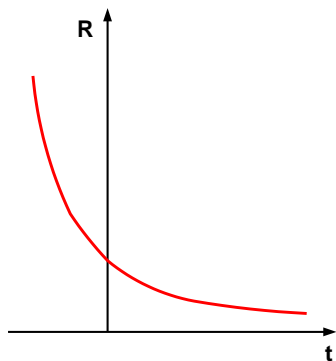


### Тема 3.3.4. Электрический ток в полупроводниках.



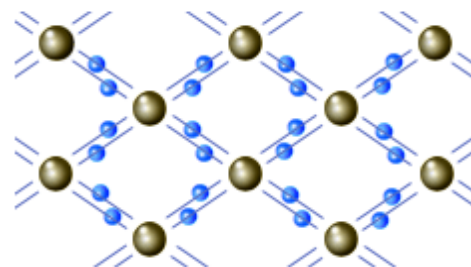
По значению удельного электрического сопротивления полупроводники занимают промежуточное место между проводниками и диэлектриками. К числу полупроводников относятся многие химические элементы (германий, кремний, селен, теллур, мышьяк и др.), многие сплавы и химические соединения.

В отличие от металлов, с понижением температуры сопротивление полупроводников возрастает и при низких температурах они практически становятся изоляторами.

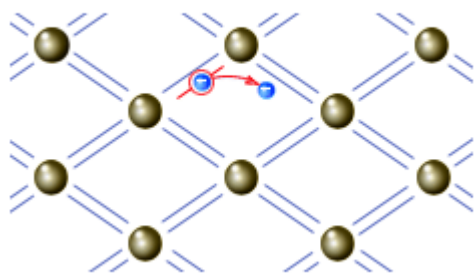
Следовательно, у полупроводников концентрация носителей свободного заряда не остается постоянной, а увеличивается с ростом температуры.

Рассмотрим кристалл германия (Ge).

Атомы германия имеют четыре валентных электрона. В кристаллической решетке каждый атом окружен четырьмя ближайшими соседями. Связь между атомами в кристалле германия является **ковалентной**, т. е. осуществляется за счет общих электронных пар. При этом каждый валентный электрон принадлежит двум атомам и сильно связан с ними. Поэтому свободных электронов в кристалле полупроводника практически нет, и кристалл электрического тока не проводит.



Разрыв связи в кристалле и образование свободного электрона



При повышении температуры (или воздействии ЭМП) часть валентных электронов может получить энергию, достаточную для разрыва ковалентных связей. Тогда в кристалле возникнут свободные электроны, способные перемещаться под действием электрического поля, создавая ток. Такая проводимость называется **электронной**.

Одновременно в местах разрыва связей образуются вакансии, которые не заняты электронами. Эти вакансии получили название «**дырок**». Атомы, потерявшие электроны приобретают положительный заряд, который и приписывается дырке.

Вакантное место может быть занято электроном. При этом по полупроводнику будут перемещаться дырки. Такой механизм проводимости называется **дырочным**.

При заданной температуре полупроводника в единицу времени образуется определенное количество электронно-дырочных пар.

В то же время идет обратный процесс – при встрече свободного электрона с дыркой, восстанавливается электронная связь между атомами германия. Этот процесс называется **рекомбинацией**.

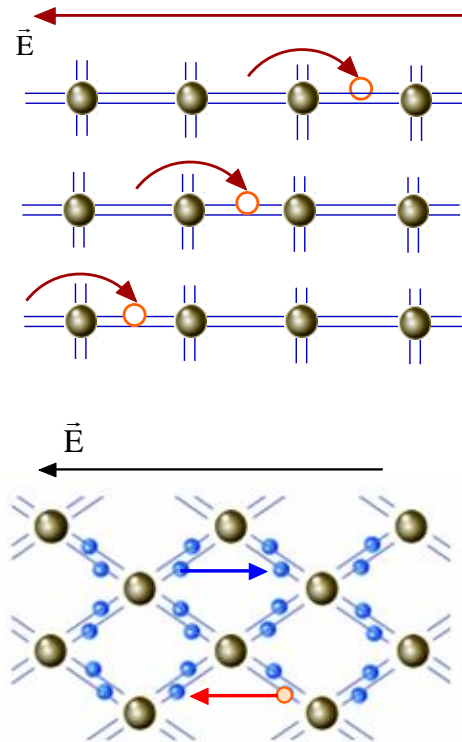
Электронно-дырочные пары могут рождаться также при освещении полупроводника за счет энергии электромагнитного излучения.

В отсутствие электрического поля электроны проводимости и дырки участвуют в хаотическом тепловом движении.

Если полупроводник помещается в электрическое поле, то движение становится упорядоченным. Вместе электронная и дырочная проводимость образуют собственную проводимость полупроводника.

Ток  $I$  в полупроводнике складывается из электронного  $I_n$  и дырочного  $I_p$  токов:

$$I = I_n + I_p$$



## Примесная проводимость полупроводников.

При наличии примесей электропроводимость полупроводников сильно изменяется. Например, добавка фосфора в кристалл кремния в количестве 0,001 процента уменьшает сопротивление более чем в 100000 раз и приближает к сопротивлению металлов.

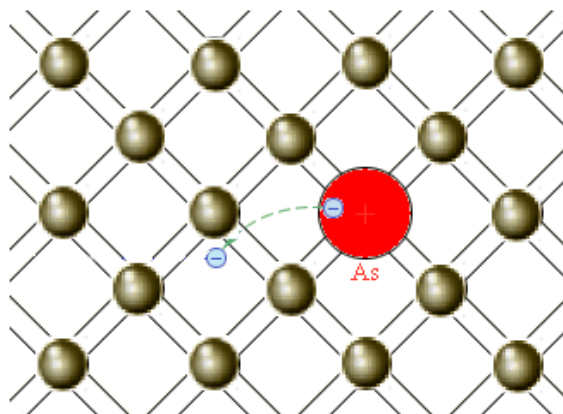
**Необходимым условием резкого уменьшения удельного сопротивления полупроводника при введении примесей является отличие валентности атомов примеси от валентности основных атомов кристалла.**

Проводимость полупроводников при наличии примесей называется *примесной проводимостью*. Различают два типа примесной проводимости – **электронную** и **дырочную** проводимости.

### Электронная проводимость

*Электронная проводимость* возникает, когда в кристалл с четырехвалентными атомами введены пятивалентные атомы (например, мышьяка, As). Четыре валентных электрона атома мышьяка включены в образование ковалентных связей с четырьмя соседними атомами германия. Пятый валентный электрон оказался излишним; он легко отрывается от атома мышьяка и становится свободным. Атом, потерявший электрон, превращается в положительный ион, расположенный в узле кристаллической решетки.

Такая примесь называется **донорной**.



В кристалле донорной примесью есть электроны и дырки, ответственные за собственную проводимость кристалла. Но основным типом носителей свободного заряда являются электроны, оторвавшиеся от атомов мышьяка. Такая проводимость называется **электронной**, а полупроводник, обладающий электронной проводимостью, называется **полупроводником n-типа**.

### Дырочная проводимость

*Дырочная проводимость* возникает, когда в четырехвалентный кристалл введены трехвалентные атомы (например, индия, In). Атом индия создает с помощью валентных электронов ковалентные связи лишь с тремя соседними атомами. На образование связи с четвертым атомом германия у атома индия нет электрона. Этот недостающий электрон может быть захвачен атомом индия из ковалентной связи соседних атомов германия. Атом индия превращается в отрицательный ион, расположенный в узле кристаллической решетки, а в ковалентной связи соседних атомов образуется вакансия.

Примесь атомов, способных захватывать электроны, называется **акцепторной примесью**.

Концентрация дырок в полупроводнике с акцепторной примесью значительно превышает концентрацию электронов, которые возникли из-за механизма собственной электропроводности полупроводника. Проводимость такого типа называется **дырочной проводимостью**. Примесный полупроводник с дырочной проводимостью называется **полупроводником p-типа**. Основными носителями свободного заряда в полупроводниках p-типа являются дырки.

Следует подчеркнуть, что дырочная проводимость в действительности обусловлена эстафетным перемещением по вакансиям от одного атома германия к другому электронов, которые осуществляют ковалентную связь.

