

Электроника для любознательных.

Часть 1. Основы полупроводниковой техники.

1. Полупроводники.

▪ **Полупроводники — это вещества, которые по электропроводности занимают промежуточное место между проводниками и изоляторами.**

В полупроводниковых же приборах электрические заряды под действием сил постоянных и переменных электрических полей, движутся в твёрдом теле, не выходя за его пределы.

В 1922 году советский радиофизик **О. В. Лосев** изобрёл **генерирующий детектор**, положивший начало применения полупроводниковых приборов. Однако такое использование полупроводников в то время не получило широкого распространения. Это объяснялось тем, что физика твёрдого тела была ещё недостаточно изучена.

В 1948 году появились германиевые полупроводниковые триоды с точечным контактом (**транзисторы**), а в 1952 г. – **плоскостные триоды**.

На основе современных достижений физики возникла новая отрасль науки и техники — **полупроводниковая электроника**.

▪ **Полупроводниковые материалы — обширный класс материалов, проявляющих полупроводниковые свойства.**

В него входят сотни самых разнообразных веществ, как элементов, так и химических соединений.

По способности проводить электрический ток **полупроводники** занимают промежуточное положение между проводниками и изоляторами.

Удельное сопротивление полупроводников в очень широких пределах изменяется в зависимости от температуры, действия света, электрических и магнитных полей радиоактивного излучения, наличия посторонних примесей.

Химические элементы, обладающие полупроводниковыми свойствами, – **уголь (С), селен (Se), кремний (Si), германий (Ge)** – имеют большое сопротивление по сравнению с металлическими проводниками, но их можно считать проводниками по сравнению с изоляторами, такими, как стекло или кварц.

У полупроводников сопротивление уменьшается при повышении температуры. **При очень низких температурах (– 273°С) полупроводник практически изолятор.**

На примере полупроводникового материала германия проследим прохождение электрического тока в полупроводниках.

Как известно, атомы всех химических элементов состоят из ядра, имеющего сложное строение и окружённого слоями электронов, которые вращаются по определённым орбитам.

Электроны одного слоя обладают почти одинаковым запасом энергии, т.е., находятся на одном энергетическом уровне. Ближайший к ядру слой имеет

наиболее **низкий** энергетический уровень. Электроны последующего слоя находятся на более высоком энергетическом уровне.

▪ **Число электронов на данном энергетическом уровне равно удвоенному квадрату номера слоя:**

$$N=2n^2,$$

где N – число электронов в данном слое, n – номер слоя.

Таким образом, в первом к ядру слое имеется два электрона, во втором слое — восемь, в третьем — восемнадцать и т. д. Число электронов в последнем (внешнем) слое может быть различным, но не больше восьми.

Электроны внешнего слоя называются **валентными**. Они определяют химические свойства атомов, так как вследствие своей относительно слабой связи с ядром легко вступают во взаимодействие с атомами других веществ, входя в состав наружного слоя последних.

▪ **Энергия электрона в атоме может изменяться только порциями – квантами.**

▪ **Минимальная величина изменения энергии электрона составляет – один квант.**

Как вам уже известно, электроны с внешней орбиты могут покидать свой атом и наоборот, присоединяться к атому, пристав к внешней орбите. При этом атом заряжается положительно (если протонов больше, чем электронов) и отрицательно (если протонов меньше, чем электронов).

2. Правила расположения и движения электронов в атомах.

1. **На каждой орбите у различных веществ определённое количество электронов: на 1-й – не более 2-х, на 2-й – не более 8-ми, на 3-й – 8 или 18 и т. д.**

2. **Электроны могут уходить и возвращаться только с последней орбиты.**

3. **Каждый атом стремится заполнить свою последнюю орбиту.**

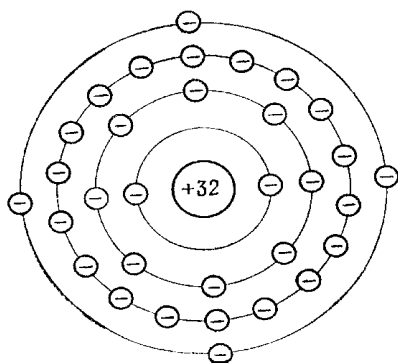


Рис. 1. Атомная структура германия.

На **рис. 1** представлена атомная структура германия. Германий имеет **32** протона в ядре. Вне ядра имеется **32** электрона, расположенных на четырёх орбитах. На первой орбите имеется **2** электрона, на второй – **8**, на третьей – **18** и на четвёртой – **4**. **Атом стабильный, если внешняя орбита имеет 8 электронов.**

Германию недостаёт 4 электрона.

▪ **Электроны на последней орбите называются валентными электронами.**

Валентность элемента определяется способностью атома вступать во взаимодействие с атомами других элементов.

В обычных условиях частицы газа водорода представляют собой не отдельные атомы, а молекулы, состоящие из двух атомов водорода. Уясним, на примере образования молекулы, возникновение связывающих сил (электронных связей) между двумя атомами. На **рис. 2, а** показаны отдельные атомы водорода, состоящие из положительного (ядро) и отрицательного (электрон) зарядов. При сближении этих атомов орбита обоих электронов стала общей, образовалась молекула водорода (**рис. 2, б**).

Стрелками показаны действующие на атомные ядра силы притяжения со стороны электронов и силы отталкивания между ядрами. При таком расположении взаимное отталкивание положительных ядер уравнивается притяжением со стороны электронов, вращающихся по общей орбите.

Это состояние устойчивое, поэтому для разделения молекул водорода снова на два отдельных атома **необходимо затратить определённую энергию.**

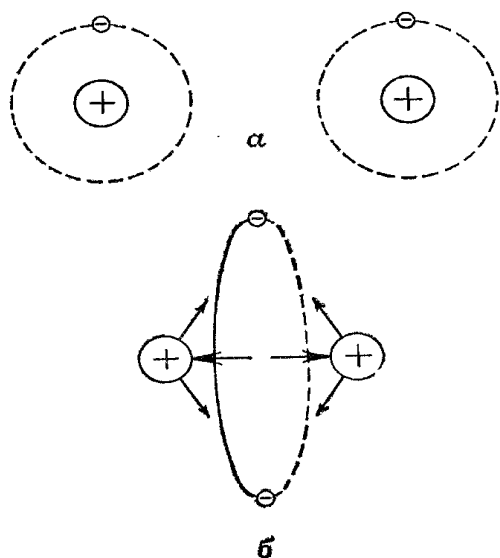


Рис. 2. Ковалентная связь в молекуле водорода: **а).** Отдельные атомы водорода; **б).** Атомы водорода, соединённые в молекулу.

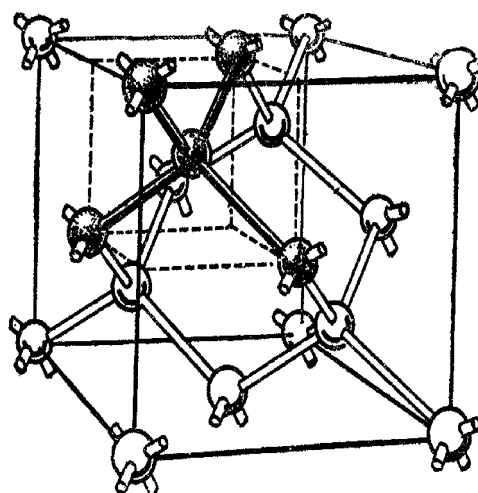


Рис. 3. Строение кристаллической решётки германия.

На **рис. 3** показано строение кристаллической решётки германия. Шариками показаны **положительные ионы**, а линиями изображены **силы сцепления**, соответствующие двум электронам. В кристалле германия (или кремния) атомы сближаются между собой настолько, что электроны внешней оболочки попадают в область притяжения соседнего атома и образуют общие орбиты с электронами внешней оболочки этих атомов. Такие общие орбиты, образованные двумя электронами, принадлежащим соседним атомам, связывают между собой атомы в кристаллической решетке германия.

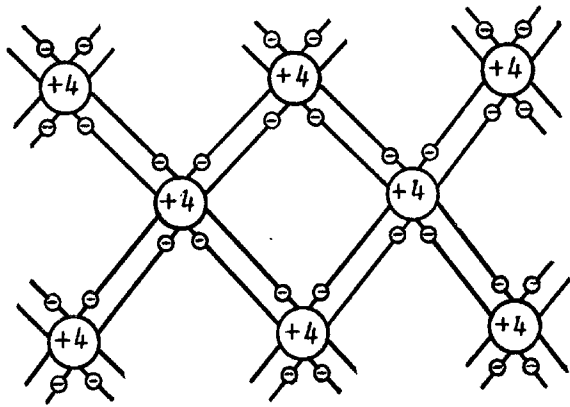


Рис. 4. Электронные связи в кристаллической решётке германия.

Таким образом, каждый атом связан с четырьмя соседними атомами посредством четырёх парно-электронных связей, т.е., каждый атом окружён четырьмя соседними атомами, с которыми он в итоге связан восьмью электронами: четырьмя собственными и по одному от каждого соседа.

На **рис. 4** представлен вариант изображения электронных связей в кристаллической решётке германия.

3. Как образуется электронная проводимость в полупроводниках?

Возьмём элемент сурьму (**Sb**), у неё на последней орбите находится пять электронов. Заменяем один атом германия в кристаллической решётке германия на атом сурьмы (**рис. 5**).

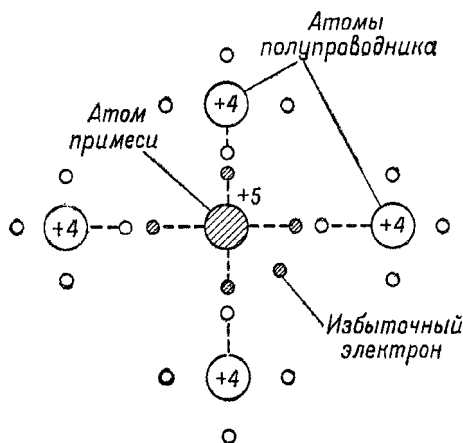


Рис. 5. Присадка атома сурьмы.

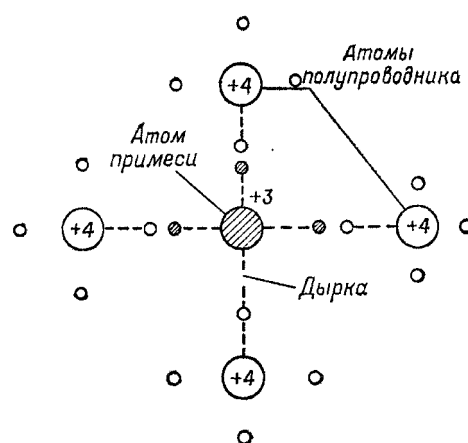


Рис. 6. Присадка атома индия.

Как видим из рисунка, на этом участке вещества появился избыточный (свободный) электрон. Значит, этот участок зарядится на (-1) , т.е., этот участок зарядится отрицательно. Если заменить много атомов германия в решётке на атомы сурьмы, то получится область заряженная отрицательно, т.е., так называемая «**n-область**» (**n** – «**negative**» – «отрицательный»), где находится много свободных электронов.

4. Как образуется дырочная проводимость в полупроводниках?

Теперь возьмём элемент индий (**In**). У него на последней орбите три электрона. Заменяем атом германия в решётке на атом индия (**рис. 6**). Как видно из рисунка одной связи с атомом германия нет, т.е., появилось свободное место, на которое может стать электрон. Это свободное место называется «**дыркой**».

Как уже сказано выше, если нет электрона, то область зарядится положительно. Замена большого количества атомов германия атомами индия приведёт к образованию положительной области в решётке германия. Эта область называется «**p-областью**» (**p** – «**positive**» – «положительный»).

Подадим электрическое поле на полупроводник (рис. 1.7). Как видно из рисунка, электроны начнут по «дыркам» двигаться к (+) электрического поля, освобождая новые места («дырки») для других электронов. При этом «дырки» начнут смещаться к (-) электрического поля.

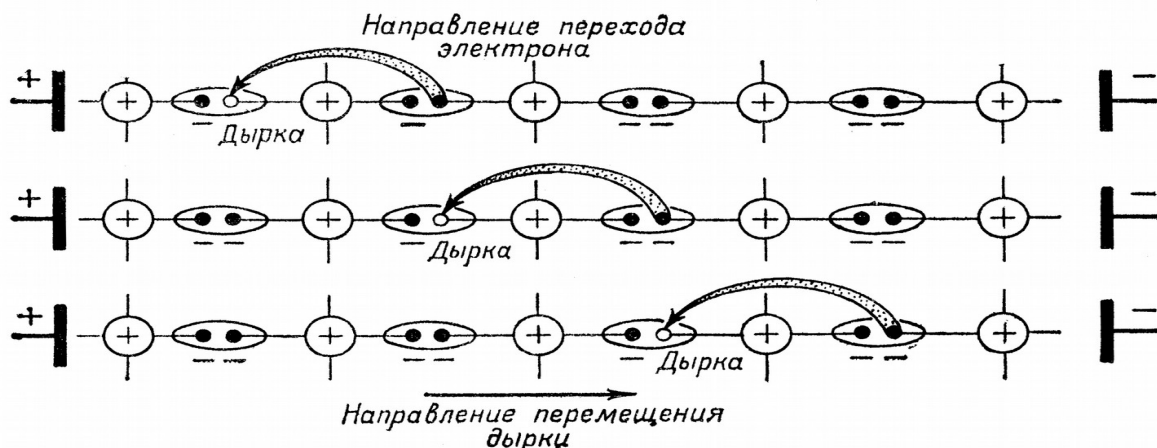


Рис. 1.7. Схема движения электронов и дырок в полупроводнике.

▪ **Нужно запомнить:**

1. Электроны в полупроводниках движутся только по «дыркам».
2. Сами дырки остаются на месте, а свободные места создают движущие электроны, создавая эффект движения «дырок».
3. Электроны движутся к (+) электрического поля, а «дырки» к (-) электрического поля.

5. Основные и неосновные носители зарядов.

В зависимости от примеси германий имеет положительные или отрицательные заряды.

▪ **Основными зарядами в n-области являются электроны, а в p-области — «дырки».**

Однако, кроме основных зарядов имеются противоположные **неосновные заряды** в n-области — "дырки", в p-области — электроны (рис. 8). Их значительно меньше, чем основных, но они отрицательно влияют на работу полупроводниковых приборов. Возникают неосновные заряды в полупроводниках под действием температуры.

Чем выше температура полупроводника, тем больше вероятность того, что в атоме германия один из валентных электронов, получивший достаточно тепловой энергии, может покинуть атом, образуя в нём «дырку», пока её не заполнит электрон из соседнего атома и т. д., с повышением температуры резко увеличивается количество неосновных носителей.



Рис. 8. Движение основных и неосновных носителей.

Поэтому полупроводниковые приборы стараются охлаждать (например, применяют для охлаждения транзисторов радиаторы).

6. Электронно-дырочный переход.

Если мы соединим между собой p-область и n-область, то получим границу соединения, которая называется **электронно-дырочным переходом** или **просто p-n переходом** (рис. 9). Ширина перехода очень мала от **1 до 50 мкм** (**1 мкм равен 1/1000 миллиметра**). Ширина перехода зависит от того, как основные заряды отходят от границы соединения областей. Чем дальше они находятся, тем шире, тем больше **сопротивление p-n перехода**.

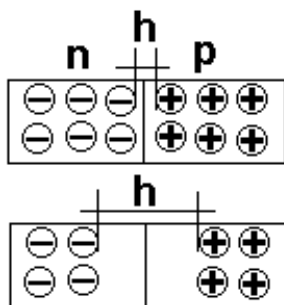


Рис. 9. Сопротивление p-n перехода.

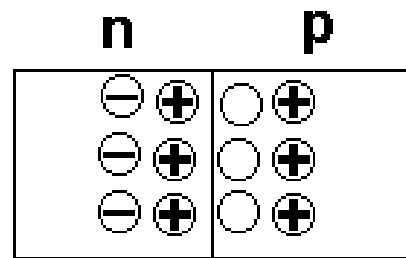


Рис. 10. Потенциальный барьер.

6. Потенциальный барьер.

Если не подключать электрическое поле к p-n переходу, то небольшая часть электронов в приграничной области перетечёт из n-области в p-область, образуя у границы в n-области «дырки» (рис. 10). В результате этого на границе перехода образуется некая разность потенциалов, которая не даёт возможность другим электронам перетекать в p-область.

▪ **Эту разность потенциалов принято называть потенциальным барьером или барьерным напряжением.**

Барьерное напряжение в германии может быть в **0,1 В – 0,3 В**.

Для того, чтобы преодолеть этот барьер нужно на полупроводник подать напряжение, причём, чтобы на p-область приходился (+) источника питания, а на n-область (-) источника питания.