

Урок-6.

ЧТО ТАКОЕ ПОЛУПРОВОДНИК?

В предыдущих уроках я рассказывал о проводниках и диэлектриках и вскользь упомянул о том, что есть некая промежуточная форма проводимости, которая при определенных условиях может принимать свойства проводника или диэлектрика. Этот тип веществ называют полупроводниками. В этом уроке мы узнаем достаточно подробно, что такое полупроводник и какую существенную роль он играет в радиоэлектронике.

Полупроводники и их свойства

Напомню: по электрическим свойствам полупроводники занимают среднее место между проводниками и непроводниками тока.

К сказанному можно добавить, что к группе полупроводников относится гораздо больше веществ, чем к группам проводников и непроводников, взятых вместе. К полупроводникам, нашедшим практическое применение в технике, относятся германий, кремний, селен, закись меди и некоторые другие вещества. Но для полупроводниковых приборов используют в основном только германий и кремний. Каковы наиболее характерные свойства полупроводников, отличающие их от проводников и непроводников тока? Электропроводность полупроводников сильно зависит от окружающей температуры. При очень низкой температуре, близкой к абсолютному нулю (-273°C), они ведут себя по отношению к электрическому току как изоляторы. Большинство же проводников, наоборот, при такой температуре становятся сверхпроводимыми, т. е. почти не оказывают току никакого сопротивления. С повышением температуры проводников их сопротивление электрическому току увеличивается, а сопротивление полупроводников уменьшается. Электропроводность проводников не изменяется при действии на них света. Электропроводность же полупроводников под действием света, так называемая фотопроводность, повышается. **Полупроводники могут преобразовывать энергию света в электрический ток.** Проводникам же это совершенно не свойственно. Электропроводность полупроводников резко увеличивается при введении в них атомов некоторых других элементов. Электропроводность же проводников при введении в них примесей понижается. Эти и некоторые другие свойства полупроводников были известны сравнительно давно, однако широко использовать их стали сравнительно недавно. **Германий и кремний, являющиеся исходными материалами многих современных полупроводниковых приборов, имеют во внешних слоях своих оболочек по четыре валентных электрона.** Всего же в атоме германия 32 электрона, а в атоме кремния 14. Но 28 электронов атома германия и 10 электронов атома кремния, находящиеся во внутренних слоях их оболочек, прочно удерживаются ядрами и ни при каких обстоятельствах не отрываются от них. Только четыре валентных электрона атомов этих полупроводников могут, да и то не всегда, стать свободными. Атом же полупроводника, потерявший хотя бы один электрон, становится положительным ионом. В полупроводнике атомы расположены в строгом порядке: каждый атом окружен четырьмя такими же атомами. Они к тому же расположены настолько близко друг к другу, что их валентные электроны образуют единые орбиты, проходящие вокруг всех соседних атомов, связывая их в единое вещество. Такую взаимосвязь атомов в кристалле полупроводника можно представить себе в виде плоской схемы, как показано на рис. 1, а. Здесь большие шарики со знаком «+» условно изображают ядра атомов с внутренними слоями электронной оболочки (положительные ионы), а маленькие шарики - **валентные электроны**. Каждый атом, как видишь, окружен четырьмя точно такими же атомами. Любой из атомов связан с каждым соседним двумя валентными электронами, один из которых «свой», а второй заимствован у «соседа». **Это двухэлектронная, или валентная, связь. Самая прочная связь!** В свою очередь, внешний слой электронной оболочки каждого атома содержит восемь электронов: четыре своих и по одному от четырех соседних атомов. Здесь уже невозможно различить, какой из валентных электронов в атоме «свой», а какой «чужой», поскольку они стали общими. При такой связи атомов во всей массе кристалла германия или кремния можно считать, что кристалл полупроводника представляет собой одну большую молекулу. Схему взаимосвязи атомов в полупроводнике можно для наглядности упростить, изобразив ее так, как это сделано на рис. 1, б. Здесь ядра атомов с внутренними электронными оболочками показаны в виде кружков со знаком плюс, а межатомные связи - двумя линиями, символизирующими валентные электроны.

Электропроводность полупроводников

При температуре, близкой к абсолютному нулю, полупроводник ведет себя как абсолютный непроводник, потому что в нем нет свободных электронов.

Если повышения температуры нет, связь валентных электронов с атомными ядрами ослабевает и некоторые из них вследствие теплового движения могут покидать свои атомы. Вырвавшийся из межатомной связи электрон становится **свободным** (на рис. 1, б - черная точка), а там, где он был до этого, образуется пустое место. Это пустое место в межатомной связи полупроводника условно называют **дыркой** (на рис. 1, б - разорвавшаяся линия электрона). Чем выше температура полупроводника, тем больше в нем появляется свободных электронов и дырок. Таким образом, образование в массе полупроводника дырки связано с уходом из оболочки атома валентного электрона, а возникновение дырки соответствует появлению положительного электрического заряда, равного отрицательному заряду электрона.

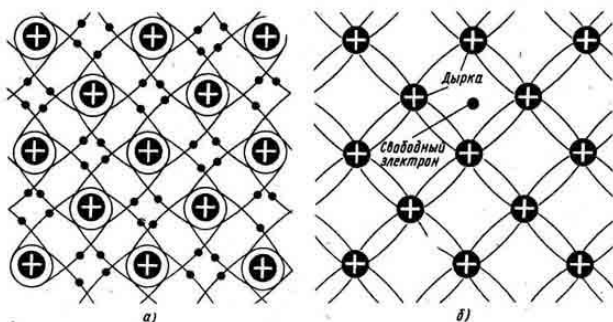


Рис 1. Схема взаимосвязи атомов в кристалле полупроводника (а) и упрощенная схема его структуры (б).

А теперь рассмотрим рис. 2. На нем схематично изображено явление возникновения тока в полупроводнике. **Причиной возникновения тока служит напряжение, приложенное к полупроводнику (на рис. 2 источник напряжения символизируют знаки « + » и « - »).** Вследствие тепловых явлений во всей массе полупроводника высвобождается из межатомных связей некоторое количество электронов (на рис. 2 они обозначены точками со стрелками). Электроны, освободившиеся вблизи положительного полюса источника напряжения, притягиваются этим полюсом и уходят из массы полупроводника, оставляя после себя дырки. Электроны, ушедшие из межатомных связей на некотором удалении от положительного полюса, тоже притягиваются им и движутся в его сторону. Но, встретив на своем пути дырки, электроны как бы «впрыгивают» в них (рис. 2, а), происходит заполнение некоторых межатомных связей. А ближние к отрицательному полюсу дырки заполняются другими электронами, вырвавшимися из атомов, расположенных еще ближе к отрицательному полюсу (рис. 2, б). Пока в полупроводнике действует электрическое поле, этот процесс продолжается: нарушаются одни межатомные связи - из них уходят валентные электроны, возникают дырки - и заполняются другие межатомные связи - в дырки «впрыгивают» электроны, освобожденные из каких-то других межатомных связей (рис. 2, б-г).

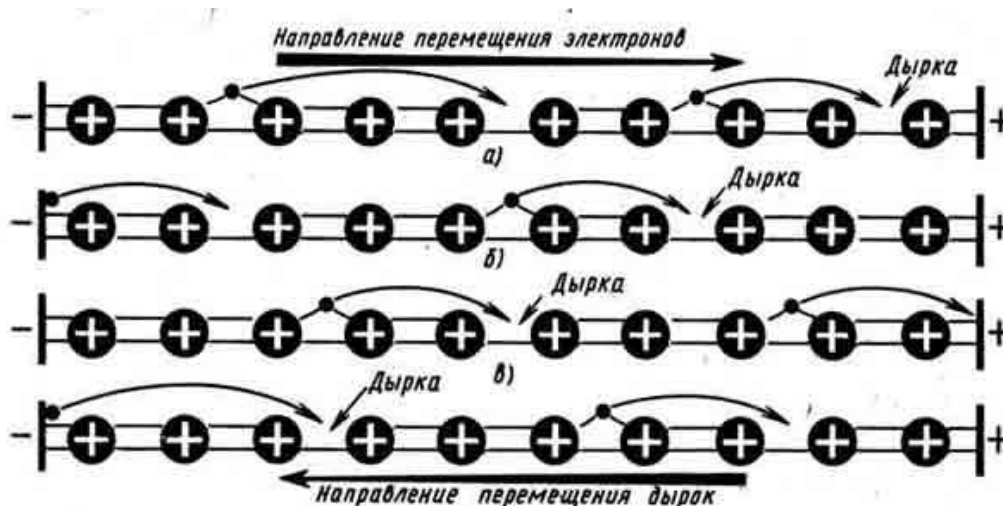


Рис 2. Схема движения электронов и дырок в полупроводнике.

При температуре выше абсолютного нуля в полупроводнике непрерывно возникают и исчезают свободные электроны и дырки даже тогда, когда нет внешних электрических полей. Но электроны и дырки движутся хаотически в разные стороны и не уходят за пределы полупроводника. **В чистом полупроводнике число высвободившихся в каждый момент времени электронов равно числу образующихся при этом дырок.** Общее же их число при комнатной температуре относительно невелико. Поэтому электропроводность такого полупроводника, (**называемая собственной**), мала. Иными словами, такой полупроводник оказывает электрическому току довольно большое сопротивление. Но если в чистый полупроводник добавить даже ничтожное количество примеси в виде атомов других элементов, электропроводность его резко повысится. При этом в зависимости от структуры атомов примесных элементов электропроводность полупроводника будет **электронной или дырочной**. Чем различаются эти два вида электропроводности полупроводника? Если какой-либо атом в кристалле полупроводника заменить атомом сурьмы, имеющим во внешнем слое электронной оболочки пять валентных электронов, этот атом - «пришелец» четырьмя электронами свяжется с четырьмя соседними атомами полупроводника. Пятый же валентный электрон атома сурьмы окажется «лишним» и станет свободным. Чем больше в полупроводник будет введено атомов сурьмы, тем больше в его массе окажется свободных электронов. Следовательно, полупроводник с примесью сурьмы приближается по своим свойствам к металлу: для того чтобы через него проходил электрический ток, в нем не обязательно должны разрушаться межатомные связи. **Полупроводники, обладающие такими свойствами, называют полупроводниками с электропроводностью типа (n) или, полупроводниками (n) типа.** Здесь латинская буква n - начальная буква латинского слова **negativ (негатив)**, что значит «отрицательный». Этот термин в данном случае нужно понимать в том смысле, что в полупроводнике типа n основными носителями тока являются отрицательные заряды, т.е. электроны. Совсем иная картина получится, если в полупроводник ввести атомы с тремя валентными электронами, например атомы индия. Каждый атом металла индия своими тремя электронами заполнит связи только с тремя соседними атомами полупроводника, а для заполнения связи с четвертым атомом у него не хватает одного электрона. Образуется дырка. Она, конечно, может заполниться каким-либо электроном, вырвавшимся из валентной связи с другими атомами полупроводника. Однако независимо от того, где будут дырки, в массе полупроводника с примесью индия не будет хватать электронов для их заполнения. И чем больше будет введено в полупроводник примесных атомов индия, тем больше в нем образуется дырок. Чтобы в таком полупроводнике электроны могли перемещаться, совершенно обязательно должны разрушаться валентные связи между атомами. Вырвавшиеся из них электроны или же электроны, поступившие в полупроводник извне, движутся от дырки к дырке. А во всей массе полупроводника в любой момент времени число дырок будет больше общего числа свободных электронов. **Полупроводники, обладающие таким свойством, называют полупроводниками с дырочной электропроводностью или полупроводниками типа (p).** Латинская буква p - первая буква латинского слова **positiv (позитив)**, что значит «положительный». Этот термин в данном случае нужно понимать в том смысле, что явление электрического тока в массе полупроводника типа (p) сопровождается непрерывным возникновением и исчезновением положительных зарядов - дырок. Перемещаясь в массе полупроводника, дырки как бы являются носителями тока. Полупроводники типа p, так же как и полупроводники типа n, обладают во много раз лучшей электропроводностью по сравнению с чистыми полупроводниками. Надо сказать, что практически не существует как совершенно чистых полупроводников, так и полупроводников с абсолютной электропроводностью типов n и p. В полупроводнике с примесью индия обязательно есть небольшое количество атомов некоторых других элементов, придающих ему электронную проводимость, а в полупроводнике с примесью сурьмы есть атомы элементов, создающих в нем дырочную электропроводность. Например, в полупроводнике, имеющем в целом электропроводность типа n, есть дырки, которые могут заполняться свободными электронами примесных атомов сурьмы. Вследствие этого электропроводность полупроводника несколько ухудшится, но в целом он сохранит электронную проводимость. Аналогичное явление будет наблюдаться и в том случае, если в полупроводник с дырочным характером электропроводности попадут свободные электроны.

Поэтому полупроводниками типа n принято считать такие полупроводники, в которых основными носителями тока являются электроны (преобладает электронная электропроводность), а к полупроводникам типа p - полупроводники, в которых основными носителями тока являются дырки (преобладает дырочная электропроводность).

Теперь, когда вы имеете некоторое представление о явлениях, происходящих в полупроводниках, то нетрудно будет понять принцип действия полупроводниковых приборов. Следующий урок будет более насыщенный, много материала на заучивание. Начнем с предшественников транзистора - полупроводниковых диодов.