Полупроводники - вещества, удельное сопротивление которых имеет промежуточное значение между удельным сопротивлением металлов (1-0 6- 10-8 Ом . м) и удельным сопротивлением диэлектриков (108- 1013 Ом • м).

Отличие проводников от полупроводников особенно про­ является при анализе зависимости их электропроводимости от температуры. Исследования показывают, что у ряда эле­ ментов (кремний, германий, селен, индий, мышьяк и др.) и соединений (PbS, CdS, GaAs и др .) удельное сопротивление с увеличением температуры не растёт, как у металлов (см. рис. 16.3), а, наоборот, чрезвычайно резко уменьшается (рис. 16.4). Такое свойство присуще именно полупроводникам.

Из графика, изображённого на рисунке, видно, что при температурах, близких к абсолютному нулю, удельное сопротивление полупроводников очень велико. Это означает, что при низких температурах полупроводник ведёт себя как диэлектрик. По мере повышения температуры его удельное сопротивление быстро уменьшается.

Строение полупроводников. Для того чтобы включить транзисторный приёмник, знать ничего не надо. Но чтобы его создать, надо было знать очень много и обладать незаурядным талантом. Понять же в общих чертах, как работает транзистор, не так уж и трудно. Сначала необходимо познакомиться с механизмом проводимости в полупроводниках. А для этого придётся вникнуть в природу связей, удерживающих атомы полупроводникового кристалла друг возле друга.

Для примера рассмотрим кристалл кремния.

Кремний - четырёхвалентный элемент. Это означает, что во внешней оболочке его атома имеется четыре электрона, сравнительно слабо связанные с ядром. Число ближайших соседей каждого атома кремния также равно четырём. Схема структуры кристалла кремния изображена на рисунке 16.5.

Взаимодействие пары соседних атомов осуществляется с помощью парноэлектронной связи, называемой ковалентной связью. В образовании этой связи от каждого атома участвует по одному валентному электрону, электроны отделяются от атома, которому они принадлежат (коллективируются кристаллом), и при своём движении большую часть времени проводят в пространстве между соседними атомами. Их отрицательный заряд удерживает положительные ионы кремния друг возле друга. Не надо думать, что коллективированная пара электронов принадлежит лишь двум атомам. Каждый атом образует четыре связи с соседними, и любой валентный электрон может двигаться по одной из них. Дойдя до соседнего атома, он может перейти к следующему, а затем дальше вдоль всего кристалла. Валентные электроны принадлежат всему кристаллу.

Парноэлектронные связи в кристалле кремния достаточно прочны и при низких температурах не разрываются. Поэтому кремний при низкой температуре не проводит электрический ток. Участвующие в связи атомов валентные электроны являются как бы цементирующим раствором, удерживающим кристаллическую решётку, и внешнее электрическое поле не оказывает заметного влияния на их движение. Аналогичное строение имеет кристалл германия.

Электронная проводимость. При нагревании кремния кинетическая энергия частиц повышается, и наступает разрыв отдельных связей. Некоторые электроны покидают свои «проторённые пути и становятся свободными, подобно электронам в металле. В электрическом поле они перемещаются между узлами решётки, создавая электрический ток (рис. 16.6).

Проводимость полупроводников, обусловленную наличием у них свободных электронов, называют электронной проводимостью.

При повышении температуры число разорванных связей, а значит, и свободных электронов увеличивается. При нагревании от 300 до 700 К число свободных носителей заряда увеличивается от 1017 до 1024 1/ м3 Это приводит к уменьшению сопротивления.

Дырочная проводимость.

При разрыве связи между атомами полупроводника образуется вакантное место с недостающим электроном, которое называют дыркой.

В дырке имеется избыточный положительный заряд по сравнению с остальными, не разорванными связями (см. рис. 16.6).

Положение дырки в кристалле не является неизменным. Непрерывно происходит следующий процесс. Один из электронов, обеспечивающих связь атомов, перескакивает на место образовавшейся дырки и восстанавливает здесь парноэлектронную связь, а там, откуда перескочил этот электрон, образуется новая дырка. Таким образом, дырка может перемещаться по всему кристаллу.

Если напряжённость электрического поля в образце равна нулю, то перемещение дырок происходит беспорядочно и поэтому не создаёт электрического тока. При наличии электрического поля возникает упорядоченное перемещение дырок.

Направление движения дырок противоположно направлению движения электронов (рис. 16.7).

В отсутствие внешнего поля на один свободный электрон (- ) приходится одна дырка (+). При наложении поля свободный электрон смещается против напряжённости поля. В этом направлении перемещается также один из связанных электронов. Это выглядит как перемещение дырки в направлении поля.

Итак, в полупроводниках имеются носители заряда двух типов: электроны и дырки.

Проводимость, обусловленная движением дырок, называется дырочной проводимостью полупроводников.

Мы рассмотрели механизм проводимости чистых полупроводников.

Проводимость чистых полупроводников называют собственной проводимостью.

Примесная проводимость. Собственная проводимость полупроводников обычно невелика, так как мало число свободных электронов: например, в германии при комнатной температуре. В то же время число атомов германия в 1 см3 порядка 1023.

Таким образом, число свободных электронов составляет примерно одну десятимиллиардную часть от общего числа атомов.

Проводимость полупроводников можно существенно увеличить, внедряя в них примесь. В этом случае наряду с собственной проводимостью возникает дополнительная - примесная проводимость.

Проводимость проводников, обусловленная внесением в их кристаллические решётки примесей (атомов посторонних химических элементов), называется примесно й проводимостью.

Донорные примеси. Добавим в кремний не­ большое количество мышьяка. Атомы мышьяка имеют пять валентных электронов. Четыре из них участвуют в создании ковалентной связи данного атома с окружающими атомами кремния. Пятый валентный электрон оказывается слабо связанным с атомом. Он легко покидает атом мышьяка и становится свободным (рис. 16.8).

При добавлении одной десятимиллионной доли атомов мышьяка концентрация свободных электронов становится равной 1016 с-м. Это в тысячу раз больше концентрации свободных электронов в чистом полупроводнике.

Примеси, легко отдающие электроны и, следовательно, увеличивающие число свободных электронов, называют донорными (отдающими) примесями.

Свободные электроны перемещаются по полупроводнику подобно тому, как перемещаются свободные электроны в металле.

Полупроводники, имеющие донорные примеси и потому обладающие большим числом электронов (по сравнению с числом дырок), называются полупроводниками n-типа (от английского слова negative - отрицательный).

В полупроводнике п-тиnа электроны являются основными носителями заряда, а дырки - неосновными.

Акцепторные примеси. Если в качестве примеси использовать индий, атомы которого трёхвалентны, то характер проводимости полупроводника меняется. Для образования нормальных парноэлектронных связей с соседями атому индия недостаёт одного электрона, который он берёт у соседнего атома кристалла. В результате образуется дырка. Число дырок в кристалле равно числу атомов примеси (рис. 16.9).

Примеси в полупроводнике, создающие дополнительную концентрацию дырок, называют акцепторными (принимающими) примесями.

При наличии электрического поля дырки перемещаются направленно и возникает электрический ток, обусловленный дырочной проводимостью.

Полупроводники с преобладанием дырочной проводимости над электронной называют полупроводниками р-типа (от английского слова positive - положительный.)

Основными носителями заряда в полупроводнике р-типа являются дырки, а неосновными - электроны.

Изменяя концентрацию примеси, можно значительно изменять число носителей заряда того или иного знак а. Благодаря этому можно создавать полупроводники с преимущественной концентрацией одного из носителей тока электронов или дырок. Эта особенность полупроводников открывает широкие возможности для их практического применения.