

Здравствуйтесь, учащиеся 205 группы!

Учебная дисциплина: физика

Тема урока: Полупроводниковый диод. Полупроводниковые приборы.

Задание к уроку:

Вам необходимо самостоятельно изучить теоретические сведения, написать конспект урока в тетрадь и выполнить задания.

Выполненную работу оформить в рабочих тетрадях и отправить отдельным файлом (электронный документ) в личное сообщение через социальные сети VK(в личку) или на электронную почту преподавателя: chertovs_nat@mail.ru

Если такой возможности нет, выполненное задание предоставить в рукописном виде при выходе на учебную практику.

Электронный вариант учебника: <https://uchebnik-skachatj-besplatno.com/Физика/Учебник%20Физика%2010%20класс%20Мякишев%20Буховцев%20Сотский/index.html>

I. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ:

В периодической таблице Менделеева металлы (проводники) от металлов (изоляторов) отделяет ряд переходных элементов – полупроводников, которые в кристаллическом состоянии характеризуются следующими признаками:

Вопрос:

1. Назовите основные отличия друг от друга проводников и диэлектриков.

2. Что является основными носителями заряда в проводниках?

1. При температуре, близкой к абсолютному нулю полупроводники ведут себя как изоляторы (не проводят электрический ток).

2. С повышением температуры удельное сопротивление ρ полупроводников уменьшается, что отличает их от металлов, у которых наблюдается обратная зависимость.

3. Значения удельного сопротивления при комнатной температуре ($T = 300 \text{ K}$) для типичных полупроводников лежат в пределах $(0,1 - 1000) \text{ Ом}\cdot\text{м}$ и занимает промежуточное значение между удельными сопротивлениями металлов и диэлектриков.

4. Электрический ток в полупроводниках возникает за счет упорядоченного перемещения зарядов обоих знаков – положительных и отрицательных.

Перечисленными выше свойствами обладают в основном элементы 3 – 6 групп периодической таблицы, такие как бор, кремний, германий, мышьяк, а также многие химические соединения, например, арсенид галлия, сурьмистый индий и т.д.

Уменьшение удельного сопротивления полупроводников с ростом температуры объясняется увеличением в них числа свободных электронов. Электроны проводимости возникают при нагревании в результате разрыва ковалентных химических связей, которые устанавливает в кристалле данный атом полупроводника с окружающими его атомами за счет своих валентных электронов. Необходимая для этого энергия составляет $W \approx 1$ эВ (для диэлектрика существенно больше).

При комнатной температуре в химически чистом полупроводнике высвобождается лишь малая доля валентных электронов за счет случайного приобретения ими необходимой энергии; например, в германии при концентрации валентных электронов $\sim 10^{28} \text{ м}^{-3}$ концентрация свободных электронов составляет $\sim 10^{19} \text{ м}^{-3}$, т. е. разрывается одна из 10^9 связей. С понижением температуры кристалла вероятность случайного появления свободных электронов стремится к нулю: удельное сопротивление неограниченно возрастает.

Вопрос: Что будет происходить с носителями зарядов при наложении внешнего электрического поля?

Собственной называется проводимость химически чистого полупроводника, обладающей совершенной кристаллической решеткой.

Она обеспечивает направленным перемещением под действием приложенного электрического поля свободных электронов и эффективных положительных зарядов, называемых дырками. Такой тип проводимости называется электронно-дырочным или n-p-проводимостью.

Объяснить механизм собственной проводимости полупроводников можно на основании следующих представлений. При тепловом разрушении ковалентных связей, образованных валентными электронами атома полупроводника, находящегося в узле кристаллической решетки, одновременно возникают свободный электрон и избыточный положительный заряд – дырка, являющаяся ионом того атома полупроводника, который покинул электрон. Восстановление данной ковалентной связи может происходить как за счет свободных электронов, так и за счет электронов, переместившихся из соседних связей. В первом случае происходит исчезновение (рекомбинация) равных по величине положительных и отрицательных зарядов. Во втором случае количество зарядов не уменьшается, а наблюдается перемещение дырки на место захваченного электрона.

Реальные кристаллические решетки полупроводников имеют дефекты, присутствие которых может повышать их электропроводность на несколько порядков. При практическом использовании полупроводников дефекты создаются целенаправленно введением в кристалл атомов примеси,

отличающихся по валентности (обычно на единицу) от атомов полупроводника. Если валентность примеси больше, то она называется донорной, если меньше – акцепторной. Проводимость полупроводника, содержащего примеси, называется примесной.

Освободившиеся электроны могут создавать проводимость n-типа.

При этом концентрация свободных электронов значительно больше концентрации дырок.

Атом акцепторной трехвалентной примеси в полупроводнике, например, бора не может установить парные связи со всеми соседними атомами матрицы, поскольку имеет меньше валентных электронов. Незаполненная связь может быть восстановлена за счет перехода электрона от соседнего атома решетки. В результате образуется положительный ион полупроводника, который называется дырка. Дырка может перемещаться по кристаллу, как свободный заряд, создавая проводимость p-типа. Уже при комнатной температуре концентрация дырок в полупроводнике практически равна концентрации атомов примеси и концентрация дырок больше концентрации свободных электронов.

Односторонняя проводимость n—p-перехода нашла широкое применение в приборах, называемых **полупроводниковыми диодами**, для выпрямления переменного тока. Существует много различных типов диодов. Рассмотрим один из типов полупроводниковых диодов.

Устройство полупроводникового диода

Полупроводниковый диод состоит из монокристаллической пластинки германия 6 (рис. 3.53), обладающей электронной проводимостью за счет небольшой добавки донорной примеси. Для создания n—p-перехода не годится простое механическое соединение двух полупроводников с разными типами проводимости, так как при этом между полупроводниками получается большой зазор. Толщина же n—p-перехода должна быть не больше межатомных расстояний. Поэтому в одну из поверхностей пластинки германия вплавляют индий. В рассматриваемом диоде (см. рис. 3.53) капля индия 5 вплавлена в верхнюю часть пластинки германия, а нижняя часть пластинки припаяна оловом 7 к металлическому корпусу 4. В процессе плавления атомы индия диффундируют внутрь германия и образуют поверхностную область с дырочной проводимостью. Остальная часть пластинки, куда атомы индия не проникли, осталась с электронной проводимостью. В результате в пластинке образовались две резко

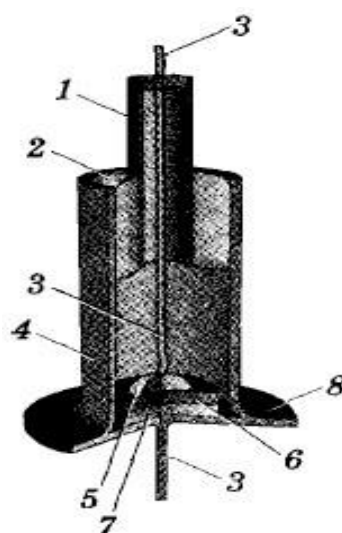


Рис. 3.53

разграниченные области с различными видами проводимости: электронно-дырочный переход.

Герметически закрытый сварной металлический корпус 4, в который помещена пластинка германия, изолирует ее от вредных воздействий атмосферного воздуха и света, обеспечивая устойчивую работу электронно-дырочного перехода. От пластинки сделаны два вывода 3, причем один из них (верхний) проходит в металлической трубке 1, изолированной от корпуса стеклом 2. Металлический корпус выгнут наподобие полей шляпы (радиатор 8) для лучшего охлаждения, так как с повышением температуры снижаются выпрямляющие свойства полупроводниковых диодов (с возрастанием температуры возрастает концентрация неосновных носителей тока, следовательно, возрастает и обратный ток).

Аналогичное строение имеют и другие диоды. Схематическое изображение полупроводникового диода приведено на рисунке 3.54.

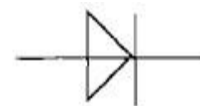


Рис. 3.54

Вольт-амперная характеристика полупроводникового диода

Важной индивидуальной характеристикой диода является его вольт-амперная характеристика.

Для снятия вольт-амперной характеристики диода при прямом токе собирают цепь по схеме рисунка 3.55, а при обратном токе — по схеме рисунка 3.56. Схему включения приборов при измерении прямого и обратного токов в диоде приходится изменять потому, что при прямом токе силой тока в вольтметре можно пренебречь, так как сопротивление вольтметра значительно больше сопротивления диода. При обратном токе сопротивление диода соизмеримо с сопротивлением вольтметра, поэтому миллиамперметр включается последовательно с диодом. На рисунке 3.57 изображена вольт-амперная характеристика одного из диодов.

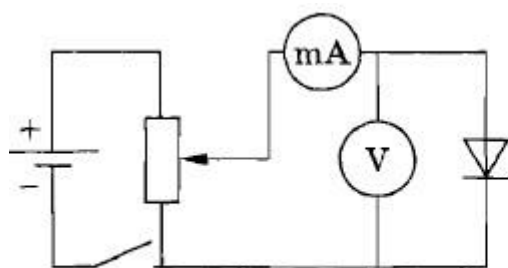


Рис. 3.55

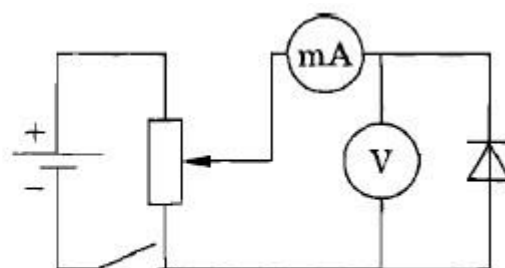


Рис. 3.56

Из рисунка видно, что сила тока в проходном направлении с увеличением напряжения растет очень быстро. В запирающем же направлении сила тока очень мала и почти не изменяется с ростом напряжения*.

* Чтобы кривая обратного тока получилась более выразительной, ее пришлось вычерчивать в другом масштабе, чем кривую прямого тока.

Из вольт-амперной характеристики диода следует, что для него несправедлив закон Ома. Сила тока находится в более сложной зависимости от напряжения (зависимость нелинейная), чем должно быть, согласно закону Ома.

Полупроводниковые диоды изготавливают для выпрямления как слабых, так и очень сильных токов. Первые широко применяют в радиотехнических устройствах — радиоприемниках, магнитофонах, телевизорах и т. п. Здесь они почти полностью вытеснили вакуумные диоды. Диоды, рассчитанные на сильные токи, используют для выпрямления переменных токов на тяговых подстанциях, питающих электротранспорт, а также в электролитических цехах, где производится электролиз, и т. д.

Свойства р—п-перехода используют для выпрямления переменного тока. На протяжении половины периода, когда потенциал полупроводника р-типа положителен, ток свободно проходит через р—п-переход. В следующую половину периода ток практически равен нулю.

Полупроводниковый диод. Транзистор.

В основе работы многих полупроводниковых приборов, в частности, диода и биполярного транзистора, лежат свойства р-п перехода.

Р-п переход — это зона контакта полупроводников с различным типом примесной проводимости.

Р-п получают либо при выращивании кристаллов, либо при их соответствующей обработке (но не механическим соединением).

При образовании р-п перехода наблюдается интенсивная диффузия электронов из п-области в р-область и встречная диффузия дырок из р-области в п-область. В результате р-область в зоне контакта заряжается отрицательно, п-область — положительно, и образуется двойной электрический слой шириной L , электрическое поле которого препятствует диффузии основных носителей тока через зону контакта. Концентрация основных носителей тока в зоне контакта вследствие диффузии и рекомбинации уменьшается, поэтому важную роль в формировании двойного слоя имеют некомпенсированные заряды, заряды ионизированных атомов примесей.

Для основных носителей электрическое поле перехода не является препятствием, и они, случайно дрейфуя, через р-п переход создают ток, противоположный диффузионному. Динамическое равновесие наступает при установлении такой напряженности поля двойного слоя, когда суммарный ток всех зарядов через р-п переход равен нулю. Соответствующая разность потенциалов в области перехода называется потенциальным барьером.

Характеристики р-п перехода зависят от внешнего электрического поля. Если внешний источник подключен положительным полюсом к р-области, а отрицательным к п-области, то основные носители будут двигаться под действием поля навстречу друг другу к зоне контакта, частично потенцируя

заряд двойного слоя. Сопротивление слоя, его ширина и высота потенциального барьера уменьшается, поэтому происходит быстрое нарастание тока основных носителей с увеличением внешнего напряжения.

Если положительный полюс источника подключить к *n*-области, а отрицательный к *p*-области, то основные носители будут двигаться под действием электрического поля от зоны контакта, увеличивая не скомпенсированный заряд двойного слоя. Это приводит к увеличению ширины двойного слоя, росту сопротивления перехода и высоту потенциального барьера.

Ток основных носителей резко уменьшается, через *p-n* переход будет протекать малый ток неосновных носителей, быстро достигающий насыщения при увеличении внешнего напряжения. Такой тип включения называется обратным.

Ярко выраженная односторонняя проводимость *p-n* перехода используется в полупроводниковом диоде – устройстве, содержащем один *p-n* переход и применяемом для *выпрямления* переменного тока.

Характеристика полупроводникового диода в основном определяются свойствами входящего в него идеализированного *p-n* перехода, однако, всегда имеются некоторые отклонения, обусловленные особенностями конструкции.

Полупроводниковые диоды обладают рядом преимуществ перед ламповыми диодами: экономичность, миниатюрность, высокая надежность и большой срок службы. Недостатком полупроводниковых диодов является чувствительность к колебаниям температуры и радиационному облучению.

Устройство, состоящее из двух *p-n* переходов, приложенных навстречу друг другу, называют биполярным транзистором. Возможно чередование областей в последовательности *p-n-p* или *n-p-n*.

Основная часть транзистора, именуемая базой, представляет собой легированный примесью кристалл полупроводника малой толщины, к которому с двух сторон примыкают области с другим типом проводимости – эмиттер и коллектор. В приближенных теориях транзистор рассматривают как совокупность двух диодов, включенных навстречу друг другу.

На практике транзисторы используются как усилители по силе тока, напряженности и мощности.

II. ЗАДАНИЯ:

1. Посмотреть видео: <https://youtu.be/a4KBykeW47I>
2. Прочитать и написать конспект: §111 -§112 (выписать определения, нарисовать рис. 16.10-16.15);
3. Выполнить упражнения А1, А2 стр.371 учебника

Дополнительно: написать сообщение на тему: «Полупроводниковые приборы» (в тетради или А4)