

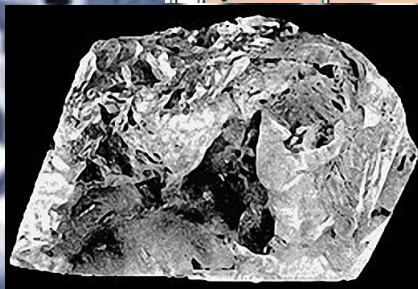
# Электрический Ток в полупроводниках



# Периодическая система химических элементов Д.И.Менделеева

	а 1 б	а 2 б	а 3 б	а 4 б	а 5 б	а 6 б	а 7 б	а 8 б			
1							<b>H</b> 1 1.0079 Водород	<b>He</b> 2 4.0026 Гелий			
2	<b>Li</b> 3 6.941 Литий	<b>Be</b> 4 9.012 Бериллий	<b>B</b> 5 10.81 Бор	<b>C</b> 6 12.011 Углерод	<b>N</b> 7 14.007 Азот	<b>O</b> 8 15.999 Кислород	<b>F</b> 9 18.998 Фтор	<b>Ne</b> 10 20.179 Неон			
3	<b>Na</b> 11 22.990 Натрий	<b>Mg</b> 12 24.305 Магний	<b>Al</b> 13 26.981 Алюминий	<b>Si</b> 14 28.086 Кремний	<b>P</b> 15 30.973 Фосфор	<b>S</b> 16 32.06 Сера	<b>Cl</b> 17 35.453 Хлор	<b>Ar</b> 18 39.948 Аргон			
4	<b>K</b> 19 39.098 Калий	<b>Ca</b> 20 40.08 Кальций	<b>Sc</b> 21 44.956 Скандий	<b>Ti</b> 22 47.90 Титан	<b>V</b> 23 50.941 Ванадий	<b>Cr</b> 24 51.996 Хром	<b>Mn</b> 25 54.938 Марганец		<b>Fe</b> 26 55.847 Железо	<b>Co</b> 27 58.933 Кобальт	<b>Ni</b> 28 58.70 Никель
	<b>Cu</b> 29 63.546 Медь	<b>Zn</b> 30 65.38 Цинк	<b>Ga</b> 31 69.72 Галлий	<b>Ge</b> 32 72.59 Германий	<b>As</b> 33 74.921 Мышьяк	<b>Se</b> 34 78.96 Селен	<b>Br</b> 35 79.904 Бром	<b>Kr</b> 36 83.80 Криптон			
5	<b>Rb</b> 37 85.468 Рубидий	<b>Sr</b> 38 87.62 Стронций	<b>Y</b> 39 88.906 Иттрий	<b>Zr</b> 40 91.22 Церконий	<b>Nb</b> 41 92.906 Никобий	<b>Mo</b> 42 95.94 Молибден	<b>Tc</b> 43 98.906 Технеций		<b>Ru</b> 44 101.07 Рутений	<b>Rh</b> 45 102.905 Родий	<b>Pd</b> 46 106.4 Палладий
	<b>Ag</b> 47 107.868 Серебро	<b>Cd</b> 48 112.40 Кадмий	<b>In</b> 49 114.82 Индий	<b>Sn</b> 50 118.69 Олово	<b>Sb</b> 51 121.75 Сурьма	<b>Te</b> 52 127.60 Теллур	<b>I</b> 53 126.904 Иод	<b>Xe</b> 54 131.30 Ксенон			
6	<b>Cs</b> 55 132.905 Цезий	<b>Ba</b> 56 137.34 Барий	<b>La</b> 57 138.905 Лантан	<b>Hf</b> 72 178.49 Гафний	<b>Ta</b> 73 180.948 Тантал	<b>W</b> 74 183.85 Вольфрам	<b>Re</b> 75 186.207 Рений		<b>Os</b> 76 190.2 Осмий	<b>Ir</b> 77 192.22 Иридий	<b>Pt</b> 78 195.09 Платина
	<b>Au</b> 79 196.967 Золото	<b>Hg</b> 80 200.59 Ртуть	<b>Tl</b> 81 204.37 Таллий	<b>Pb</b> 82 207.2 Свинец	<b>Bi</b> 83 208.980 Висмут	<b>Po</b> 84 [209] Полоний	<b>At</b> 85 [210] Астат	<b>Rn</b> 86 [222] Радон			
7	<b>Fr</b> 87 [223] Франций	<b>Ra</b> 88 226.025 Радий	<b>Ac</b> 89 [227] Актиний	<b>Ku</b> 104 [261] Курчатовий	<b>Ns</b> 105 [269] Нильсборий						

красным  
выделены  
полупроводники





# Физические свойства полупроводников





# Физические свойства полупроводников

Проводимость полупроводников зависит от температуры. В отличие от проводников, сопротивление которых возрастает с ростом температуры, сопротивление полупроводников при нагревании уменьшается. Вблизи абсолютного нуля температуры полупроводники имеют свойства диэлектриков.

$R$  (Ом)

$R_0$

металл

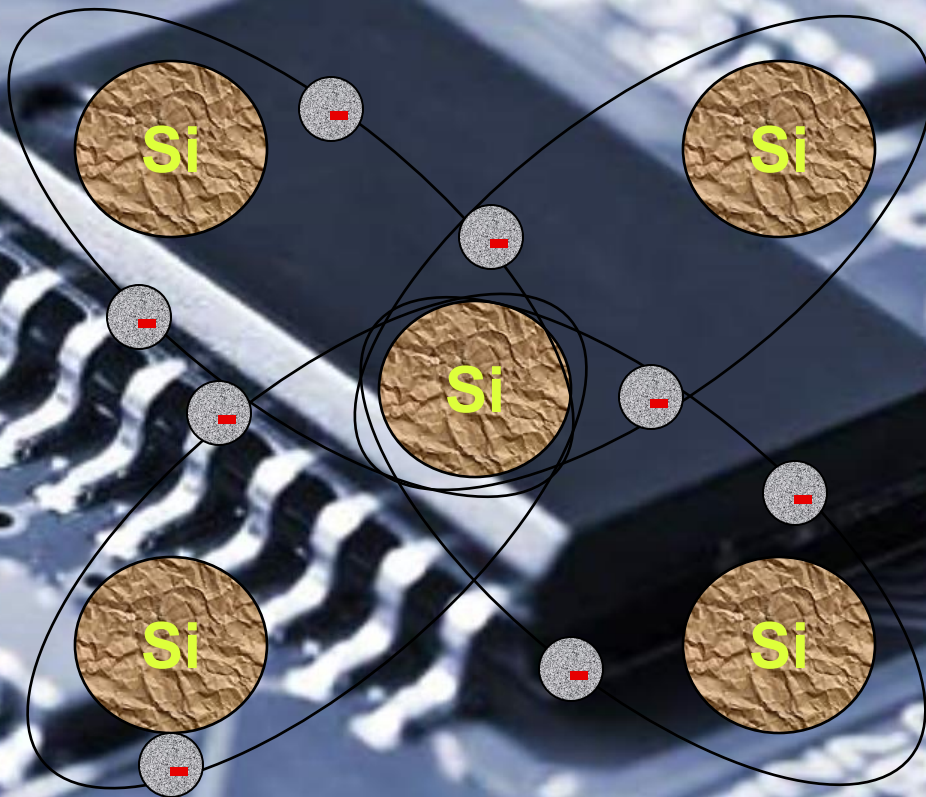
полупроводник

Это происходит потому, что при увеличении температуры  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) растет число свободных носителей заряда, проводимость полупроводников растет, сопротивление уменьшается



# Собственная проводимость полупроводников

При обычных условиях (невысоких температурах) в полупроводниках отсутствуют свободные заряженные частицы, поэтому полупроводник не проводит электрический ток. Рассмотрим это на примере кремния.

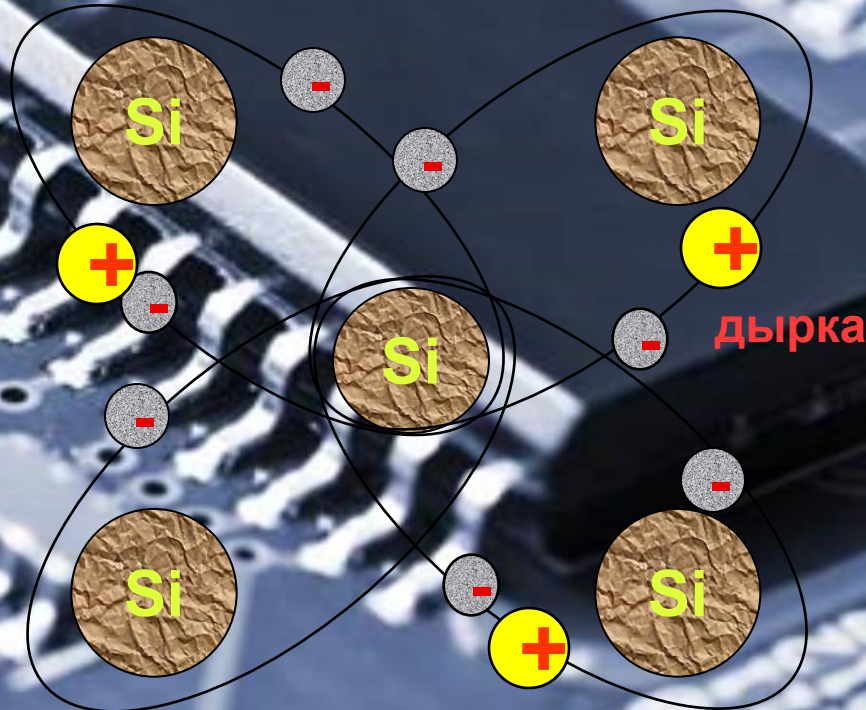


Кремний – 4 валентный химический элемент. Каждый атом имеет во внешнем электронном слое по 4 электрона, которые используются для образования парноэлектронных (ковалентных) связей с 4 соседними атомами. При этом свободных электрических зарядов нет.



# «Дырка»

При нагревании кинетическая энергия электронов увеличивается и самые быстрые из них покидают свою орбиту. Во время разрыва связи между электроном и ядром появляется свободное место в электронной оболочке атома. В этом месте образуется условный положительный заряд, называемый «дыркой».



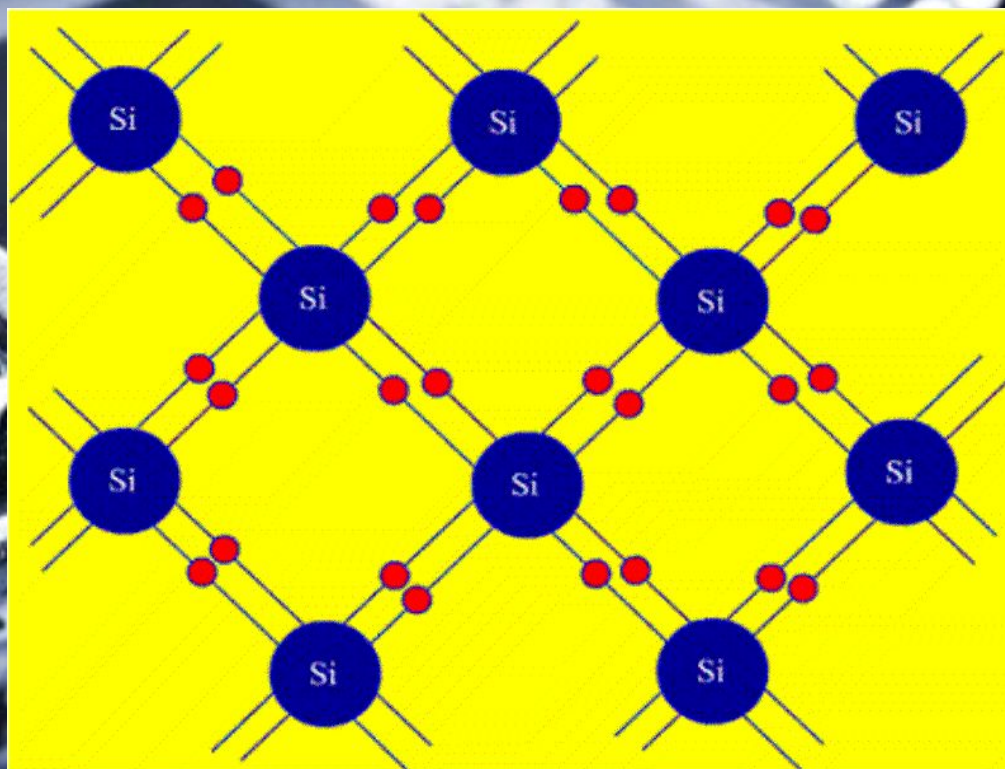
свободный  
электрон

дырка



# Собственная проводимость полупроводников

Валентный электрон соседнего атома, притягиваясь к дырке, может перескочить в нее (рекомбинировать). При этом на его прежнем месте образуется новая «дырка», которая затем может аналогично перемещаться по кристаллу.



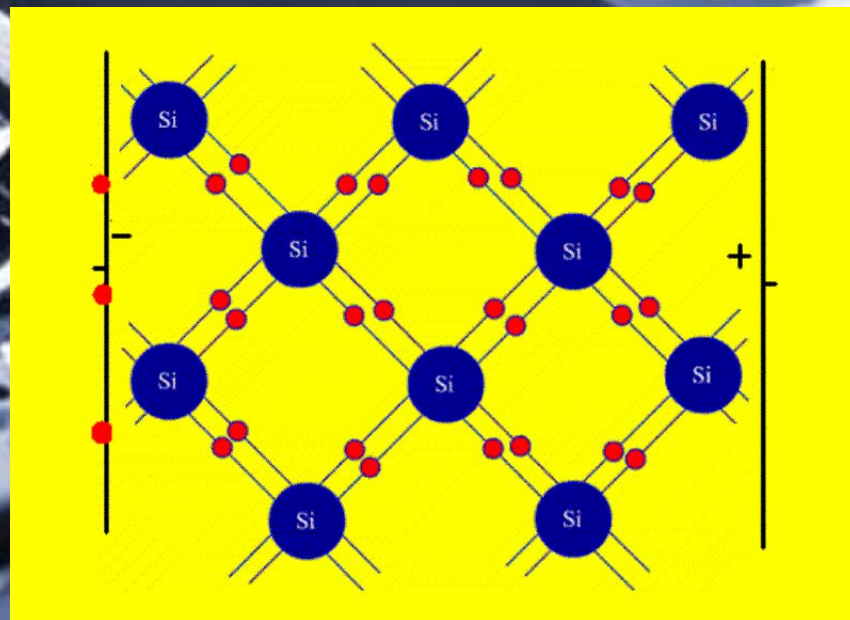


# Собственная проводимость полупроводников

Если напряженность электрического поля в образце равна нулю, то движение освободившихся электронов и «дырок» происходит беспорядочно и поэтому не создаёт электрического тока.

Под воздействием электрического поля электроны и дырки начинают упорядоченное (встречное) движение, образуя электрический ток.

Проводимость при этих условиях называют **собственной проводимостью полупроводников**. При этом движение электронов создаёт **электронную проводимость**, а движение дырок – **дырочную проводимость**.

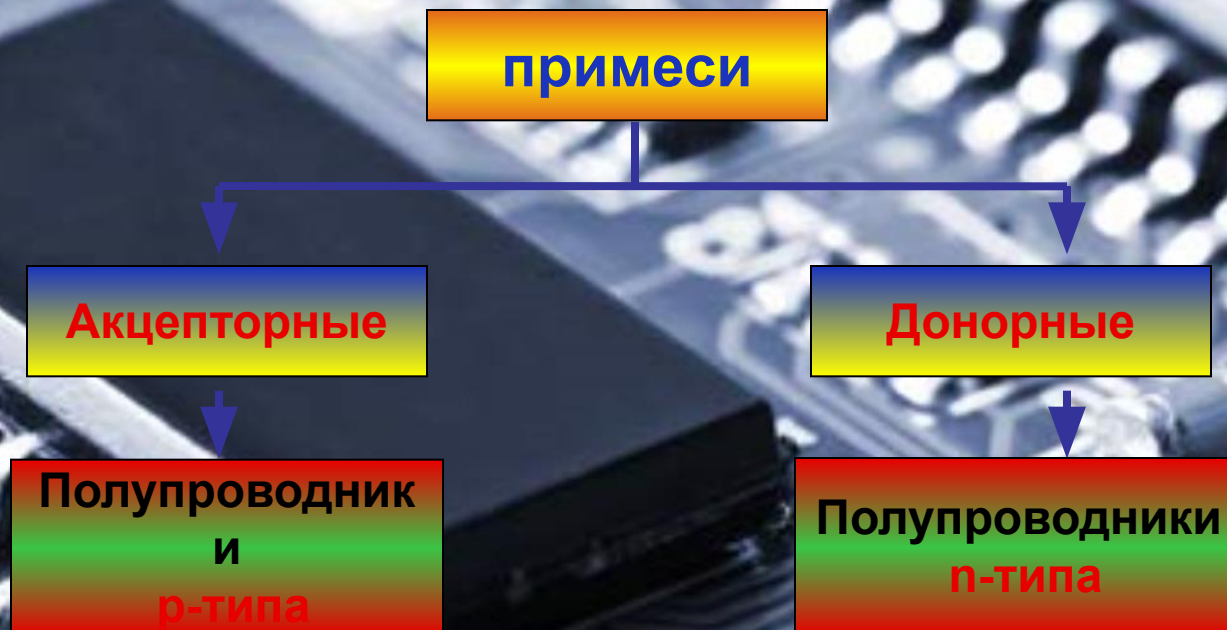




# Примесная проводимость полупроводников

Дозированное введение в чистый проводник примесей позволяет целенаправленно изменять его проводимость.

Поэтому для увеличения проводимости в чистые полупроводники внедряют примеси (легируют), которые бывают **донорные** и **акцепторные**



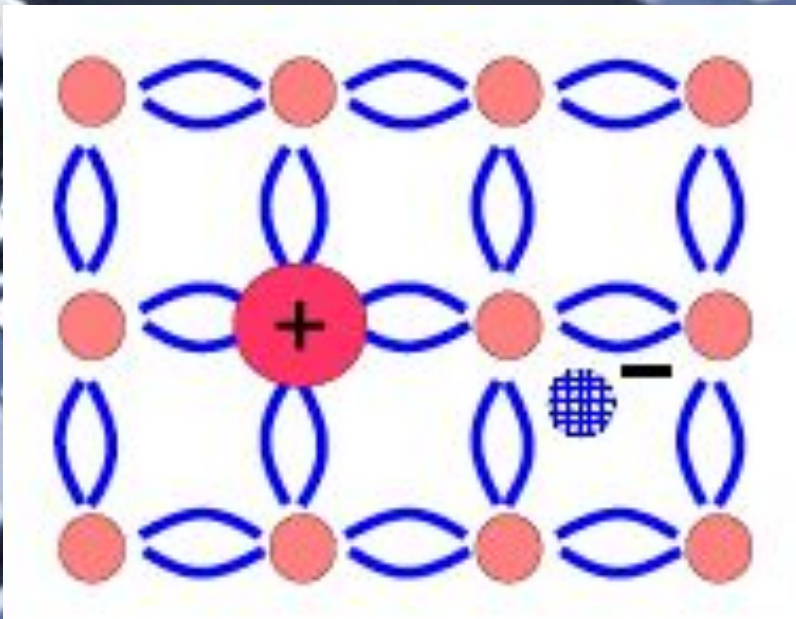


# Электронные полупроводники (**n-типа**)

Термин «**n-тип**» происходит от слова «negative», обозначающего отрицательный заряд основных носителей. Этот вид полупроводников имеет примесную природу. В четырехвалентный полупроводник (например, кремний) добавляют примесь пятивалентного полупроводника (например, мышьяка). При легировании 4 – валентного кремния Si 5 – валентным мышьяком As, один из 5 электронов мышьяка становится свободным. В данном случае перенос заряда осуществляется в основном электронами, т.к. их концентрация больше чем дырок. Такая проводимость называется электронной. Примеси, которые добавляют в полупроводники, вследствие чего они превращаются в полупроводники n-типа, называются донорными.

Проводимость N-полупроводников приблизительно равна:

$$\sigma \approx qN_n\mu_n$$

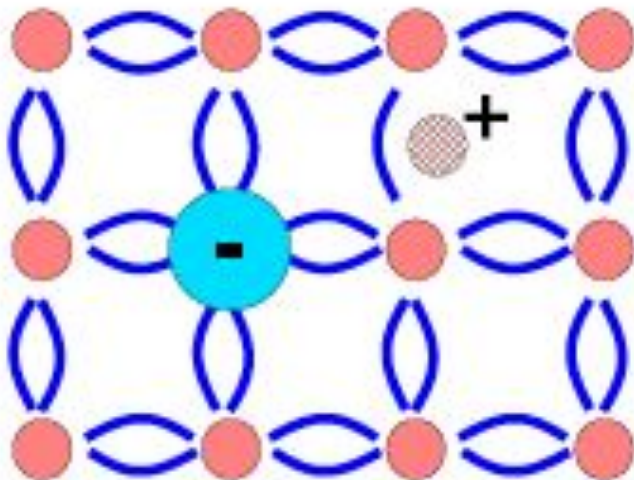




# Дырочные полупроводники (**p-типа**)

Термин «**p-тип**» происходит от слова «positive», обозначающего положительный заряд основных носителей. В четырехвалентный полупроводник (например, в кремний) добавляют небольшое количество атомов трехвалентного элемента (например, индия). Примеси, которые добавляют в этом случае, называются **акцепторными**. Если кремний легировать трехвалентным индием, то для образования связей с кремнием у индия не хватает одного электрона, т.е. образуется дополнительная дырка. В таком полупроводнике **основными носителями** заряда являются **дырки**, а проводимость называется **дырочной**.

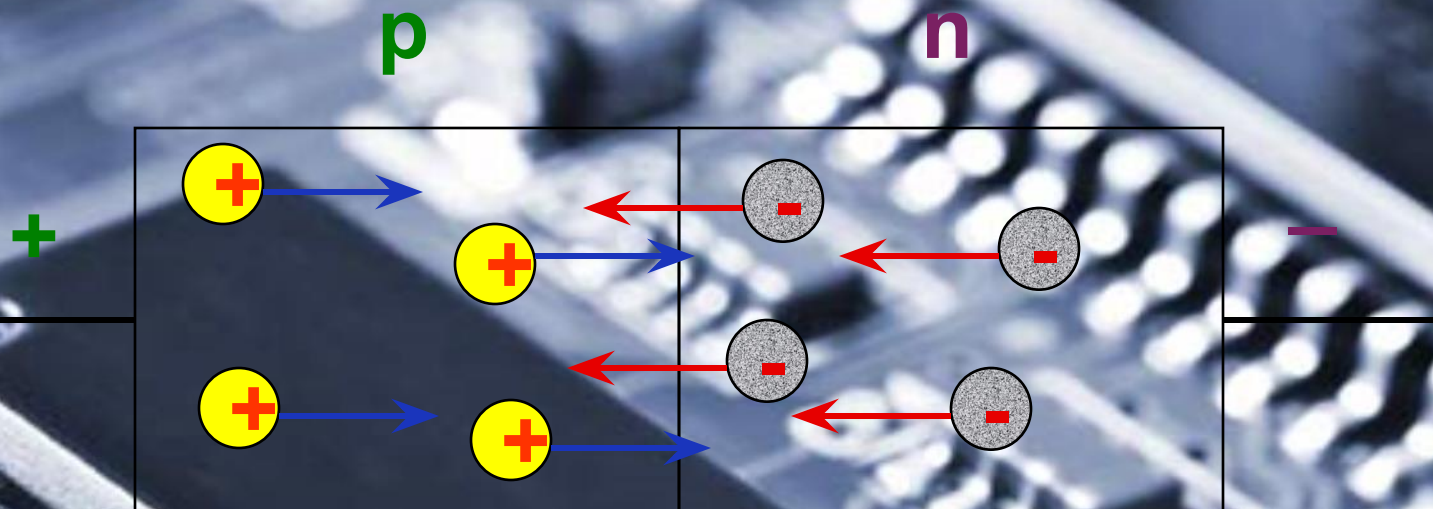
Проводимость P-полупроводников приблизительно равна:  $\sigma \approx qN_p\mu_p$





Рассмотрим электрический контакт двух полупроводников р и n типа, называемый р – n переходом

## 1. Прямое включение



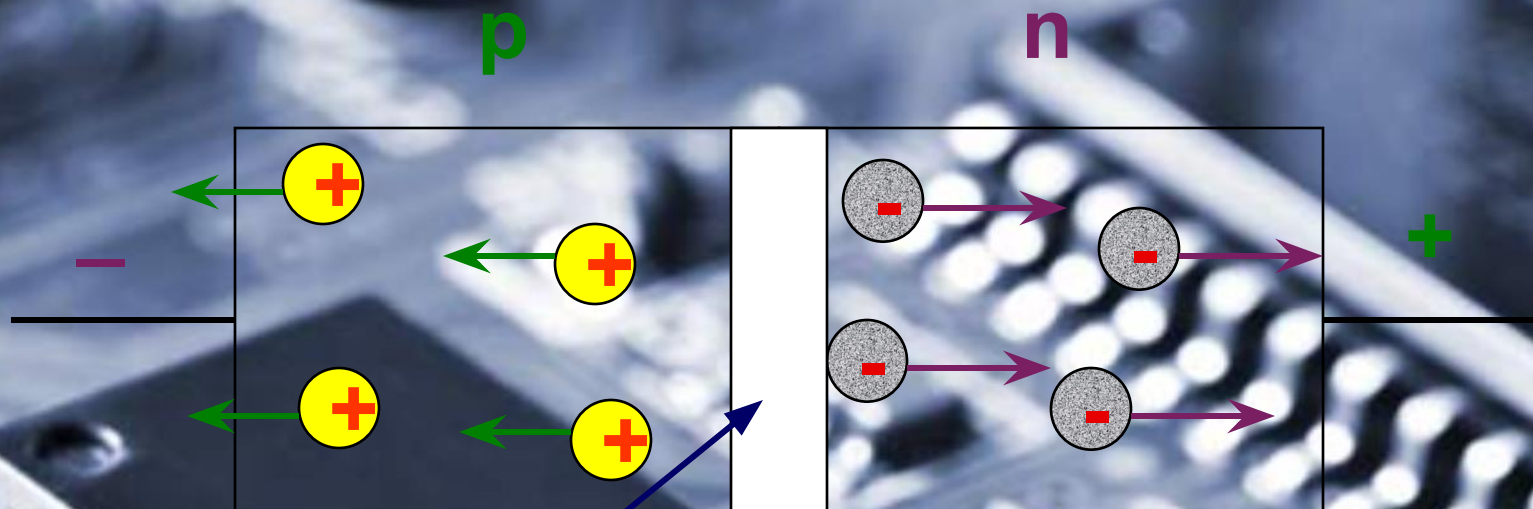
Ток через р – n переход осуществляется основными носителями заряда (дырки движутся вправо, электроны – влево)

Сопротивление перехода мало, ток велик.

Такое включение называется прямым, в прямом направлении р – n переход хорошо проводит электрический ток.



## 2. Обратное включение



Запирающий слой

Основные носители заряда не проходят через  $p - n$  переход.

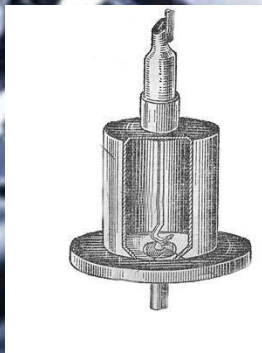
Сопротивление перехода велико, ток практически отсутствует.

Такое включение называется обратным, в обратном направлении  $p - n$  переход практически не проводит электрический ток.



# Диод

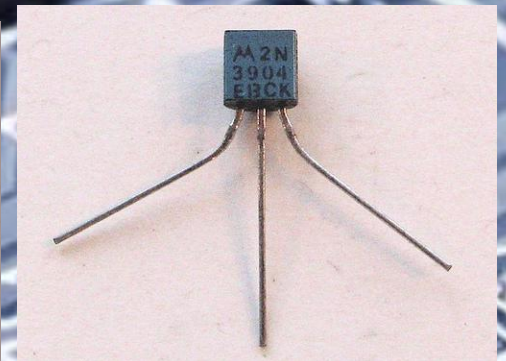
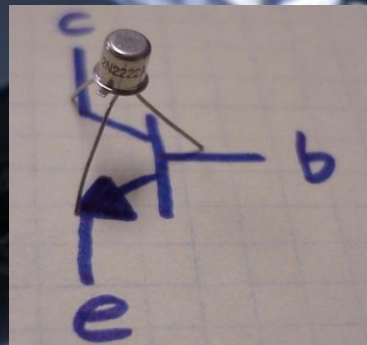
Полупроводниковый диод состоит из двух типов полупроводников — дырочного и электронного. В процессе контакта между этими областями из области с полупроводником **n-типа** в область с полупроводником **p-типа** проходят электроны, которые затем рекомбинируют с дырками. Вследствие этого возникает электрическое поле между двумя областями, что устанавливает предел деления полупроводников — так называемый **p-n переход**.





# Транзистор

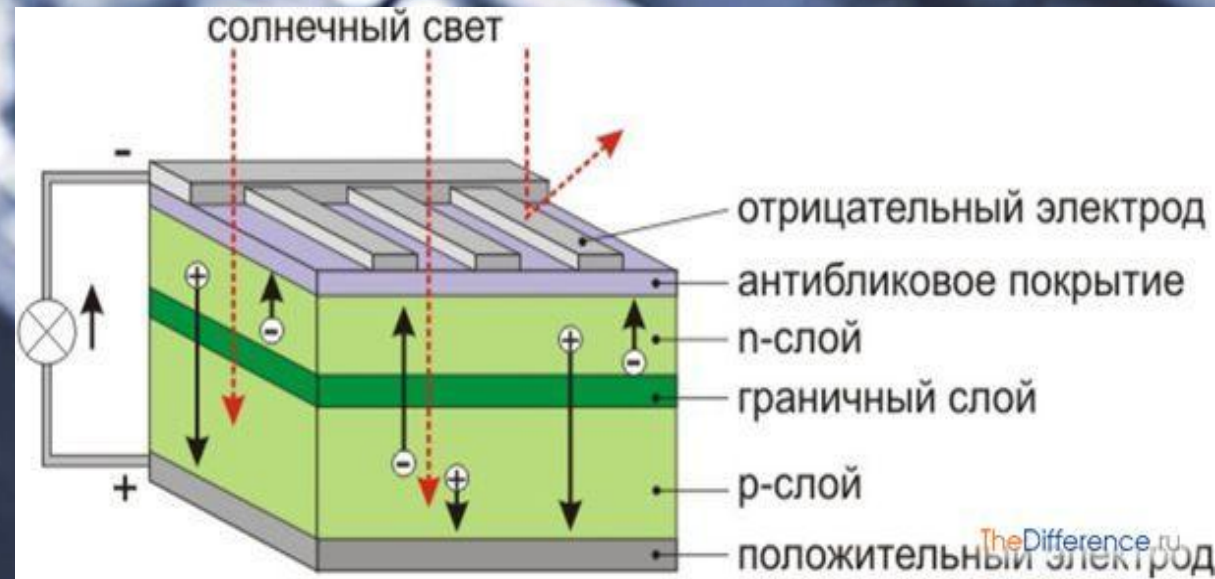
Транзистор — полупроводниковое устройство, которое состоит из двух областей с полупроводниками р- или n-типа, между которыми находится область с полупроводником n- или р-типа. Таким образом, в транзисторе есть две области р-n перехода. Область кристалла между двумя переходами называют базой, а внешние области называют эмиттером и коллектором. Самой употребляемой схемой включения транзистора является схема включения с общим эмиттером, при которой через базу и эмиттер ток распространяется на коллектор. Биполярный транзистор используют для усиления электрического тока.



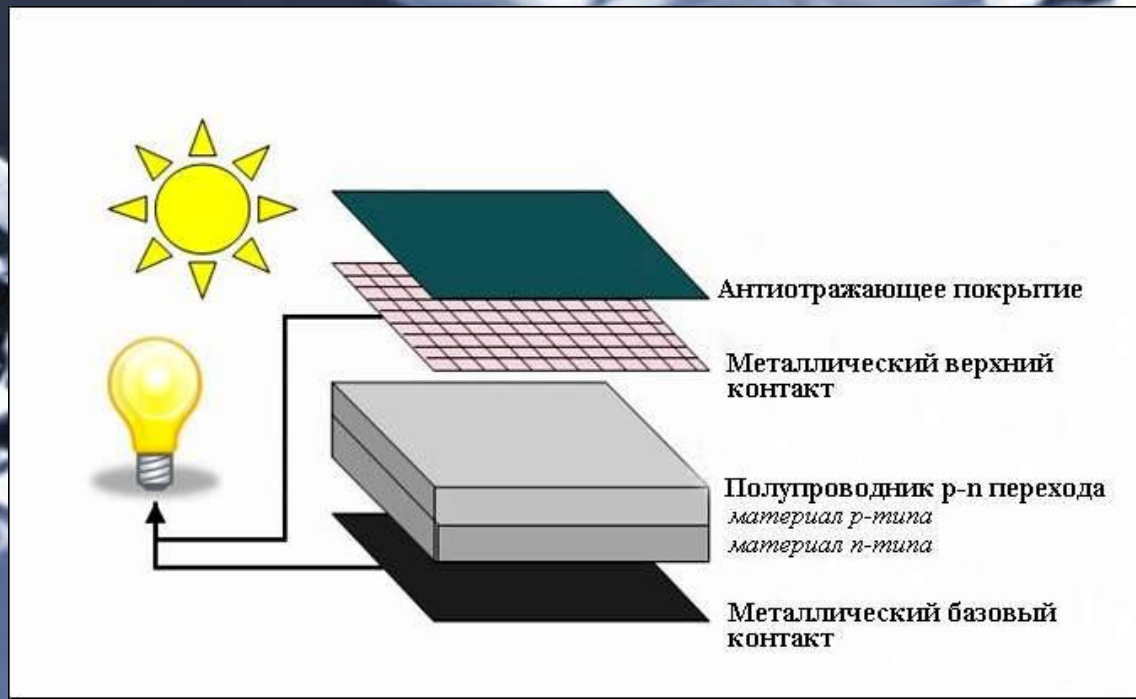
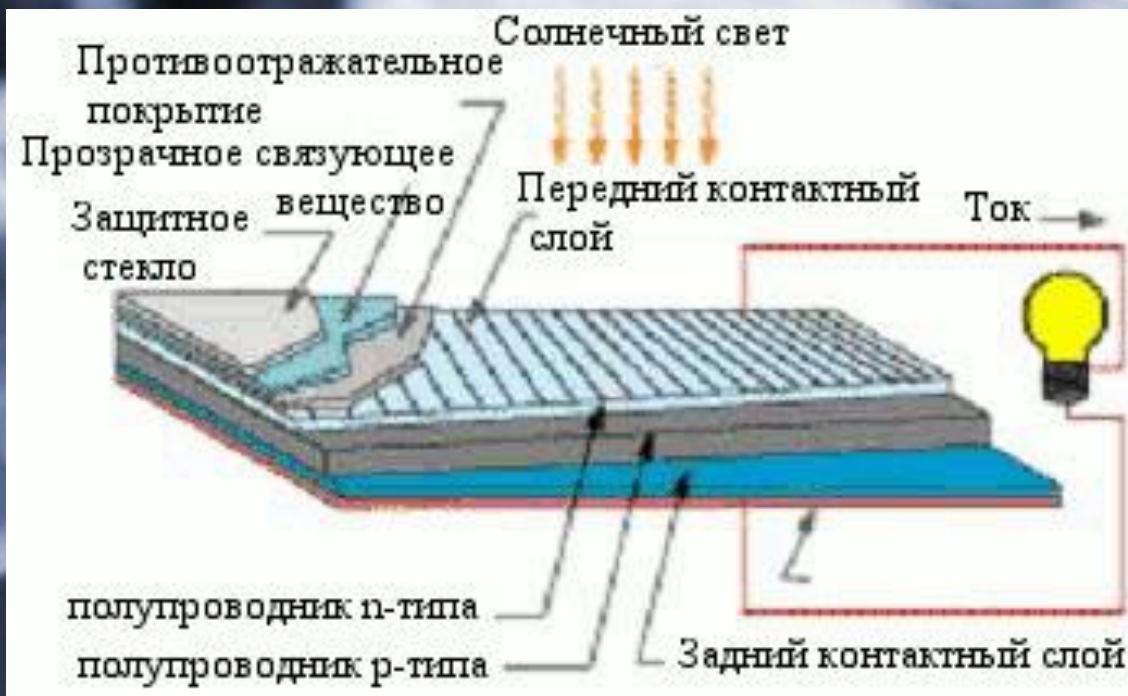


# Солнечные батареи

- Солнечная батарея — несколько объединённых фотоэлектрических преобразователей (фотоэлементов — несколько объединённых фотоэлектрических преобразователей (фотоэлементов) — полупроводниковых — несколько объединённых фотоэлектрических преобразователей (фотоэлементов) —











Спасибо за Внимание!