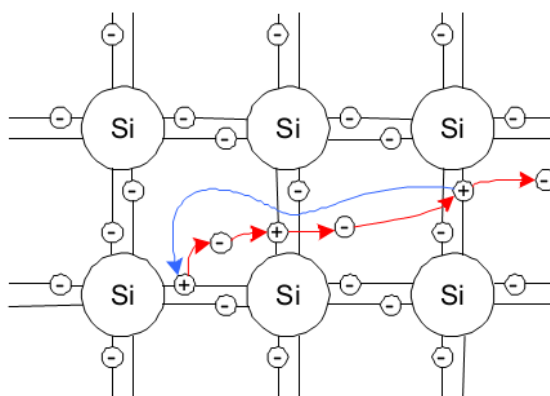


Общие сведения о полупроводниковых элементах

Электроника – область науки и техники, изучающие физические явления в полупроводниковых, электровакуумных приборах и их применение.

В настоящее время в электронных приборах широко используют п/п элементы, обладающие высокой надежностью в работе, экономичные в потреблении энергии, имеющие малую массу, высокий КПД и большой срок службы. Работа п/п элементов основана на использовании электрических свойств материалов, называемых полупроводниками. По электропроводности п/п занимают промежуточное между металлами и диэлектриками. удельное сопротивление п/п при комнатной температуре находится в пределах $10^{-3} \dots 10^{18}$ Ом·см.

Для изготовления п/п приборов используют элементы IV группы периодической системы Менделеева – кремний, германий, селен, арсенид галлия и др. (Si, Ge, Se, GaAs). При температуре абсолютного нуля эти материалы являются диэлектриками. Между атомами вещества существуют ковалентные связи. Свободных электронов нет. При повышении температуры или другой определенной энергии электроны вырываются из связи кристаллической решетки и становятся свободными, а освободившееся место в решетке приобретает положительный заряд, равный заряду электрона. Это вакантное для электрона место получило название "дырки".



Наряду с генерацией носителей заряда, при их хаотичном движении, происходит процесс рекомбинации – воссоединение пары носителей заряда при встрече свободного электрона с дыркой. Устанавливается динамическое равновесие между количеством возникших и исчезающих пар и при неизменной температуре общее количество свободных носителей заряда остается постоянным.

Если приложить внешнее электрическое, движение свободных носителей упорядочивается. Электроны и дырки движутся во взаимно противоположных направлениях вдоль силовой линии поля.

Электропроводность чистого п/п называется собственной. При обычных температурах количество свободных носителей невелико – $10^{16} \dots 10^{18}$ в 1 см^3 вещества. Такой п/п по своим свойствам приближается к диэлектрикам.

Электрические свойства п/п существенно изменяются при введении в них определенных примесей из элементов III и V групп. Введение в кремний в качестве примеси атомов мышьяка As (элемент V группы) создает избыток свободных электронов за счет пятого валентного электрона на внешней оболочке атомов примеси. Удельное сопротивление

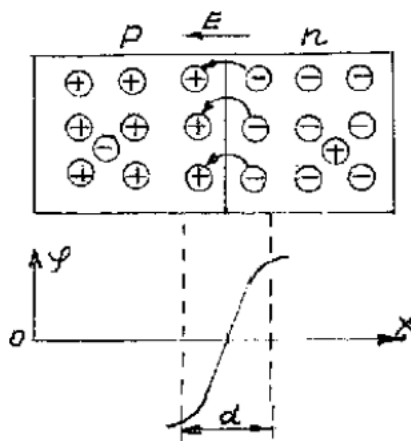
такого п/п значительно уменьшается, и в нем будет преобладать электронная проводимость, а сам п/п называют полупроводник "n" – типа. Носители заряда, концентрация которых выше, называют основными (в данном случае электроны), а с меньшей концентрацией (в данном случае дырки) – неосновными.

Введение атомов примеси III группы, например индия In, создает дырочную электропроводность, в результате чего образуется п/п "p" – типа. Здесь дырки – основные носители заряда, а электроны неосновные.

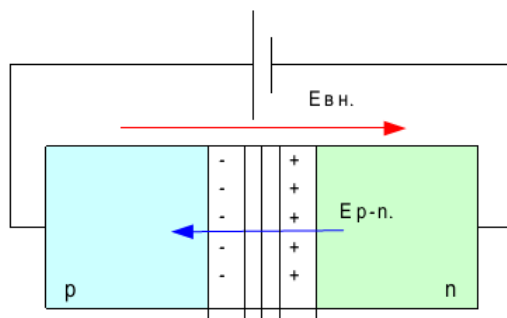
В одном кристалле можно получить зоны различной проводимости. Область их соприкосновения называется электронно-дырочным переходом. На основе п/п различной проводимости создают п/п диоды, транзисторы, резисторы, тиристоры.

На границе раздела п/п различной проводимости происходит рекомбинация электронов и дырок, т.е. свободные электроны из зоны п/п "n" – типа занимает свободные уровни в валентной зоне п/п "p" – типа. В результате на границе двух п/п образуется слой лишенный подвижных носителей заряда и поэтому он обладает высоким электрическим сопротивлением, при этом п/п "n" – типа приобретает положительный заряд, а п/п "p" – типа – отрицательный.

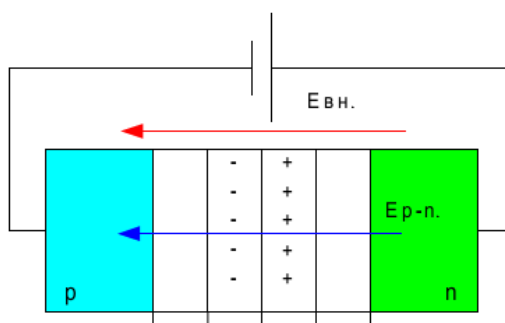
Таким образом, на p – n переходе создается потенциальный барьер, препятствующий прохождению через него основных носителей, где – d – ширина p-n перехода.



Если подключить внешний источник плюсом к p – слою, минусом к n, то на p-n переходе будет действовать электрическое поле за счет напряжения внешнего источника, которое компенсирует внутренне электрическое поле, что приведет к уменьшению потенциального барьера. Основные носители смогут легко преодолеть потенциальный барьер, и через p-n переход пойдет сравнительно большой прямой ток, вызванный основными носителями заряда. Такое включение называется прямым. Считается, что при прямом включении p-n переход открыт.



При подключении внешнего источника противоположной полярности, основные носители будут притянуты к внешнему источнику питания и при этом зона границы раздела расширится. Напряженность на р-п переходе от внешнего источника будет действовать в одном направлении с внутренним полем. В результате этого потенциальный барьер возрастет, полное сопротивление цепи будет очень большим. Основные носители не смогут преодолевать р-п переход. Ток, обусловленный неосновными носителями заряда, в цепи будет близким к нулю. Такой ток называется обратным. Включение р-п перехода также называется обратным. Считается, что при обратном включении р-п переход закрыт.



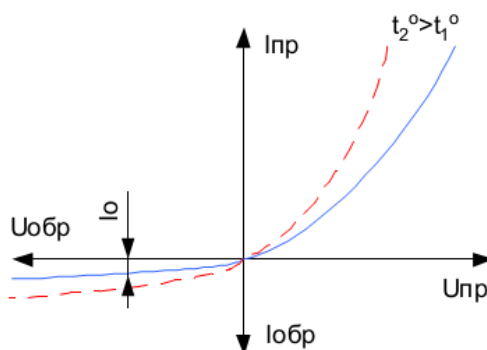
Это свойство односторонней проводимости р-п перехода используется в электронике для выпрямления переменного тока в постоянный, для формирования импульсов, в диодных матрицах дешифраторов, в ограничителях сигналов и т.д.

Свойства р-п перехода

К основным свойствам р-п перехода относятся:

- свойство односторонней проводимости;
- температурные свойства;
- частотные свойства;
- пробой р-п перехода.

Свойство односторонней проводимости нетрудно рассмотреть на вольтамперной характеристике.



Вольтамперной характеристикой (ВАХ) называется графически выраженная зависимость величины протекающего через р-п переход тока от величины приложенного напряжения. Так как величина обратного тока во много раз меньше, чем прямого, то обратным током можно пренебречь и считать, что р-п переход проводит ток в одну сторону.

Температурное свойство р-п перехода показывает, как изменяется работа р-п перехода при изменении температуры. На р-п переход в значительной степени влияет нагрев в очень малой – охлаждение. При увеличении температуры увеличивается термогенерация носителей заряда, что приводит к увеличению как прямого, так и обратного тока.

Частотные свойства р-п перехода показывают, как работает переход при подаче на него переменного напряжения высокой частоты. Частотные свойства определяются двумя видами емкости перехода. Первый вид емкости – это емкость, обусловленная неподвижными зарядами ионов примеси. Она называется зарядной или барьерной емкостью.

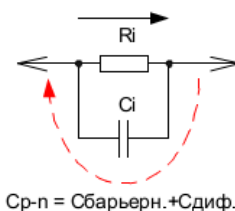
$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d}$$

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S_{p-n}}{\Delta x}$$

Второй тип емкости – это диффузионная емкость, обусловленная диффузией подвижных носителей заряда через р-п переход при прямом включении.

$$C_{\text{диф}} = \frac{Q}{U_{\text{пр}}}$$

Q – суммарный заряд, протекающий через р-п переход.



R_i – внутреннее сопротивление р-п перехода.

R_i очень мало при прямом включении (1...10 Ом) и будет велико при обратном включении (100 кОм...1 МОм).

Если на р-п переход подать переменное напряжение, то емкостное сопротивление р-п перехода будет уменьшаться с увеличением частоты, и при больших частотах емкостное сопротивление может сравняться с внутренним сопротивлением р-п перехода при прямом включении.

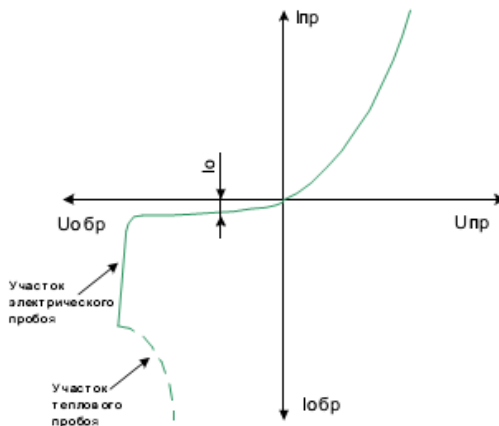
$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

В этом случае при обратном включении через эту емкость потечет достаточно большой обратный ток, и р-п переход потеряет свойство односторонней проводимости.

Вывод: чем меньше величина емкости р-п перехода, тем на более высоких частотах он может работать.

На частотные свойства основное влияние оказывает барьерная емкость, т.к. диффузионная емкость имеет место при прямом включении, когда внутреннее сопротивление р-п перехода мало.

При увеличении обратного напряжения электрического поля становится достаточной для генерации носителей заряда. Это приводит к сильному увеличению обратного тока.



Явление сильного увеличения обратного тока при определенном обратном напряжении называется электрическим пробоем p-n перехода. Электрический пробой - это обратимый пробой, т.е. при уменьшении обратного напряжения p-n переход восстанавливает свойство односторонней проводимости. Если обратное напряжение не уменьшать, то p-n сильно нагреется за счет теплового действия тока и p-n переход сгорит. Такое явление называется тепловым пробоем. Тепловой пробой необратим.