к коллектору. Таким образом, полевой транзистор управляет работой биполярного.

IGBT обладает следующими достоинствами по сравнению с БТ:

- *IGBT* управляется не током, а напряжением. Управление напряжением снижает мощность, необходимую для переключения транзистора из одного состояния в другое.
- Скорость выключения *IGBT* выше, чем у БТ.
- Параметры *IGBT* меньше зависят от температуры, чем параметры БТ.
- Благодаря использованию многоячеистых интегральных схем в *IGBT* удаётся значительно снизить пороговое напряжение для преодоления потенциального барьера *p-n* перехода и переключения транзистора в рабочий режим.

Транзистор со статической индукцией (*SIT*)

SIT (*Static Induction Transistor*) – полевой транзистор с управляющим *p-n*-переходом со статической индукцией. Является многоканальным и имеет вертикальную структуру. Схематическое изображение *SIT* и схема включения с общим истоком показаны на рис. 3.10.

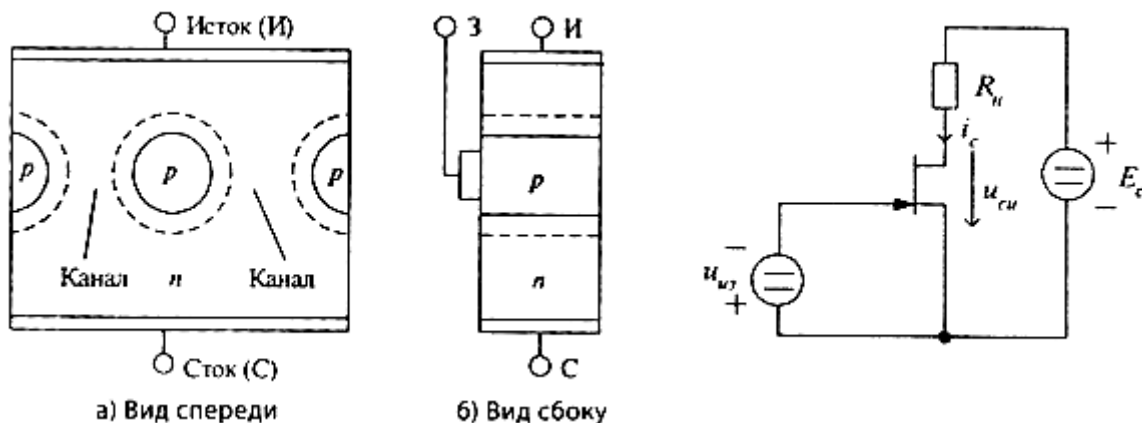


Рис. 3.10

Области полупроводника *p* - типа имеют форму цилиндров, диаметр которых составляет единицы микрометров и более. Эта система цилиндров играет роль затвора. Каждый цилиндр подсоединен к электроду затвора (на рис. 3.10, *a* электрод затвора не показан). Пунктиром обозначены области *p-n*-переходов. Реальное число каналов может составлять тысячи.

Обычно *SIT* используется в схемах с общим истоком, производят с каналом *n* и *p* – типа. *SIT* – транзисторы широко применяют в усилителях

мощности звуковых частот, а так же в устройствах силовой электроники в ключевом режиме работы.

Классификация и система обозначений полупроводниковых транзисторов

Классификация транзисторов по их назначению, физическим свойствам, основным электрическим параметрам, конструктивно-технологическим признакам, роду исходного полупроводникового материала находит свое отражение в системе условных обозначений их типов. В соответствии с появлением новых классификационных групп транзисторов совершенствуется и система их условных обозначений. Система обозначений современных типов транзисторов установлена отраслевым стандартом ГОСТ 11336.919-81 и базируется на ряде классификационных признаков. В основу системы обозначений положен буквенно-цифровой код.

Первый элемент обозначает исходный полупроводниковый материал, на основе которого изготовлен транзистор

Г или 1 — для германия или его соединений;

К или 2 — для кремния или его соединений;

А или 3 — для соединений галлия (практически для арсенида галлия, используемого для создания полевых транзисторов);

И или 4 — для соединений индия (эти соединения для производства транзисторов в качестве исходного материала пока не применяются).

Второй элемент обозначения – буква, определяющая подкласс (или группу) транзисторов. Для обозначения подклассов используется одна из двух букв: Т – для биполярных и П – для полевых транзисторов.

Третий элемент – цифра, определяющая основные функциональные возможности транзистора (допустимое значение рассеиваемой мощности и граничную либо максимальную рабочую частоту).

Для обозначения наиболее характерных эксплуатационных признаков транзисторов применяются следующие цифры.

Для транзисторов малой мощности (максимальная мощность, рассеиваемая транзистором, не более 0,3 Вт):

1 – с граничной частотой коэффициента передачи тока или максимальной рабочей частотой (далее граничной частотой) не более 3 МГц;

2 – с граничной частотой более 3, но не более 30 МГц;

3 – с граничной частотой более 30 МГц.

Для транзисторов средней мощности (максимальная мощность, рассеиваемая транзистором, более 0,3, но не более 1,5 Вт):

4 – с граничной частотой не более 3 МГц;

5 – с граничной частотой более 3, но не более 30 МГц;

6 – с граничной частотой более 30 МГц. Для транзисторов большей мощности (максимальная мощность, рассеиваемая транзистором, более 1,5 Вт):

7 – с граничной частотой не более 3 МГц;

8 – с граничной частотой более 3, но не более 30 МГц;

9 – с граничной частотой более 30 МГц.

Четвертый элемент – число, обозначающее порядковый номер разработки технологического типа транзисторов. Для обозначения порядкового

номера используют двузначные числа от 01 до 99. Если порядковый номер разработки превысит число 99, то применяют трехзначные числа от 101 до 999.

Пятый элемент – буква, условно определяющая классификацию по параметрам транзисторов, изготовленных по единичной технологии. В качестве классификационной литеры применяют буквы русского алфавита (за исключением З, О, Ч, Ы, Ш, Щ, Ю, Ъ, Ь Э).

Стандарт предусматривает также введение в обозначение ряда дополнительных знаков при необходимости отметить отдельные существенные конструктивно-технологические особенности приборов. В качестве дополнительных элементов обозначения используют следующие символы: цифра от 1 до 9 – для обозначения модернизаций транзисторов, приводящих к изменению его конструкции или электрических параметров; буква С – для обозначения наборов в общем корпусе однотипных транзисторов (транзисторные сборки); цифра, написанная через дефис, – для бескорпусных транзисторов.

Эти цифры соответствуют следующим модификациям конструктивного исполнения:

- 1 – с гибкими выводами без кристаллодержателя (подложки)
- 2 – с гибкими выводами на кристаллодержателе (подложке)
- 3 – с жесткими выводами без кристаллодержателя (подложки)
- 4 – с жесткими выводами на кристаллодержателе (подложке)
- 5 – с контактными площадками без кристаллодержателя (подложки) и без выводов (кристалл);

б – с контактными площадками на кристаллодержателе (подложке), но без выводов (кристалл на подложке).

[РАЗМЕРЫ УСЛОВНО ГРАФИЧЕСКИХ ОБОЗНАЧЕНИЙ \(ФЛЭШ\)](#) 

4. ПРИБОРЫ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ

Прибор с зарядовой связью (ПЗС) можно рассматривать как матрицу близко расположенных МДП-структур в которых происходит накопление и перенос информационного пакета носителей заряда инжектированных из истока либо возникших в подложке под воздействием оптического излучения.

ПЗС – полупроводниковый прибор, который относится к семейству полевых транзисторов, в отличие от остальных приборов его функционирование основано на постоянном динамическом изменении управляющего напряжения. На рис. 4.1 показана структура одного элемента, линейного трехфазного ПЗС в режиме накопления. Структура состоит из слоя кремния р-типа (подложка), изолирующего слоя двуокиси кремния и набора пластин-электродов. Если подать небольшой положительный потенциал на один из электродов ПЗС, а два других электрода оставить под нулевым потенциалом относительно подложки, то под положительно смещенным электродом образуется область, обедненная основными носителями — дырками. Они будут отеснены вглубь кристалла, под электродом формируется потенциальная яма. Неосновные носители заряда, электроны, будут накапливаться в потенциальной яме под электродом, к которому подведен положительный потенциал. Здесь они могут храниться достаточно длительное время, поскольку дырок в обедненной области нет и электроны не рекомбинируют.

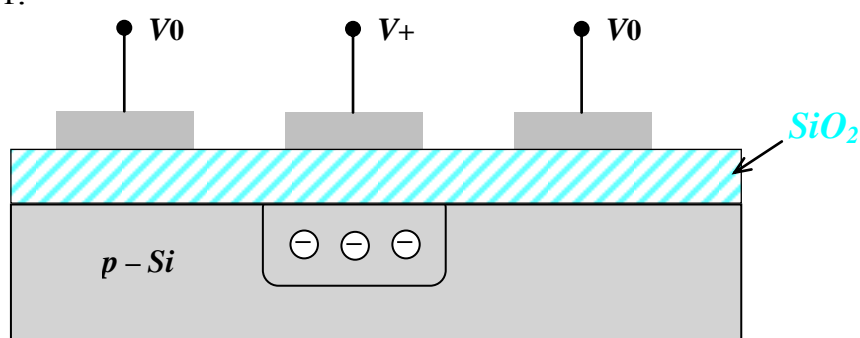


Рис. 4.1

Заряд, накопленный под одним электродом, в любой момент может быть перенесен под соседний электрод, если его потенциал будет увеличен, в то время как потенциал первого электрода, будет уменьшен. На рисунке 4.2 показан принцип переноса заряда на примере трехтактного ПЗС. В начальный момент времени на управляющий затвор подают напряжение, превышающее пороговое значение ($U_{пор}$) для образования проводящего канала, через который электроны от истока инжектируются в потенциальную область образованную напряжением U_1 затвора секции переноса (рис. 4.2, б). В следующем такте происходит смена потенциала на затворах переноса и пакет электронов перемещается под действием потенциала под затвором U_2 (рис. 4.2, в). Следующий такт смены управляющего напряжения передаст пакет электронов

к стоку (рис 4.2, з). Если в начальный момент времени напряжение на управляющем затворе $U_{упр}$ будет меньше $U_{пор}$, то при завершении цикла переноса с вывода стока будет снято нулевое напряжение.

Прибор обеспечивает перенос фиксированного заряда, величина которого определяется напряжением на управляющем затворе, а быстродействие частотой смены напряжения на секции переноса.

Приборы с зарядовой связью применяют: в запоминающих устройствах; в устройствах преобразования светового излучения в электрический сигнал (фоточувствительные ПЗС – ФПЗС). В ФПЗС формируются и переносятся зарядовые пакеты пропорциональные освещенности участка.

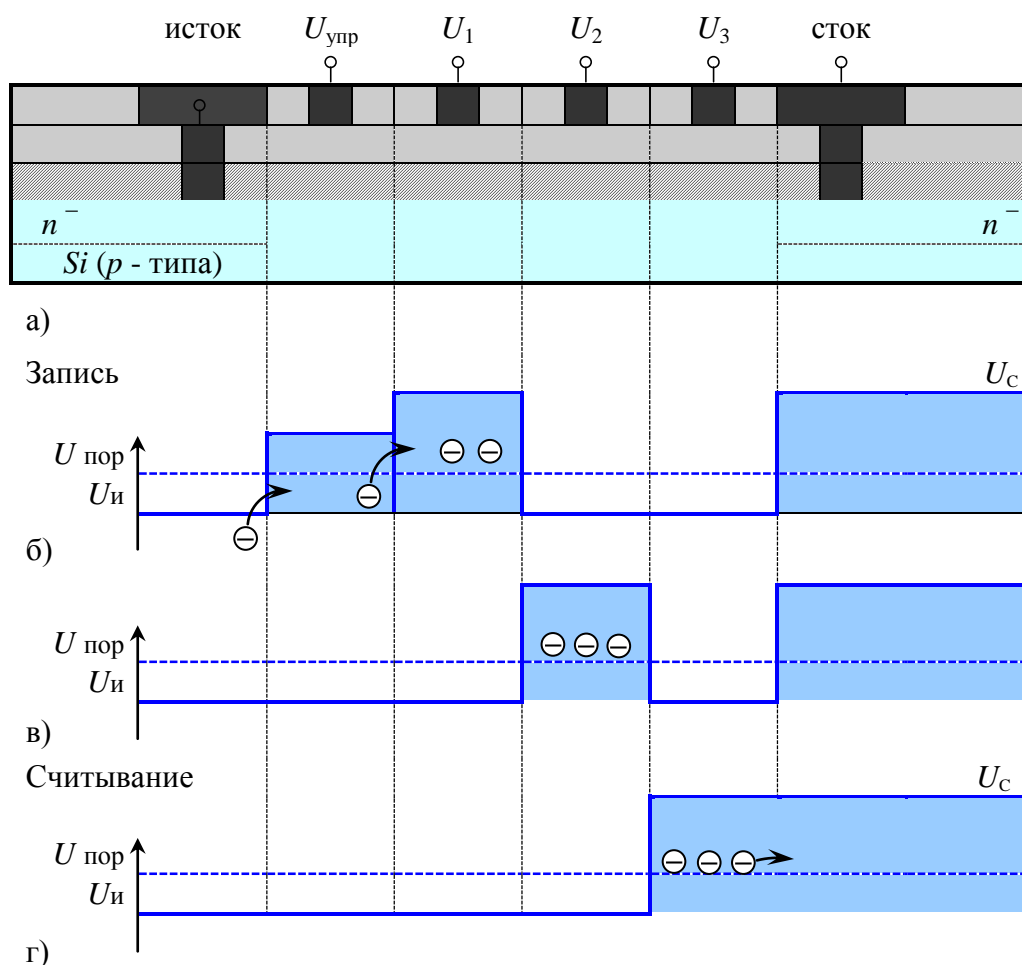


Рис. 4.2 Перенос зарядов в трехфазном ПЗС

[ПЕРЕНОС ЗАРЯДА В ПЗС \(ФЛЕШ\) 🌐](#)

5. ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ

Независимо от функционального назначения все электровакуумные приборы можно разделить на две группы: электронные и газоразрядные (ионные).

Принцип действия вакуумных электронных приборов (ламп) основан на движении электронов в вакууме под действием электрического поля. Эти приборы служат базой для изучения большинства видов радиоэлектронной аппаратуры. В современной аппаратуре электровакуумные приборы заменяются полупроводниковыми, однако имеются области, где электровакуумные приборы или превосходят полупроводниковые или являются незаменимыми.

С помощью электровакуумных приборов можно создать генераторы мегаваттной мощности ($\sim 10^6$ Вт), а с помощью одного полупроводникового прибора удастся получить примерно в 1000 раз меньшую мощность колебаний.

Электровакуумными приборами являются телевизионные передающие и приемные электронно-лучевые трубки. Кроме того, вся электронная аппаратура высшего класса выполняется на электронных лампах. Такого высокого качества звучания, как у усилителя на электронных лампах, невозможно достичь в усилителе, выполненном на полупроводниковых приборах и интегральных микросхемах.

Электронные приборы отличаются от второй группы приборов этого класса – ионных приборов тем, что все процессы происходят в них при очень высоком вакууме $1,33(10^{-4} \dots 10^{-5})$ Па и влияние газов на эти процессы ничтожно.

Существуют следующие группы электронных приборов:

1. **Электронные лампы** имеют накаленный катод и предназначены для преобразования электрического тока.

Их используют в генераторах переменного тока различной частоты, усилителях постоянного и переменного тока, усилителях мощности, выпрямителях переменного тока, стабилизаторах напряжения, преобразователях частоты, формирователях импульсов специальной формы и других устройствах.

2. **Электронно-лучевые приборы**. В этих приборах используется энергия потока электронов, сконцентрированного в узкий луч или пучка лучей. Их используют в телевидении (кинескопы, суперорбитроны), в измерительных приборах (осциллографы), дисплеях ЭВМ, радиолокаторах и индикаторах.

3. **Фотоэлектронные приборы** – преобразуют световые сигналы в электрические (фотоэлементы с внешним фотоэффектом и фотоэлектронные умножители).

Существуют и другие типы электронных приборов: электронно-оптические преобразователи, рентгеновские трубки.

Ионные (газоразрядные) приборы используют свойства электрического разряда в газах. Рабочий объем таких приборов после вакуумирования заполняется инертными газами, парами ртути, водородом до давления

0,133...1330 Па. Носителями зарядов в газоразрядных приборах являются электроны и ионы, образующиеся в результате ударной ионизации атомов газа.

Электронные лампы

В лампе имеется несколько проводящих элементов, называемых электродами. Эмиссию электронов в лампе осуществляет катод. Эта эмиссия вызывается либо нагревом катода, в результате которого электроны «закипают» и испаряются с его поверхности, либо воздействием света на катод. Движением эмиттированных электронов управляют электрические поля, создаваемые другими электродами внутри лампы. В большинстве случаев электроды лампы изолированы друг от друга и посредством проволочных выводов соединены с внешними схемами. Электроды, которые служат для управления движением электронов, называются сетками; электроды, на которые электроны собираются, называются анодами.

В электронной лампе относительно просто управлять величиной, продолжительностью, частотой и другими характеристиками электронного потока. Эти простота и легкость управления делают ее ценным прибором в многочисленных приложениях.

Диод – простейшая электронная лампа, в которой электроны, вышедшие из раскаленного катода, движутся в вакууме под действием положительного потенциала анода (рис. 5.1). Через лампу пройдет ток. При изменении полярности анода и катода электроны под действием электрического поля возвращаются назад на катод и ток через лампу протекать не будет. Свойство диода пропускать ток только в одном направлении называется односторонней проводимостью.

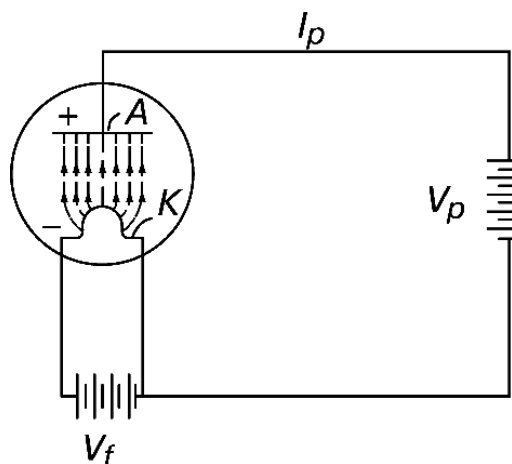


Рис. 5.1

Величина анодного тока зависит от температуры разогрева катода и величины анодного напряжения U_A . При возрастании температуры катода возрастает количество электронов, достигших анода. При небольших значениях анодного напряжения U_A не все электроны попадут на анод. Температура разогрева катода зависит от величины напряжения накала.

Простой иллюстрацией применения диода может служить схема, приведенная на рис. 5.2, где диод используется для зарядки конденсатора напряжением от источника переменного тока. Когда потенциал катода ниже анодного потенциала, через диод течет ток, так что, в конце концов, конденсатор заряжается

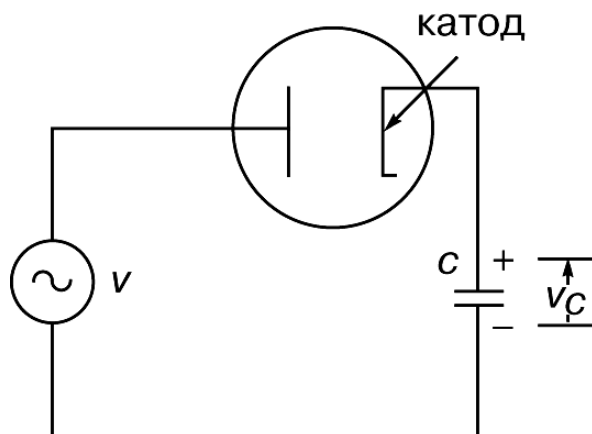


Рис. 5.2

до пикового напряжения источника переменного тока. Варианты схемы рис. 5.2 используются для детектирования сигнала звуковой частоты из радиочастотной волны и для получения мощности постоянного тока от источников переменного тока.

Триод – это электронная лампа, в которой имеется третий (управляющий) электрод, установленный между катодом и анодом (рис. 5.3).

Этот электрод обычно представляет собой сетку из тонких проволок, установленную очень близко к катоду, чтобы при небольшой разности потенциалов между сеткой и катодом в области между этими двумя электродами действовало сравнительно высокое электрическое поле. При этом потенциал сетки будет оказывать сильное воздействие на электроны.

Типичная схема усилителя, выполненного на триоде, приведена на рис. 5.4. К сетке подключена батарея отрицательного напряжения смещения, обозначенная E_{gg} . Поскольку сетка имеет отрицательный потенциал по отношению к катоду, она не будет привлекать к себе электроны

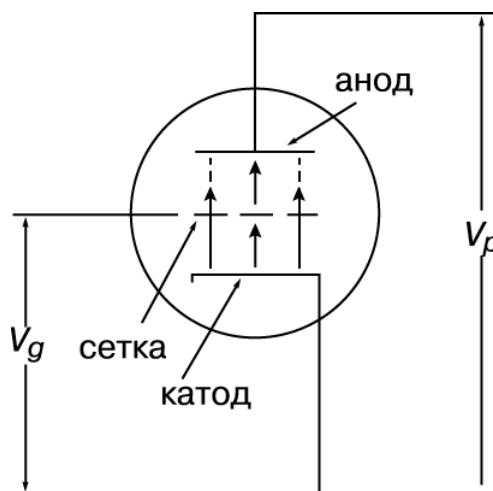


Рис. 5.3

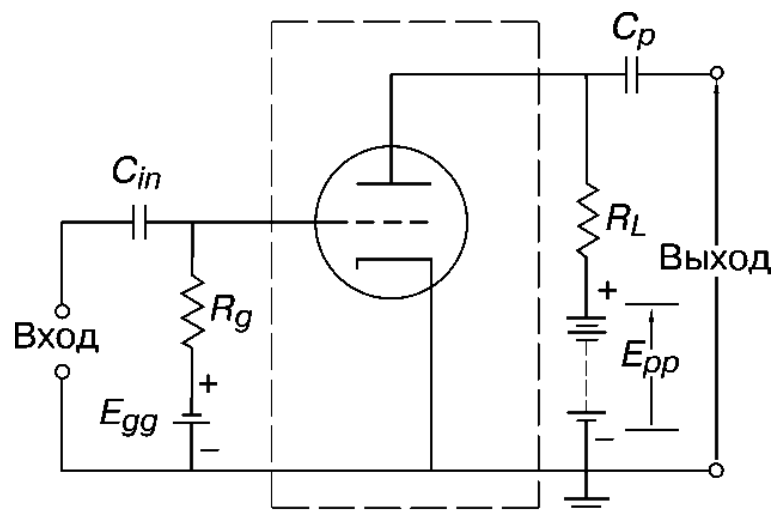


Рис. 5.4

потока, движущегося от катода к аноду. На аноде поддерживается положительный потенциал относительно катода, что обеспечивается батареей E_{pp} .

Значения параметров E_{gg} , E_{pp} , сопротивлений резистора R_g в цепи сетки и нагрузочного резистора R_L выбирают так, чтобы через лампу шел некоторый ток. Потенциал анода, следовательно, получается несколько меньшим, чем потенциал E_{pp} его источника питания, вследствие протекания тока через R_L .

Если на сетку подать через конденсатор положительный сигнал, она будет воздействовать на электроны, выходящие из катода. Поскольку такая сетка представляет собой слабое физическое препятствие для электронов, они будут проходить сквозь сетку на анод. Поэтому при изменении потенциала сетки в положительную сторону ток через триод возрастает, а напряжение на аноде уменьшается. (Это уменьшение происходит из-за увеличения падения

напряжения на R_L , связанного с увеличением тока.) Если же входной сигнал, приходящий на сетку, меняет ее потенциал в отрицательном направлении, то происходит прямо противоположный процесс; напряжение на аноде возрастает. Во многих электронных лампах изменение сеточного напряжения по существу определяет изменение тока анода; отсюда следует, что изменения напряжения на аноде определяются выбором R_L . В результате малое изменение напряжения сетки может при достаточно большом R_L вызывать гораздо большее изменение напряжения на аноде.

Многоэлектродные лампы

Лампа с двумя сетками (четырьмя электродами) называется **тетродом**. Обычно вторая сетка, которая называется экранной и поддерживается под положительным потенциалом, находится между управляющей сеткой и анодом. Ее роль состоит в том, чтобы экранировать управляющую сетку от анода, уменьшая, таким образом, емкость между ними, которая в ряде случаев может привести к нежелательным эффектам обратной связи. Если между экранной сеткой и анодом добавляют еще одну сетку – антидинатронную, в результате получается пятиэлектродная лампа, или **пентод**. В тетроде электроны, достигающие поверхности анода, при ударе об нее выбивают вторичные электроны. Некоторые из них могут двигаться в обратном направлении и собираться экранной сеткой, обычно имеющей потенциал, близкий к потенциалу анода. Такой процесс вызывает потери в общем потоке электронов, проходящих через анод (в анодном токе). Антидинатронная сетка, находящаяся между экранной сеткой и анодом, поддерживается под отрицательным потенциалом по отношению к обоим соседним электродам, так что возвращающиеся электроны отталкиваются ею обратно к аноду. На рис. 5.5 показана типичная схема включения пентода.

В некоторых случаях для уменьшения габаритов две отдельные структуры электронных ламп объединяют в герметичном едином корпусе.

К **электронно-лучевым приборам** относятся ЭЛТ (электронно-лучевые трубки) индикаторных устройств радиолокаторов, осциллографов, кинескопы – это приемные телевизионные ЭЛТ, электронные микроскопы и некоторые другие приборы. ЭЛТ делятся на трубки с электростатическим и с магнитным управлением.

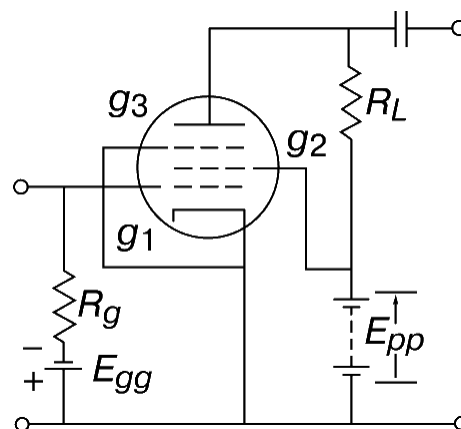


Рис. 5.5

Фотоэлектронные приборы

Фотоэлектронный электровакуумный прибор (фотоэлемент) – это электронная лампа, имеющая катод, который эмитирует электроны, когда на

него попадает видимый свет или инфракрасное либо ультрафиолетовое излучение. Изменения интенсивности излучения вызывают соответствующие изменения электронного потока в лампе, а следовательно, и тока во внешней цепи.

В научных исследованиях и технике фотоэлектронные приборы используют для измерений освещенности. Они находят применение также в устройствах управления уличным освещением, для уравнивания цветов в телевидении и согласования красок в полиграфии, для подсчета объектов на производстве. Фотоэлектронные приборы используются для считывания звука при демонстрации кинофильмов. Звук записывается на пленке в виде непрерывной дорожки переменной плотности, которая модулирует световой луч, направляемый на фотоэлектронный прибор. Выходной сигнал этого прибора получается пропорциональным плотности звуковой дорожки, записанной на пленке.

6. ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ

Интегральная микросхема (ИС) – микроэлектронное изделие, выполняющее определенную функцию обработки сигналов и имеющее высокую плотность размещения электрически соединенных элементов и компонентов.

Элемент ИС – часть ИС, выполняющая функцию транзистора, резистора или другого электрорадиоэлемента, изготовленного в едином технологическом цикле (при создании ИС) и не представляющая собой самостоятельного изделия.

Компонент ИС – представляет собой самостоятельное комплектующее изделие, которое устанавливается в ИС в процессе ее изготовления.

Все элементы ИС и их соединения выполнены в едином технологическом цикле на общей подложке.

Технологические процессы:

- а) наращивание полупроводникового материала на кремниевой подложке;
- б) термическое окисление кремния для получения слоя окисла SiO_2 , защищающего поверхность кристалла от внешней среды;
- в) фотолитография, обеспечивающая требуемые конфигурации пленок (SiO_2 , металл и т.п.) на поверхности подложки;
- г) локальная диффузия – перенос примесных атомов в ограниченные области полупроводника (в настоящее время – ионная имплантация легирующего вещества);
- д) напыление тонких (до 1 мкм) пленок;
- е) нанесение толстых (более 1 мкм) пленок путем использования специальных паст с их последующим вжиганием.

ИС изготавливаются методами интегральной технологии, имеющей следующие отличительные особенности:

1. Элементы, однотипные по способу изготовления, представляют собой или полупроводниковые *p-n* структуры с несколькими областями, различающиеся концентрацией примесей или пленочные структуры из проводящих, резистивных и диэлектрических пленок.

2. Одновременно в едином технологическом цикле изготавливается большое количество одинаковых функциональных узлов, каждый из которых, в свою очередь, может содержать до сотен тысяч и более элементов.

3. Сокращается количество технологических операций (сборка, монтаж элементов) на несколько порядков по сравнению с традиционными методами производства аппаратуры на дискретных элементах.

4. Размеры элементов и соединений между ними уменьшаются до технологически возможных пределов.

5. Низконадежные соединения элементов, выполненные с помощью пайки, исключаются и заменяются высоконадежными соединениями (путем металлизации).

По технологии построения интегральные микросхемы подразделяют на:

- полупроводниковые;
- пленочные;
- гибридные;
- совмещенные.

В полупроводниковых ИС все элементы (диоды, транзисторы, резисторы и т. д.) и межсоединения выполнены на основе одного кристалла полупроводникового материала

В плёночных ИС все элементы представляют собой пленки, выполненных на поверхности диэлектрической подложки. Различают тонкопленочные и толстопленочные ИС.

В гибридных ИС пассивные элементы выполнены в виде пленок а активные (диоды, транзисторы и т.д.) являются навесными

Последовательность основных этапов построения полупроводниковой ИС:

1. Выращивание кристалла кремния.
2. Разрезка на пластины (200...300мкм, Ø 40 – 150мм).
3. Очистка поверхности пластин.
4. Получение элементов и их соединений на пластине методом фотолитографии.
5. Разрезка пластин на отдельные части (кристаллы).
6. Закрепление в корпусе.
7. Подсоединение выводов с контактными площадками.
8. Герметизация корпуса.

Особенности ИС (на примере полупроводниковой):

- ИС самостоятельно выполняет законченную, часто весьма сложную, функцию;
- ИС может рассматриваться не только как элемент с определенными параметрами, но и как устройство с определенной электрической схемой;
- снимаются принципиальные ограничения по усложнению функций аппаратуры, которые были свойственны традиционному построению радиоэлектронных устройств на дискретных элементах;
- на одном и том же кристалле можно реализовать узел различной сложности.

Элементы ИС отличаются от аналогичных дискретных элементов:

- большой разброс параметров относительно расчетных (из-за малых размеров, невозможностью подгонки и подстройки);
- ограничение номинальных значений – сопротивлений и емкостей (из-за малой площади). Индуктивность вовсе не реализуется;
- однотипные элементы одной ИС характеризуется высокой идентичностью параметров и характеристик;

- наличие ряда паразитных параметров (токи утечки в подложку, появление емкостных и индуктивных связей между близкорасположенными элементами, соединениями и подложкой).

В ИС при создании функционального узла предпочтение отдается активным элементам перед пассивными. При построении аналогичных узлов на дискретных элементах, наоборот, стремятся уменьшить количество дорогих активных элементов (транзисторов и т.п.).

В ИС реализуются некоторые типы элементов, которые не имеют дискретных аналогов (многоэмиттерные транзисторы, элементы с инжекционным питанием, структуры с распределенными параметрами и др.).

Основные достоинства ИС:

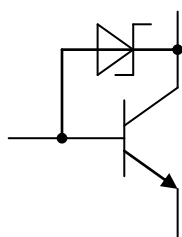
- Высокая надежность.
- Малые размеры и масса.
- Экономичность.
- Быстродействие.

Элементы полупроводниковых ИС

Биполярные транзисторы – базовый элемент биполярной ИС. Как правило, *n-p-n*. Могут иметь несколько эмиттеров (многоэмиттерные).

Изоляция от остальных элементов осуществляется посредством *p-n* перехода либо диэлектрической изоляцией (изопланарные транзисторы).

Для повышения быстродействия транзисторов шунтируют коллекторный переход диодом Шоттки, в котором используется переход металл-полупроводник (у ДШ на 30% ниже ΔU_{np}).



1.

Рис. 6.1

2. Полупроводниковые диоды – используются эмиттерные или коллекторные переходы транзисторной структуры (обычно Э, а Б и К соединяют).

3. Полупроводниковые конденсаторы – на базе *p-n* переходов. Работают при закрывающем напряжении $C \leq 100$ пФ).

4. Резисторы – используются резистивные свойства областей Э (30...70 кОм), Б (10...100 кОм), К (2...100 Ом).

5. Элементы с инжекционным питанием. Ток возникает при вводе в базу (инъекции) избыточных носителей заряда. Для этого имеется специальный электрод – инжектор (генератор тока).

Режимы работы:

- 1) насыщение (инжекция, транзистор открыт);

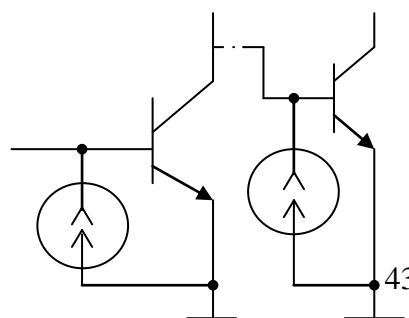


Рис. 6.2

2) отсечка (транзистор закрыт).

Достоинства:

1) большая плотность размещения элементов (инжектор используется на 10...20 элементов)

2) самые экономичные (потребляемая мощность 0,01...0,1 мВт)

3) работа переключения мала (1 пДж) ($t_{\text{задержки}} \times P_{\text{потр.}}$)

6. МДП – транзисторы применяют с индуцированным и со встроенным каналом (канал n -типа).

Достоинства:

1) более технологичны (в 1,5 раза меньше операций по изготовлению);

2) меньшая площадь.

7. МДП – резисторы – используется сопротивление канала транзистора ($> 200 \text{ кОм} = f(U_3)$).

8. МДП – конденсаторы образуются металлическим затвором, подзатворным диэлектриком и сильно легированной областью n + ($C \leq 1000 \text{ пФ}$)

9. Комплементарные МДП – транзисторы. Последовательное включение двух МДП – транзисторов с каналами разного типа проводимости.

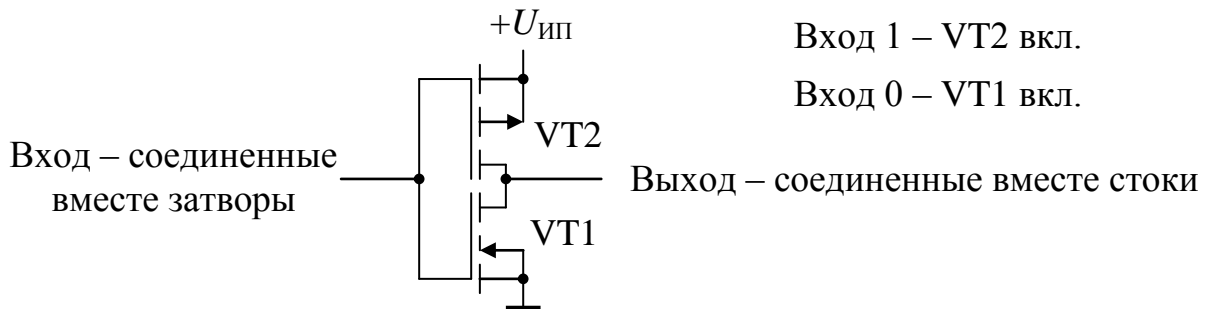


Рис. 6.3

10. МНОП – транзисторы (+ N – нитрид кремния)

Классификация и система обозначений интегральных микросхем

В зависимости от функционального назначения ИС можно разделить на аналоговые и цифровые.

В аналоговых ИС сигнал на выходе является непрерывной функцией сигнала на входе.

Пример: генераторы, вторичные источники питания, устройства задержки и сравнения сигнала, усилители, коммутаторы, модуляторы, преобразователи, фильтры и др.

В цифровых ИС сигналы имеют два дискретных уровня (0 и 1), т.е. служат для преобразования и обработки дискретных сигналов.

Пример: логические элементы, триггеры, цифровые устройства, запоминающие устройства, вычислительные устройства.

Классификация по степени интеграции (табл. 2)

Таблица 2

Наименование ИС	Вид ИС	Технология изготовления	Число элементов и компонентов в корпусе N
Малая ИС (МИС)	Цифровая	Биполярная, МДП	1...100
	Аналоговая	Биполярная	1...30
Средняя ИС (СИС)	Цифровая	МДП	101...1000
	Аналоговая	Биполярная, МДП	101...500 31...100
БИС	Цифровая	МДП	1001...10000
	Аналоговая	Биполярная, МДП	501...2000 101...300
СБИС	Цифровая	МДП	> 10000
	Аналоговая	Биполярная, МДП	> 2000 > 300

Степень интеграции $K = \lceil \lg N \rceil$:

$$K = 1 \rightarrow N \leq 10$$

$$K = 2 \rightarrow N \leq 100$$

$$K = 3 \rightarrow N \leq 1000$$

$$K = 4 \rightarrow N \leq 10000$$

$$K = 5 \rightarrow N \leq 100000$$

$$K = 6 \rightarrow N \leq 1000000$$

Ожидается $K = 7$.

Корпуса микросхем

Корпуса микросхем по конструкции делятся на пять типов (ГОСТ 17467-79), которые показаны на рис. 6.4. Корпус типа 1 (рис. 6.4, а) – прямоугольный с выводами, перпендикулярными плоскости основания и расположенными в пределах проекции корпуса. Корпус типа 2 (рис. 6.4, б) отличается выводами, которые выходят за пределы проекции корпуса (в переводной литературе часто используется термин ДИП – корпус). Корпус типа 3 (рис. 6.4, в) – круглый, подобный корпусам транзисторов, но отличающийся большим числом выводов. Корпус типа 4 (рис. 6.4, д) – прямоугольный с выводами, расположенными параллельно плоскости основания. Корпус типа 5 (рис. 6.4, е) – прямоугольный, безвыводной; электрическое соединение ИС, размещенной в таком корпусе, осуществляется с помощью металлизированных контактных площадок, расположенных по периметру корпуса.

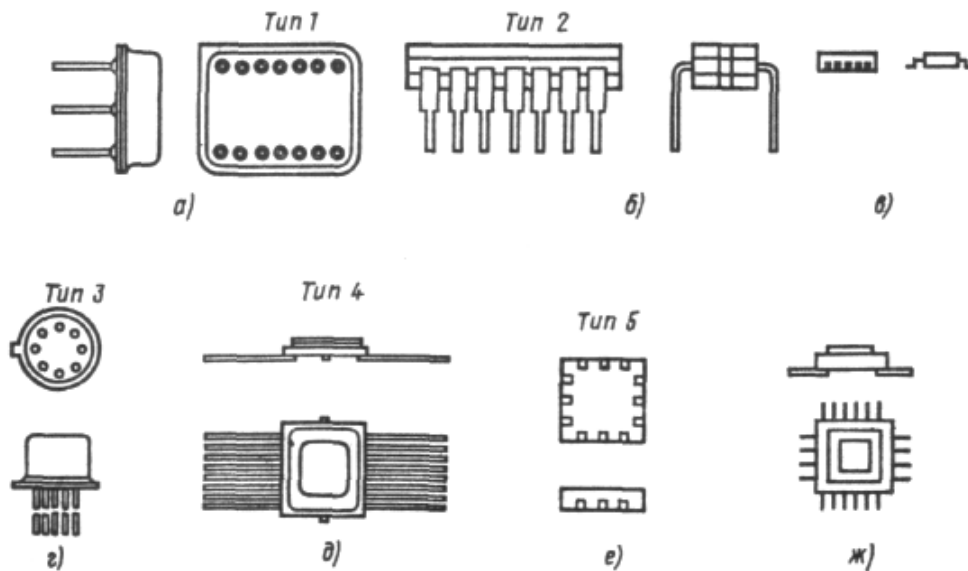


Рис. 6.4 – Корпуса микросхем

Система обозначений интегральных микросхем.

Система обозначений микросхем включает несколько групп символов:

Обозначение:	X	X	X	XXX	X	X	XX	X
Позиции:	1	2	3	4	5	6	7	8

1. 1...2 буквы (необязательное) применение;
2. 1 буква (необязательно) исполнение корпуса;
3. 1 цифра — группа (по конструктивно-технологическому исполнению)
4. 2...3 цифры — порядковый номер серии;
5. 1 буква — функциональная подгруппа;
6. 1 буква — вид;
7. 1...2 цифры — подвид;
8. 1 цифра (необязательно, после дефиса) — модификация конструктивного исполнения;

Так, обозначение К1533ЛА3 обозначает: применение – К (общее), группа – 1 (полупроводниковая или гибридная), серия – 533 (ТТЛ), вид – ЛА (логические элементы И-НЕ), подвид – 3 (4 × 2И-НЕ).

Таблица 3

Обозначение	Позиция, назначение
	1 → Применение
К	общего применения
Э	экспортное исполнение
	2 → Исполнение корпуса
А, Ф	миниатюрный пластмассовый
Б	бескорпусной
Е	металлополимерный DIP
М	металлокерамический
Н	миниатюрный металлокерамический
Р	пластмассовый типа DIP
	3 → Группа
1, 5, 6, 7	полупроводниковые
2, 4, 8	гибридные
3	прочие
	5, 6 → Подгруппа и вид
А-	Формирователи
АА	адресных импульсов тока
АГ	импульсов прямоугольной формы
АП	прочие
АР	разрядных токов
АФ	импульсов специальной формы

Обозначение	Позиция, назначение
Б-	Схемы задержки
БМ	пассивные
БП	прочие
БР	активные
В-	Схемы вычислительных средств
ВА	сопряжения с магистралью
ВБ	синхронизации
ВВ	управления вводом-выводом (схемы интерфейса)
ВГ	контроллеры
ВЕ	микро-ЭВМ
ВЖ	специализированные
ВИ	времязадающие
ВК	комбинированные
ВМ	микропроцессоры
ВН	управления прерыванием
ВП	прочие
ВР	функциональные расширители
ВС	микропроцессорные секции
ВТ	управления памятью
ВУ	микропрограммного управления
ВФ	функциональные преобразователи информации
ВХ	калькуляторы
Г-	Генераторы сигналов
ГГ	прямоугольных сигналов
ГЛ	линейно изменяющихся сигналов
ГМ	шума
ГС	гармонических сигналов
ГФ	сигналов специальной формы
Д-	Детекторы
ДА	амплитудные
ДИ	импульсные
ДП	прочие
ДС	частотные
ДФ	фазовые
Е-	Схемы источников вторичного питания
ЕВ	выпрямители
ЕК	стабилизаторы импульсные
ЕМ	преобразователи
ЕН	стабилизаторы непрерывные
ЕП	прочие

Обозначение	Позиция, назначение
ЕС	исистемы источников вторичного питания
ЕТ	стабилизаторы тока
ЕУ	управления импульсными преобразователями
И-	Схемы арифметических и дискретных устройств
ИА	арифметико-логические устройства
ИБ	шифраторы
ИД	дешифраторы
ИЕ	счётчики
ИК	комбинированные
ИЛ	полусумматоры
ИМ	сумматоры
ИП	прочие
ИР	регистры
К-	Коммутаторы и ключи
КН	напряжения
КП	прочие
КТ	тока
Л-	Логические элементы
ЛА	И-НЕ
ЛБ	И-НЕ / ИЛИ-НЕ
ЛД	расширители
ЛЕ	ИЛИ-НЕ
ЛИ	И
ЛК	И-ИЛИ-НЕ / И-ИЛИ
ЛЛ	ИЛИ
ЛМ	ИЛИ-НЕ / ИЛИ
ЛН	НЕ
ЛП	прочие
ЛР	И-ИЛИ-НЕ
ЛС	И-ИЛИ
М-	Модуляторы
МА	амплитудные
МИ	импульсные
МП	прочие
МС	частотные
МФ	фазовые
Н-	Наборы элементов
НД	диодов
НЕ	конденсаторов
НК	комбинированные

Обозначение	Позиция, назначение
НП	прочие
НР	резисторов
НТ	транзисторов
НФ	функциональные
П-	Преобразователи сигналов
ПА	цифро-аналоговые
ПВ	аналого-цифровые
ПД	длительности
ПЕ	умножители частоты аналоговые
ПК	делители частоты аналоговые
ПЛ	синтезаторы частоты
ПМ	мощности
ПН	напряжения (тока)
ПП	прочие
ПР	код — код
ПС	частоты
ПУ	уровня (согласовательные)
ПЦ	делители частоты цифровые
Р-	Схемы запоминающих устройств
РА	ассоциативные
РВ	матрицы ПЗУ
РЕ	масочные ПЗУ
РМ	матрицы ОЗУ
РП	прочие
РР	многократно электрически перепрограммируемые ПЗУ
РТ	однократно программируемые ПЗУ
РУ	ОЗУ
РФ	ПЗУ с УФ стиранием
РЦ	на основе ЦМД
С-	Схемы сравнения
СА	компараторы напряжения
СВ	временные
СК	амплитудные
СП	прочие
СС	частотные
Т-	Триггеры
ТВ	универсальные (типа JK)
ТД	динамические
ТК	комбинированные
ТЛ	Шмитта

Обозначение	Позиция, назначение
ТМ	с задержкой (типа <i>D</i>)
ТП	прочие
ТР	с отдельным запуском (типа <i>RS</i>)
ТТ	счётные (типа <i>T</i>)
У-	Усилители
УВ	высокой частоты
УД	операционные усилители
УЕ	повторители
УИ	импульсных сигналов
УК	широкополосные
УЛ	считывания и воспроизведения
УМ	индикации
УН	низкой частоты
УП	прочие
УР	промежуточной частоты
УС	дифференциальные
УТ	постоянного тока
Ф-	Фильтры
ФВ	верхних частот
ФЕ	полосовые
ФН	нижних частот
ФП	прочие
ФР	режекторные
Х-	Многофункциональные схемы
ХЛ	цифровые
ХК	комбинированные
ХМ	цифровые матрицы

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Валентная связь - взаимное притяжение атомов, приводящее к образованию молекул и кристаллов. Принято говорить, что в молекуле или в кристалле между соседними атомами существуют химическая связь. Валентность атома показывает число связей, образуемых данным атомом с соседними атомами.

Акцепторные примеси - атомы химических элементов, внедренные в кристаллическую решетку полупроводника и создающие дополнительную концентрацию дырок. Акцепторными примесями являются химические элементы, внедренные в полупроводник с большей, чем у примеси, валентностью.

Донорные примеси - атомы химических элементов: - внедренные в кристаллическую решетку полупроводника; и - создающие дополнительную концентрацию свободных электронов. Донорными примесями являются химические элементы, внедренные в полупроводник с меньшей, чем у примеси, валентностью.

Диффузия - явление самопроизвольного проникновения одного вещества в другое вещество, обусловленное тепловым движением атомов, молекул, ионов и других частиц. Скорость протекания процесса диффузии зависит от рода диффундирующих веществ и температуры

Объемный заряд - Атом примеси, потерявший один электрон, превращается в неподвижный положительный ион, связанный в узле кристаллической решетки, т.е. происходит ионизация атомов примеси. Положительный заряд иона примеси компенсируется отрицательным зарядом свободного электрона, и слой полупроводника с примесью остается электрически нейтральным, если свободный электрон не уходит из этого слоя. В случае ухода электрона в другие слои полупроводникового кристалла неподвижные заряды ионов примеси образуют нескомпенсированный положительный объемный заряд.

Катод – один из электродов электровакуумного или полупроводникового приборов, соединенный с отрицательным полюсом источника электрического тока.

Анод – один из электродов электровакуумного или полупроводникового приборов, соединенный с положительным полюсом источника электрического тока.

Электрический пробой полупроводников - резкое падение их электрического сопротивления при достаточно высоком приложенном к образцу напряжении. Э. п. отличается от теплового малым временем развития пробоя, слабой зависимостью пробивного напряжения от температуры. Э. п. обусловлен ударной ионизацией атомов и молекул электронами. Электрон получает возможность ударной ионизации, если энергия U , передаваемая ему электрическим полем, оказывается больше энергии U' , теряемой электроном при рассеянии на фононах, дефектах и примесях кристаллической решётки. При этом электрон может ускоряться в электрическом поле до энергии, достаточной для ионизации атомов и молекул электронным ударом и тем самым для развития лавинного процесса.

Инжекционная электролюминесценция - возникает при прямом включении p - n – перехода. В n -область инжектируются избыточные дырки, а в p - область — электроны, т. е. часть носителей проникает в переход и прилегающие к нему области и рекомбинирует с носителями заряда противоположного знака, испуская при этом кванты света. Рекомбинация может происходить также с участием уровней примеси. При рекомбинации электронов и дырок в этом слое возникает свечение. Цвет свечения при инжекционной электролюминесценции зависит от материала-основы и природы примесей.

Внутренний фотоэффект в кристаллических полупроводниках и некоторых диэлектриках состоит в том, что под действием света электропроводимость этих веществ увеличивается за счет возрастания в них числа свободных носителей тока - электронов проводимости, то есть происходит переход электрона из одной энергетической зоны (валентной) в другую (проводимости)

Внешний фотоэффект – испускание электронов из одной среды в другую под воздействием квантов электромагнитного излучения (фотонов).

Динатронный эффект – изменение тока в электровакуумных приборах,

обусловленное возникновением вторичной электронной эмиссии с поверхности электродов под воздействием электронной бомбардировки.

Дрейф носителей заряда – движение электронов и дырок под воздействием электрического поля.

Инжекция электронов – введение (вбрасывание) избыточных электронов в полупроводник под воздействием электрического поля.

Эмиттер – (лат. emittere испускать, излучать)1) излучатель;2) электрод, который является источником электронов при воздействии внешних причин (нагревание, электрическое поле и т. д.).

Коллектор – (от позднелат. collector собиратель), электрод биполярного транзистора, принимающий носители заряда

Эмиттерный переход – $p-n$ переход в транзисторе между эмиттером и базой.

Коллекторный переход – $p-n$ переход в транзисторе между базой и коллектором.

Каскад – схема одноступенчатого усилителя, построенная на одном усилительном элементе (лампа, биполярный или полевой транзистор).

ОЭ, ОК, ОБ – включение биполярного транзистора по схеме с общим эмиттером, общим коллектором, общей базой.

ОИ, ОС, ОЗ – включение полевого транзистора по схеме с общим истоком, общим стоком, общим затвором.

ОК, ОА, ОС – включение лампы по схеме с общим катодом, общим анодом, общей сеткой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбачев, Г.Н. Промышленная электроника: учебник для вузов / Г.Н. Горбачев, Е.Е. Чаплыгин; под ред. В.А. Лабунцова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 320 с.
2. Лачин, В.И. Электроника: учебное пособие / В.И. Лачин, Н.С. Савёлов – Ростов н/Д: изд-во «Феникс», 2002. – 576с.
3. Опадчий, Ю.Ф. Аналоговая и цифровая электроника (Полный курс): учебник для вузов / Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров. – М.: Горячая линия - Телеком, 2005. – 768 с.
4. Забродин, Ю.С. Промышленная электроника: учебник для вузов / Ю.С. Забродин. – М.: ООО ИД «Альянс», 2008. – 496 с.
5. Руденко, В.С. Основы преобразовательной техники / В.С. Руденко, В.И. Сенько, И.М. Чиженко. – М.: Высш. шк., 1980. – 424 с.
6. Гусев, В.Г. Электроника и микропроцессорная техника / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – Москва: Высшая школа, 2005. – 790 с.
7. Титце, У. Полупроводниковая схемотехника / У. Титце, К. Шенк; пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
8. Прянишников, В.А. Электроника: Полный курс лекций / В.А. Прянишников. – 4-е изд. – СПб.: КОРОНА принт, 2004. – 415 с.
9. Галкин, В.И. Полупроводниковые приборы. Справочник / В.И. Галкин, А.Л. Булычев, В.А. Прохоренко. – Мн.: Беларусь, 1987. – 285 с.
10. Петров, К.С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника: учебное пособие - СПб: Питер, 2006. – 522с.
- 11.- Интернет журнал «Специальная техника» № 4 1999г
<http://ess.ru/publications/articles/nikulin2/nikulin.htm>
12. Приборы полупроводниковые. Обозначения условные графические в схемах: ГОСТ 2.730-73 ЕСКД
13. Транзисторы биполярные и полевые. Основные параметры: ГОСТ 17466-80
14. Приборы электровакуумные. Обозначения условные графические в схемах: ГОСТ 2.731-81 (СТ СЭВ 865-78) ЕСКД
15. Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники: ГОСТ 2.743-91 1993

СОДЕРЖАНИЕ

Общие сведения	3
1. Полупроводниковые диоды	5
Классификация и система обозначений полупроводниковых диодов	10
2. Тиристоры.....	13
Симистор.....	15
Фототиристоры	17
Основные параметры тиристоров	17
Классификация и система обозначений полупроводниковых тиристоров	18
3. Транзисторы	21
Биполярные транзисторы	21
Полевые транзисторы	26
Полевые транзисторы с управляющим $n - p$ -переходом.....	26
Полевые транзисторы МДП – типа со встроенным каналом	27
Полевые транзисторы МДП – типа с индуцированным каналом	28
Биполярные транзисторы и изолированным затвором (БТИЗ)	29
Транзистор со статической индукцией (<i>SIT</i>).....	30
Классификация и система обозначений полупроводниковых транзисторов.....	32
4. Приборы с зарядовой связью	34
5. Электровакуумные приборы.....	36
Электронные лампы.....	37
Многоэлектродные лампы	39
Фотоэлектронные приборы.....	39
6. Интегральные микросхемы	41
Элементы полупроводниковых ИС.....	43
Классификация и система обозначений интегральных микросхем	44
Корпуса микросхем.....	47
Система обозначений интегральных микросхем.	48
Словарь терминов	53
Литература.....	56
Содержание.....	57