

Электронно-дырочный переход. Транзистор

В современной электронной технике полупроводниковые приборы играют исключительную роль. За последние три десятилетия они почти полностью вытеснили электровакуумные приборы.

В любом полупроводниковом приборе имеется один или несколько электронно-дырочных переходов. Электронно-дырочный переход (или n – p –переход) – это область контакта двух полупроводников с разными типами проводимости.

В полупроводнике n -типа основными носителями свободного заряда являются электроны; их концентрация значительно превышает концентрацию дырок ($n_p \gg p_p$). В полупроводнике p -типа основными носителями являются дырки ($p_p \gg n_p$). При контакте двух полупроводников n - и p -типов начинается процесс диффузии: дырки из p -области переходят в n -область, а электроны, наоборот, из n -области в p -область. В результате в n -области вблизи зоны контакта уменьшается концентрация электронов и возникает положительно заряженный слой. В p -области уменьшается концентрация дырок и возникает отрицательно заряженный слой. Таким образом, на границе полупроводников образуется двойной электрический слой, поле которого препятствует процессу диффузии электронов и дырок навстречу друг другу (рис.1). Пограничная область раздела полупроводников с разными типами проводимости (так называемый запирающий слой) обычно достигает толщины порядка десятков и сотен межатомных расстояний. Объемные заряды этого слоя создают между p - и n -областями запирающее напряжение U_z , приблизительно равное 0,35 В для германиевых n – p –переходов и 0,6 В для кремниевых.

n – p –переход обладает удивительным свойством односторонней проводимости.

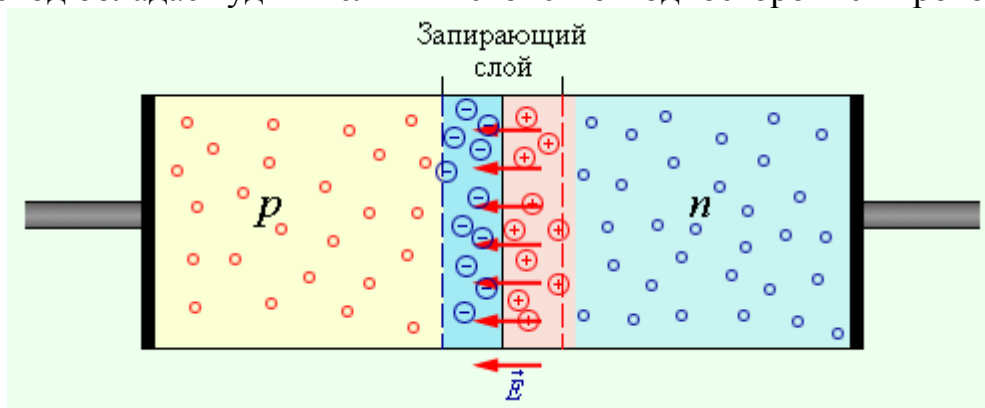


Рисунок 1. Образование запирающего слоя при контакте полупроводников p - и n -типов

Если полупроводник с n – p –переходом подключен к источнику тока так, что положительный полюс источника соединен с n -областью, а отрицательный – с p -областью, то напряженность поля в запирающем слое возрастает. Дырки в p -области и электроны в n -области будут смещаться от n – p –перехода, увеличивая тем самым концентрации неосновных носителей в запирающем слое. Ток через n – p –переход практически не идет. Напряжение, поданное на n – p –переход в этом случае называют обратным. Весьма незначительный обратный ток обусловлен только собственной проводимостью полупроводниковых материалов, т. е.

наличием небольшой концентрации свободных электронов в р-области и дырок в п-области.

Если п–р-переход соединить с источником так, чтобы положительный полюс источника был соединен с р-областью, а отрицательный с п-областью, то напряженность электрического поля в запирающем слое будет уменьшаться, что облегчает переход основных носителей через контактный слой. Дырки из р-области и электроны из п-области, двигаясь навстречу друг другу, будут пересекать п–р-переход, создавая ток в прямом направлении. Сила тока через п–р-переход в этом случае будет возрастать при увеличении напряжения источника.

Способность п–р-перехода пропускать ток практически только в одном направлении используется в приборах, которые называются полупроводниковыми диодами.

Полупроводниковые диоды изготавливают из кристаллов кремния или германия. При их изготовлении в кристалл с каким-либо типом проводимости вплавляют примесь, обеспечивающую другой тип проводимости.

Полупроводниковые диоды используются в выпрямителях для преобразования переменного тока в постоянный. Типичная вольт-амперная характеристика кремниевого диода приведена на рис. 2.

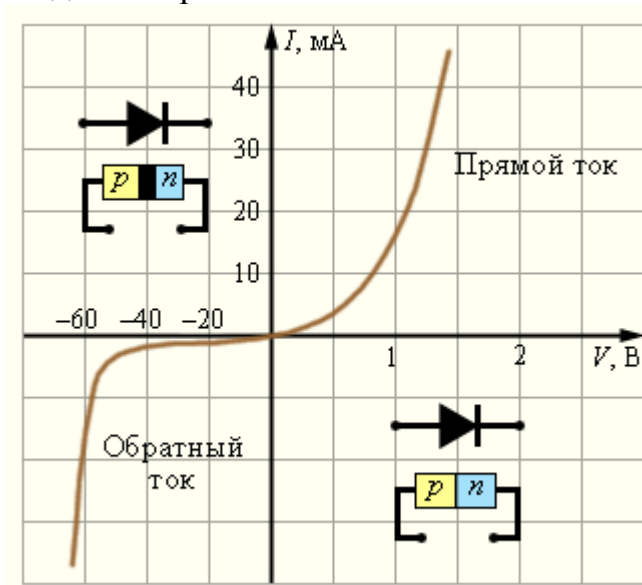


Рисунок 2. Вольт-амперная характеристика кремниевого диода. На графике использованы различные шкалы для положительных и отрицательных напряжений

Полупроводниковые диоды обладают многими преимуществами по сравнению с вакуумными – малыми размерами, длительными сроками службы, механической прочностью. Существенным недостатком полупроводниковых диодов является зависимость их параметров от температуры. Кремниевые диоды, например, могут удовлетворительно работать только в диапазоне температур от – 70 °С до 80 °С. У германиевых диодов диапазон рабочих температур несколько шире.

Полупроводниковые приборы не с одним, а с двумя п–р-переходами называются транзисторами. Название происходит от сочетания английских слов: transfer – переносить и resistor – сопротивление. Обычно для создания транзисторов используют германий и кремний. Транзисторы бывают двух типов: р–п–р-транзисторы и п–р–п-транзисторы. Например, германиевый транзистор р–

п-р-типа представляет собой небольшую пластинку из германия с донорной примесью, т. е. из полупроводника п-типа. В этой пластинке создаются две области с акцепторной примесью, т. е. области с дырочной проводимостью (рис.3). В транзисторе п-р-п-типа основная германиевая пластинка обладает проводимостью р-типа, а созданные на ней две области – проводимостью п-типа (рис.4).

Пластинку транзистора называют базой (Б), одну из областей с противоположным типом проводимости – коллектором (К), а вторую – эмиттером (Э). Обычно объем коллектора превышает объем эмиттера. В условных обозначениях на схемах стрелка эмиттера показывает направление тока через транзистор.

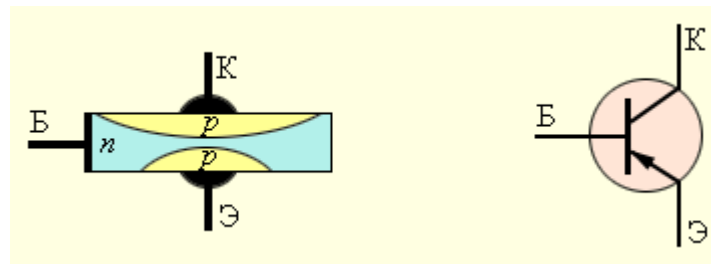


Рисунок 3. Транзистор структуры р-п-р

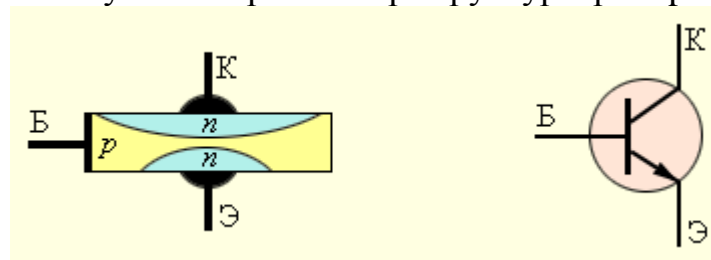


Рисунок 4. Транзистор структуры п-р-п

Оба п-р-перехода транзистора соединяются с двумя источниками тока. На рис.5 показано включение в цепь транзистора р-п-р-структуры. Переход «эмиттер–база» включается в прямом (пропускном) направлении (цепь эмиттера), а переход «коллектор–база» – в запирающем направлении (цепь коллектора).

Пока цепь эмиттера разомкнута, ток в цепи коллектора очень мал, так как для основных носителей свободного заряда – электронов в базе и дырок в коллекторе – переход заперт.

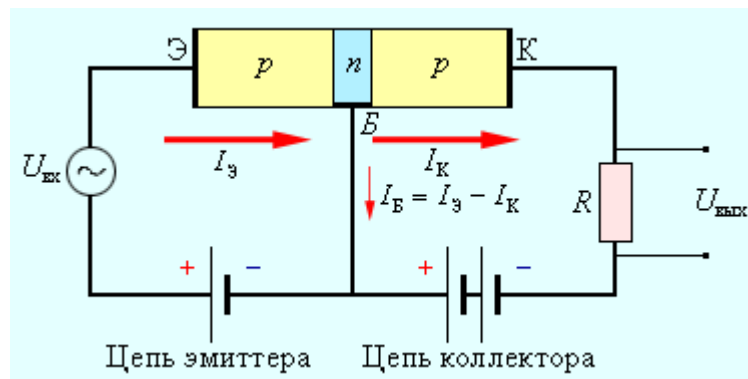


Рисунок 5. Включение в цепь транзистора р-п-р-структуры

При замыкании цепи эмиттера дырки – основные носители заряда в эмиттере – переходят из него в базу, создавая в этой цепи ток $I_Э$. Но для дырок, попавших в базу из эмиттера, п-р-переход в цепи коллектора открыт. Большая часть дырок захватывается полем этого перехода и проникает в коллектор, создавая ток $I_К$. Для того, чтобы ток коллектора был практически равен току эмиттера, базу

транзистора делают в виде очень тонкого слоя. При изменении тока в цепи эмиттера изменяется сила тока и в цепи коллектора.

Если в цепь эмиттера включен источник переменного напряжения (рис. 5), то на резисторе R , включенном в цепь коллектора, также возникает переменное напряжение, амплитуда которого может во много раз превышать амплитуду входного сигнала. Следовательно, транзистор выполняет роль усилителя переменного напряжения.

Однако такая схема усилителя на транзисторе является неэффективной, так как в ней отсутствует усиление сигнала по току, и через источники входного сигнала протекает весь ток эмиттера I_{Σ} . В реальных схемах усилителей на транзисторах источник переменного напряжения включают так, чтобы через него протекал только небольшой ток базы $I_b = I_{\Sigma} - I_k$. Малые изменения тока базы вызывают значительные изменения тока коллектора. Усиление по току в таких схемах может составлять несколько сотен.

В настоящее время полупроводниковые приборы находят исключительно широкое применение в радиоэлектронике. Современная технология позволяет производить полупроводниковые приборы – диоды, транзисторы, полупроводниковые фотоприемники и т. д. – размером в несколько микрометров. Качественно новым этапом электронной техники явилось развитие микроэлектроники, которая занимается разработкой интегральных микросхем и принципов их применения.

Интегральной микросхемой называют совокупность большого числа взаимосвязанных элементов – сверхмалых диодов, транзисторов, конденсаторов, резисторов, соединительных проводов, изготовленных в едином технологическом процессе на одном кристалле. Микросхема размером в 1 см^2 может содержать несколько сотен тысяч микроэлементов.

Применение микросхем привело к революционным изменениям во многих областях современной электронной техники. Это особенно ярко проявилось в электронной вычислительной технике. На смену громоздким ЭВМ, содержащим десятки тысяч электронных ламп и занимавшим целые здания, пришли персональные компьютеры.