

# Электроника



▣ **Электроника** — наука о взаимодействии заряженных частиц с электромагнитными полями и методах создания электронных приборов и устройств, работа которых основана на прохождении электрического тока в твердом теле, вакууме и газах.

# Электронные приборы

□ полупроводниковые

газозарядные

электронно-вакуумные



# Газоразрядные лампы

К газоразрядным лампам относится большая группа приборов, работающих при дуговом разряде в газе.

Наиболее распространены люминесцентные лампы, которые выполняются в виде стеклянных трубок различной конфигурации.

В торцах трубки размещены два накаливаемых вольфрамовых электрода **1** и **2** с активным покрытием. Электроды присоединены к токоподводящим штырям **3**,

В баллон (трубку) введен инертный газ и дозированная капля ртути, а стенки с внутренней стороны покрыты люминофором.

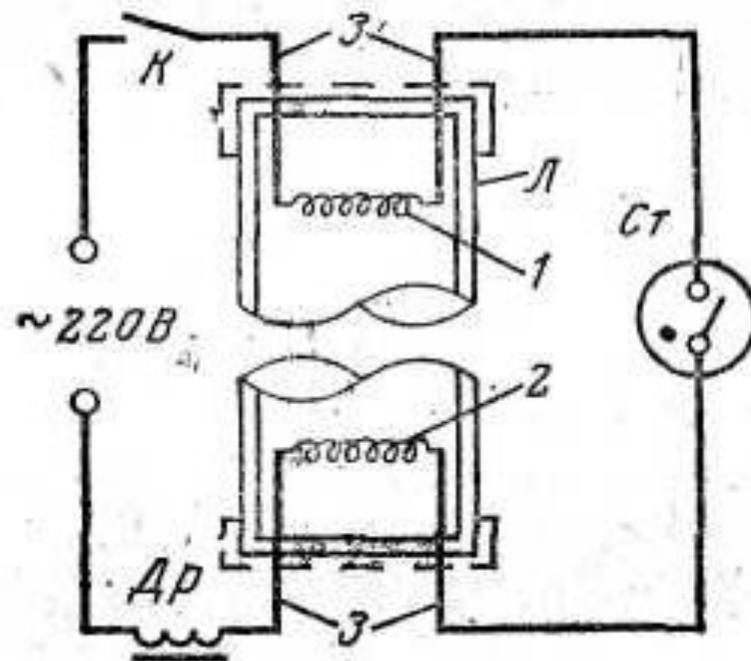


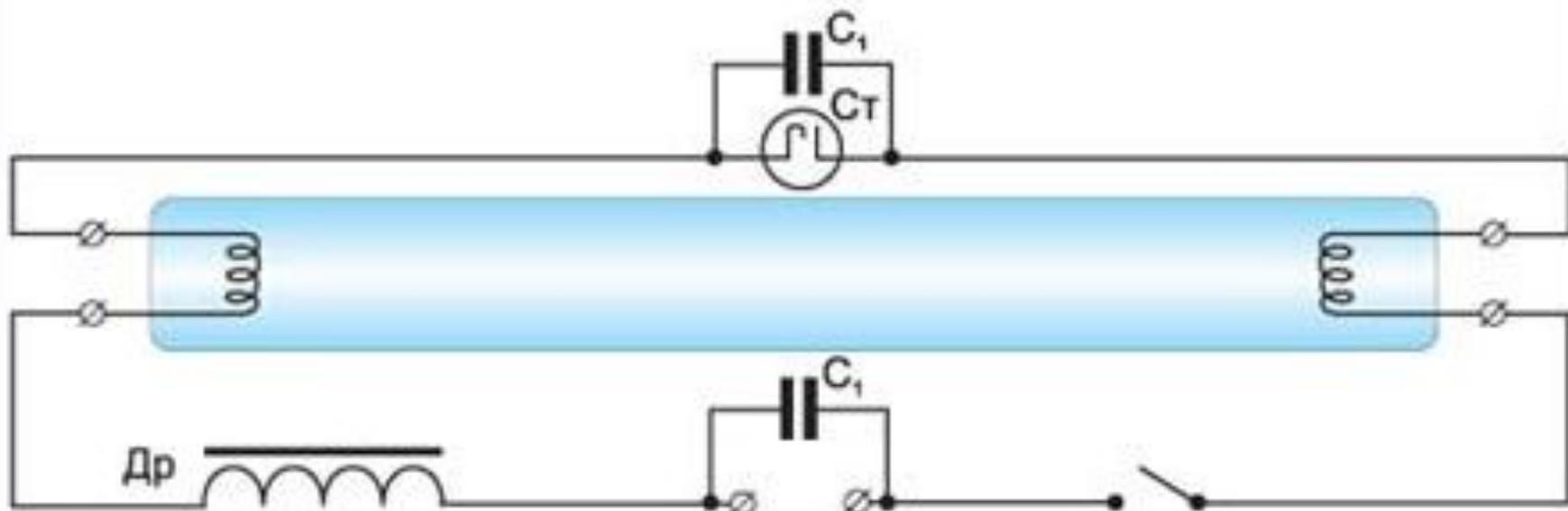
Рис. 1 Газоразрядная лампа и схема ее включения в электрическую сеть

Лампу включают в осветительную сеть последовательно с балластным сопротивлением в виде дросселя *Др*; к другим штырям лампы (параллельно ей) присоединен стартер *Ст*.

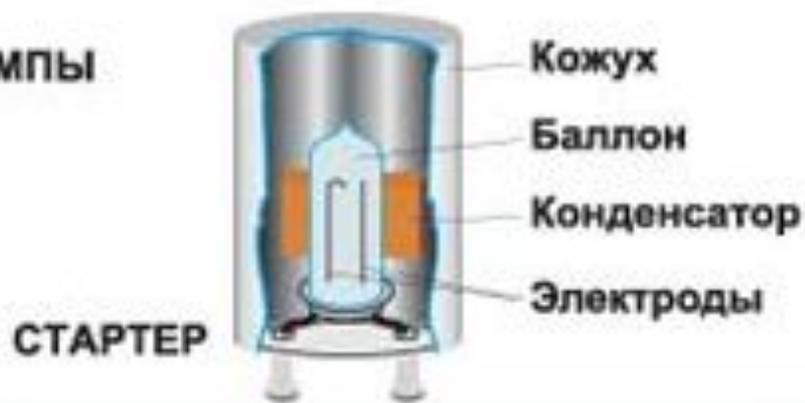
Дроссель—индуктивная катушка со стальным магнитопроводом — обладает способностью резко увеличивать напряжение при разрыве цепи с током.

Стартером является неоновая лампа, один из электродов которой выполнен биметаллическим. После включения выключателя *К* она светится некоторое время, из-за чего биметаллический электрод нагревается и срабатывает, замыкая цепь электродов *1* и *2*, что обеспечивает их разогрев. Биметаллический электрод остывает.

При остывании биметаллического электрода он размыкается, за счет дросселя в лампе возникает разряд, Пар ртути ионизируется, и лампа заполняется плазмой. Ее ультрафиолетовое излучение взаимодействует со слоем люминофора на стенках, который испускает видимое излучение.



**СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ  
ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ЛАМПЫ**



**ЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ ЛАМПА**

# Электропроводность полупроводников

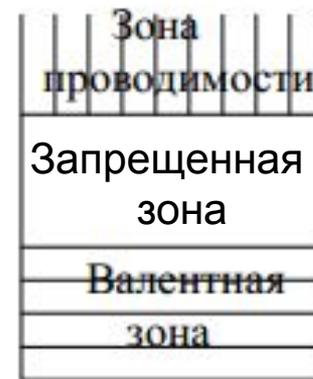
- Полупроводники объединяют обширный класс материалов, удельное сопротивление которых ( $10^8 - 10^{-6}$  Ом · м) лежит в интервале между сопротивлениями проводников и диэлектриков.



Металлы



Полупроводники

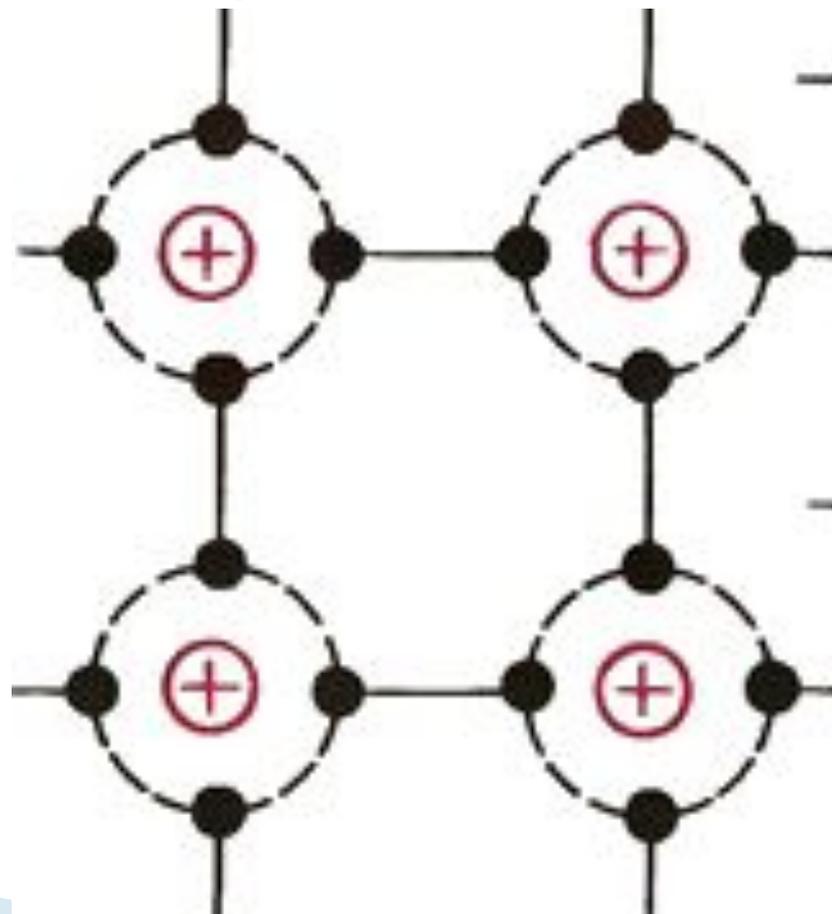
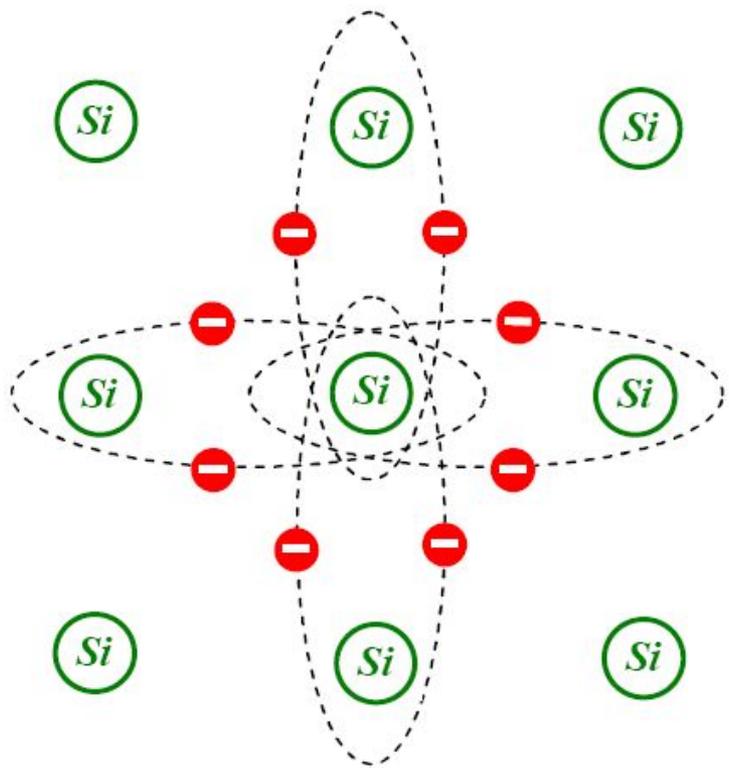


Диэлектрик

- В полупроводниках концентрация свободных электронов зависит от температуры, освещения и ионизирующего излучения.

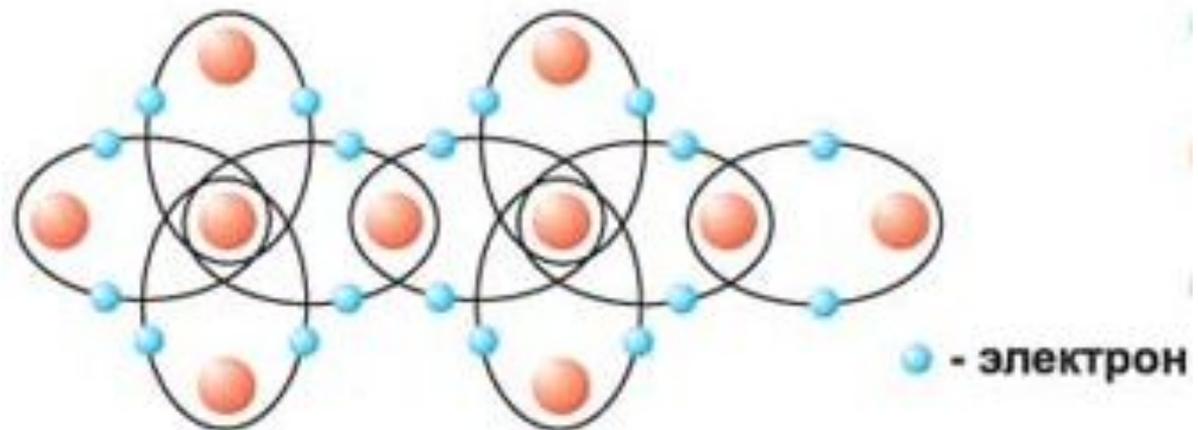
- К полупроводникам относятся кремний, германий, селен, индий, ряд химических соединений элементов III группы периодической системы с элементами V группы, некоторые органические соединения.
- Наибольшее применение нашли кремний Si и германий Ge.

- В электронной структуре идеального кристалла кремния каждый из четырех валентных электронов образует связанную пару (ковалентную связь) с такими же валентными электронами четырех соединений атомов.

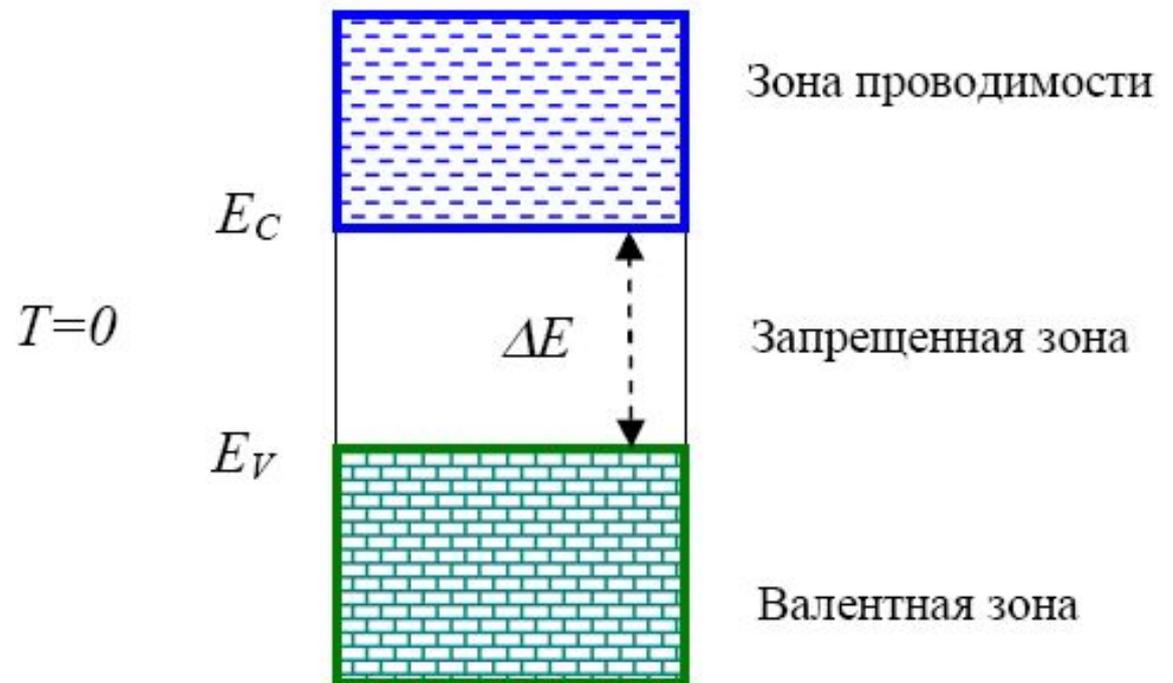


- Валентные электроны (по четыре на каждый атом) образуют внешние орбиты так, что каждый из электронов принадлежит сразу двум соседним атомам.

### СХЕМА СТРОЕНИЯ КРЕМНИЯ

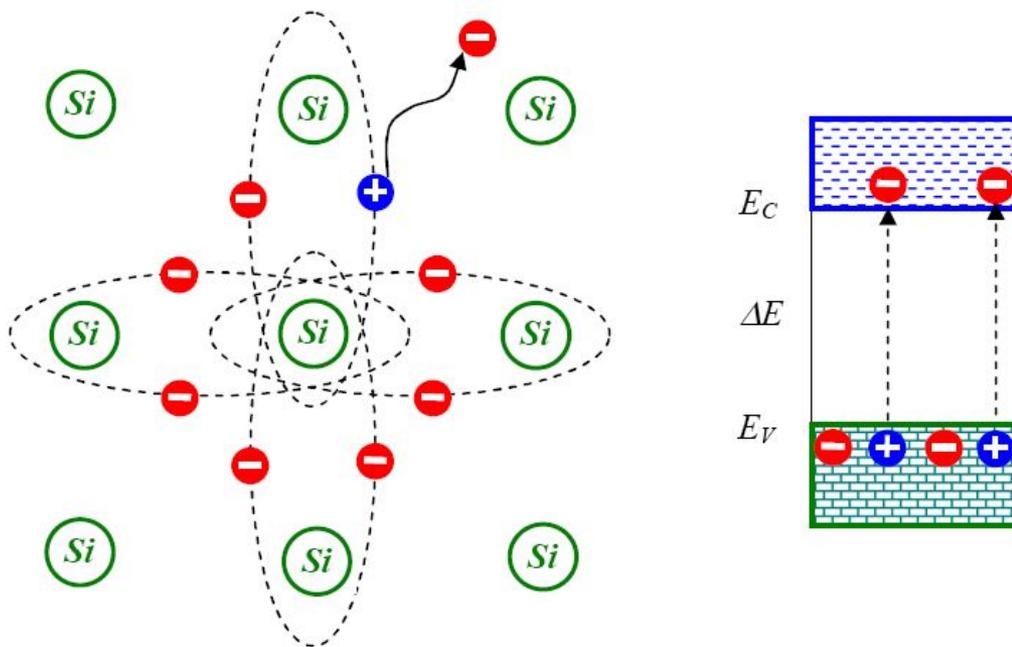


- Если на атомы полупроводника не действуют внешние источники энергии, способные нарушить его электронную структуру, то все атомы электрически нейтральны.
- Такой идеальный кристалл не проводит электрический ток.



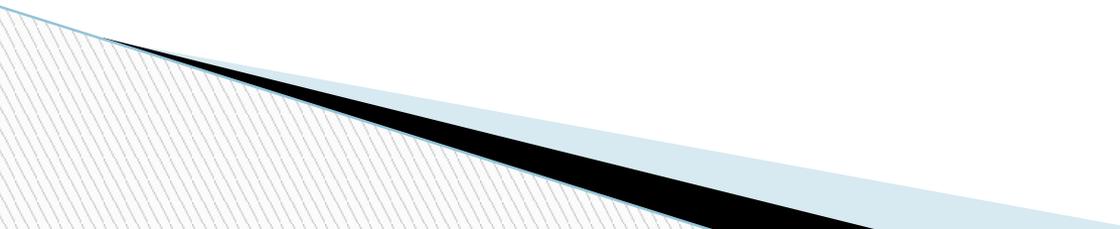
# Собственная проводимость

С повышением температуры (или других внешних факторов) ковалентные связи разрушаются и некоторые валентные электроны отрываются от своих атомов и становятся свободными электронами.



При обрыве ковалентной связи нарушается электрическая нейтральность двух соседних атомов, которые приобретают при этом элементарный положительный заряд, условно называемый ***дыркой***.

Если к кристаллу подсоединить внешний источник электрической энергии, то свободные электроны начнут двигаться к «плюсу» источника, а дырки - к «минусу», создавая электрический ток в кристалле.

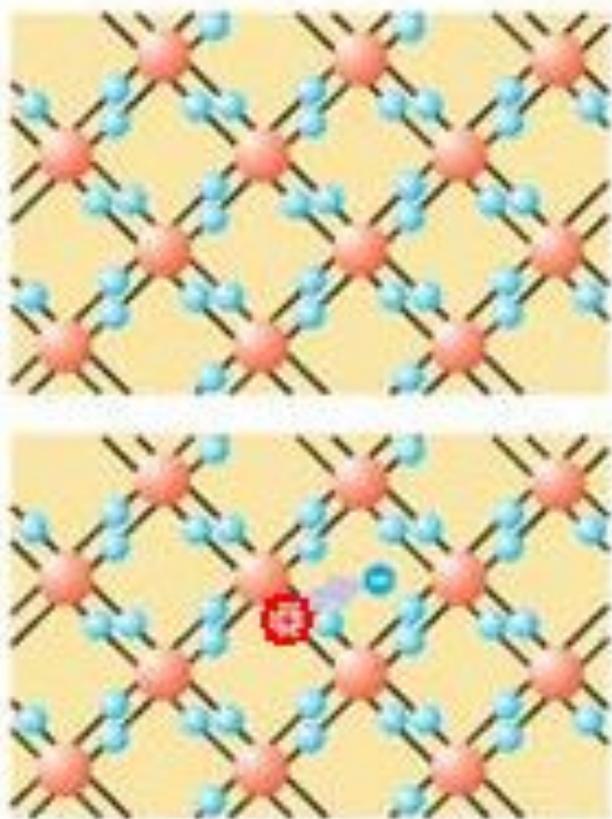


- Энергия, необходимая для переброски электрона в зону проводимости, (энергия активации) должна быть не меньше, чем ширина запрещенной зоны.

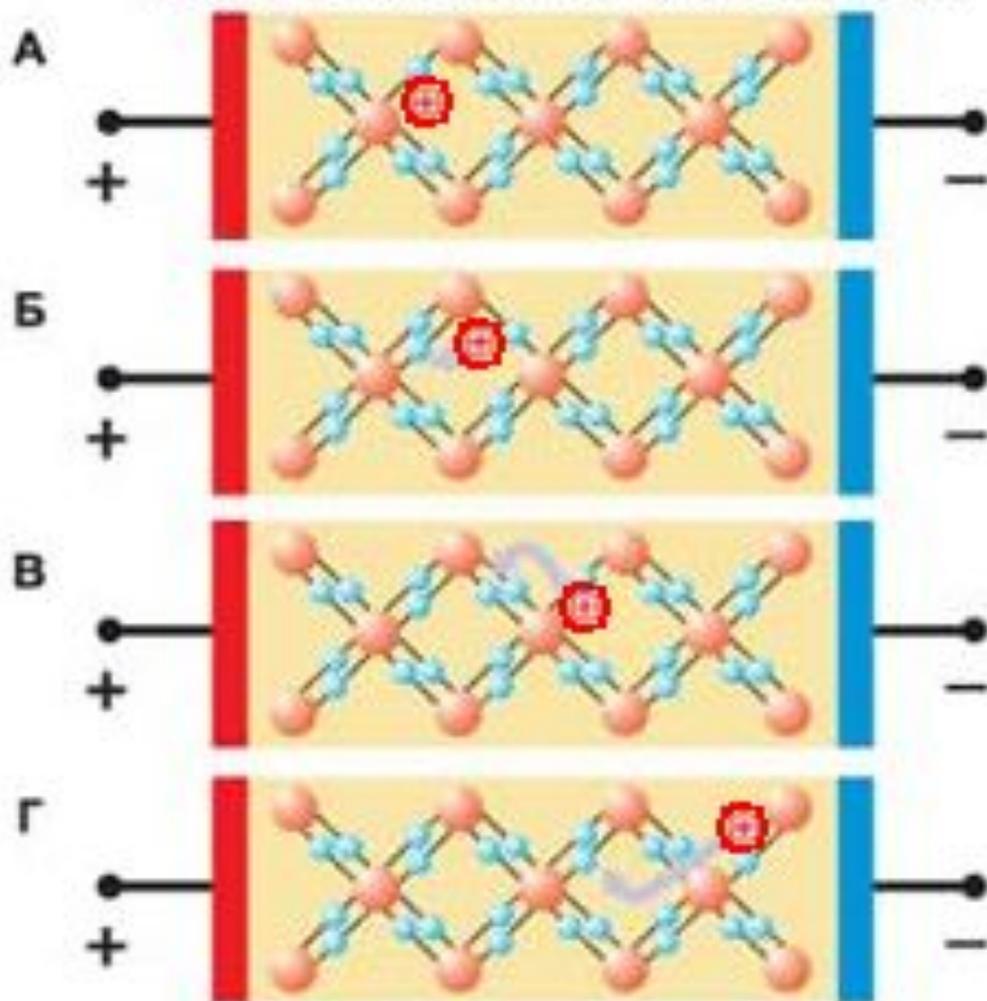
- ▣ **Генерация** – процесс разрыва одной валентной связи в электрически нейтральном атоме кремния, который эквивалентен рождению пары «электрон – дырка». Одновременно протекает и обратный процесс — **рекомбинация**, т.е. восстановление валентной связи при встрече электрона и дырки.

- Такая проводимость полупроводников называется **собственной**.

Механизм образования электронов и "дырок"

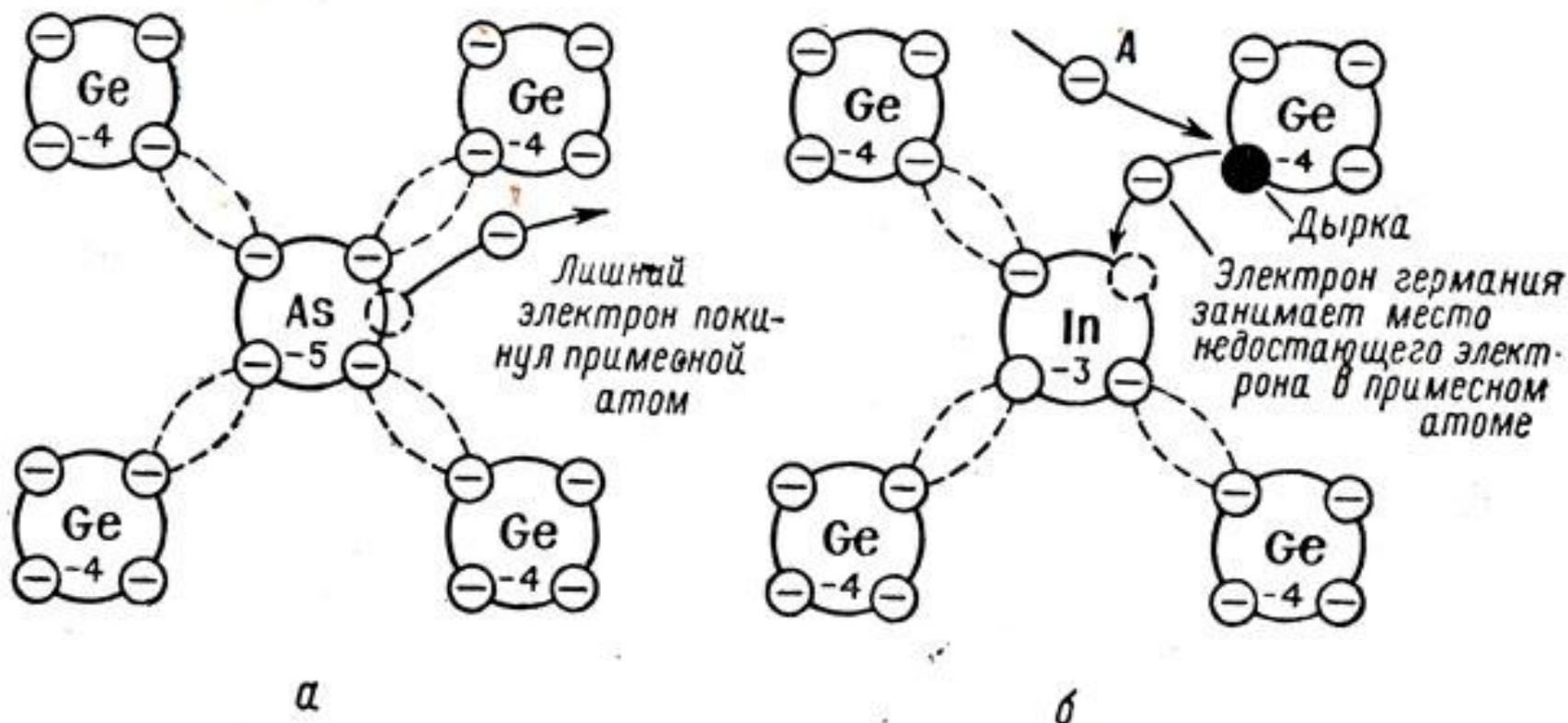


Механизм дырочной проводимости



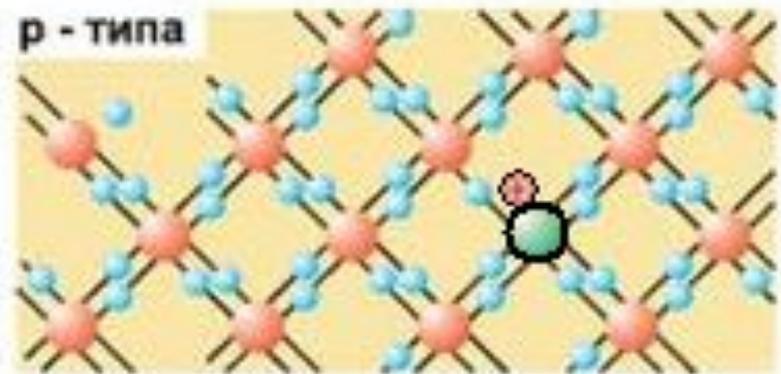
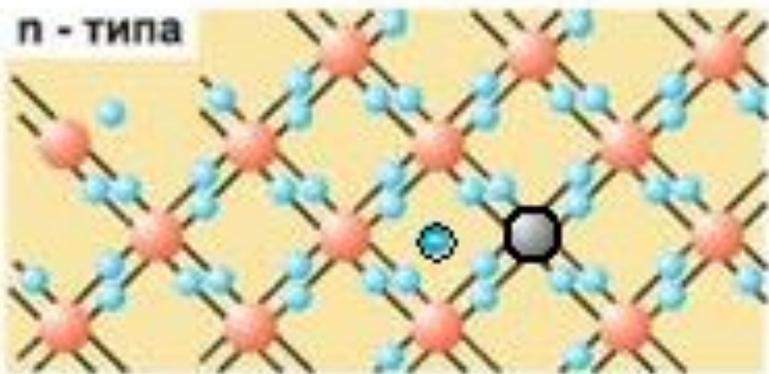
# Примесная проводимость

- При добавлении в кристалл примесей других химических элементов проводимость меняется.

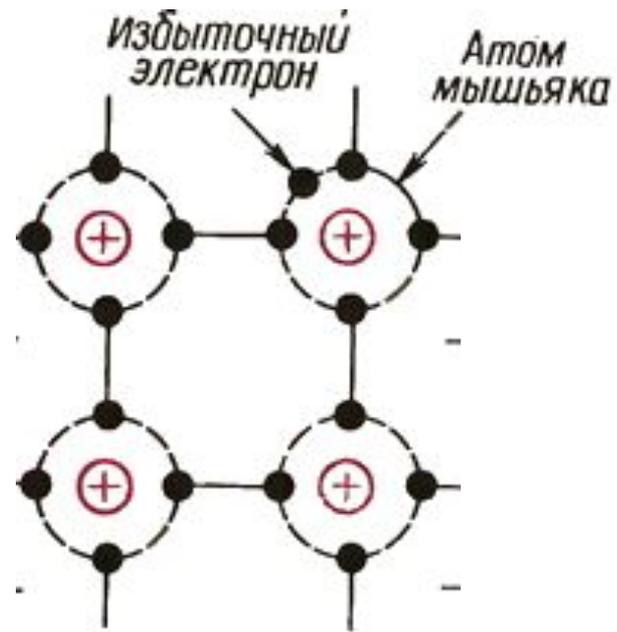
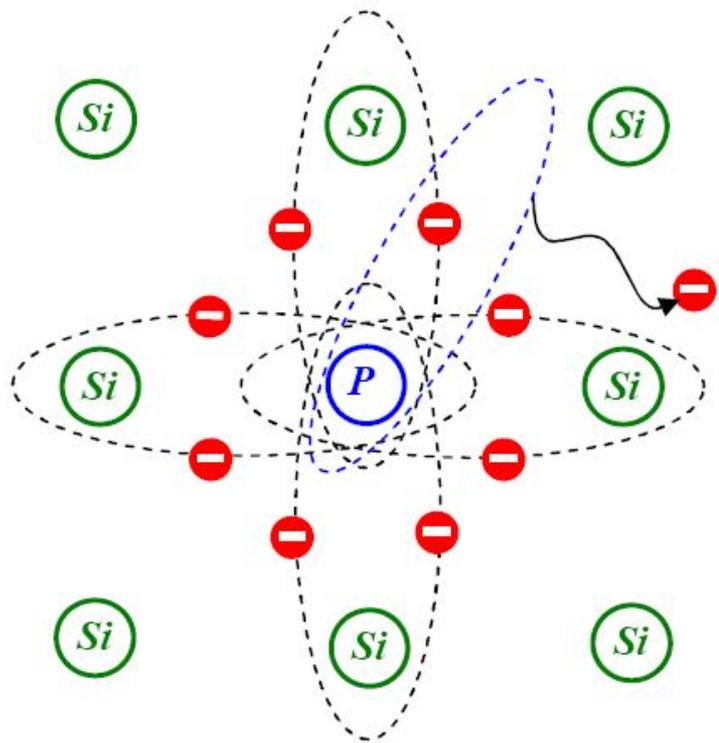


- В качестве примесей применяются обычно элементы либо из V (сурьма Sb, фосфор P), либо из III (галлий Ga, индий In) группы Периодической системы.

## ПРИМЕСНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ

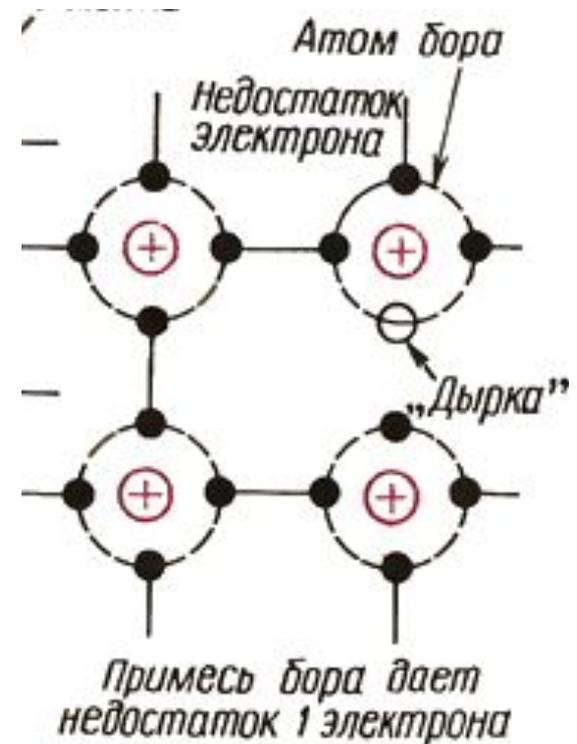
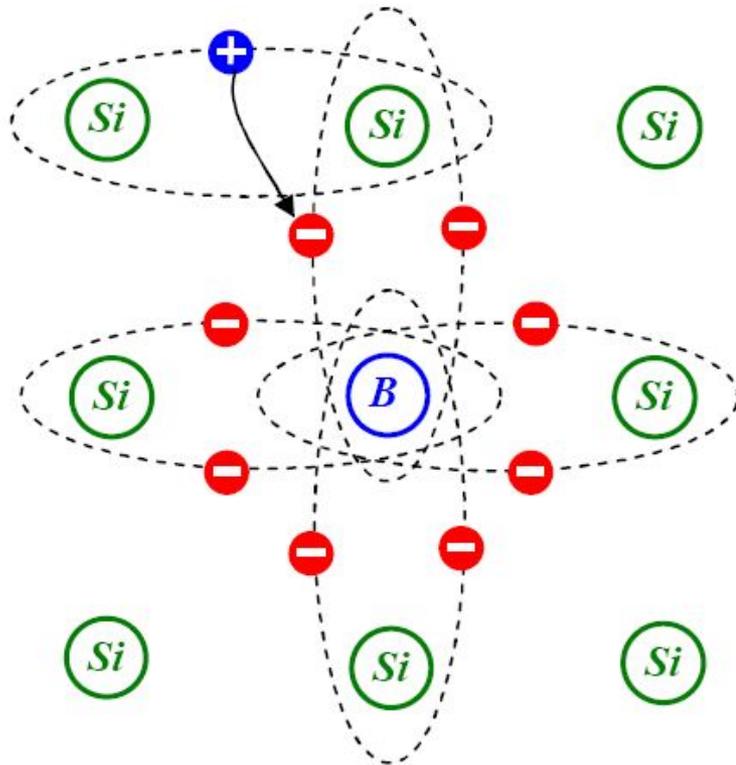


- При наличии лишних электронов примеси полупроводник называется полупроводником с **электронной** электрической **проводимостью**, или полупроводником n-типа, а соответствующая примесь — донорной.



Примесь мышьяка  
дает 1 дополнитель-  
ный электрон

- Если в примеси недостаток электронов в кристалле образуется дырка. Такой полупроводник называется полупроводником с **дырочной** электрической **проводимостью**, или полупроводником р-типа, а соответствующая примесь — акцепторной.



# Электрический ток в полупроводниках

- Если с помощью внешнего источника электрической энергии создать в одном полупроводниковом стержне электрическое поле напряженностью  $\varepsilon$ , то возникнет упорядоченное движение (дрейф) электронов и дырок в противоположных направлениях, т. е. электрический ток, называемый **током проводимости**:

$$I = I_n + I_p$$

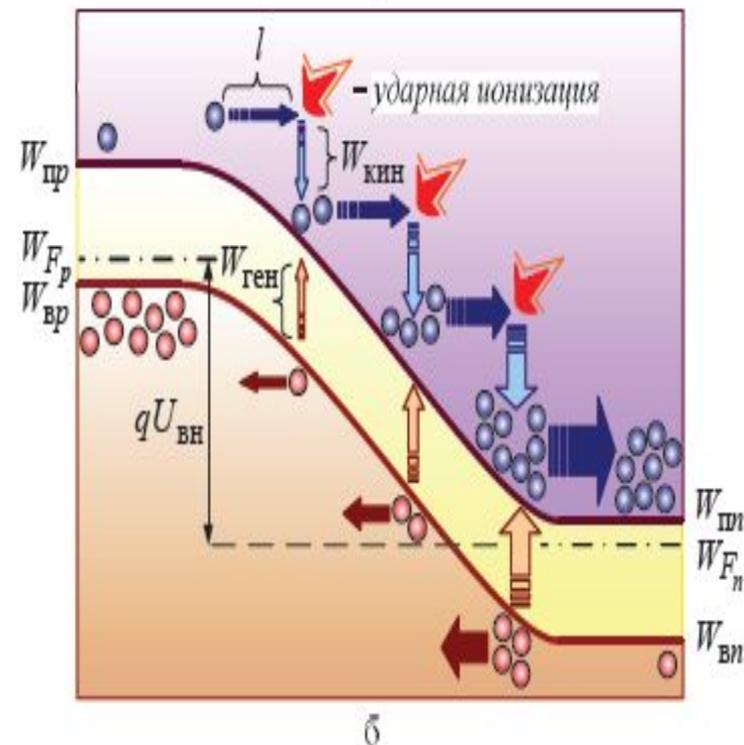
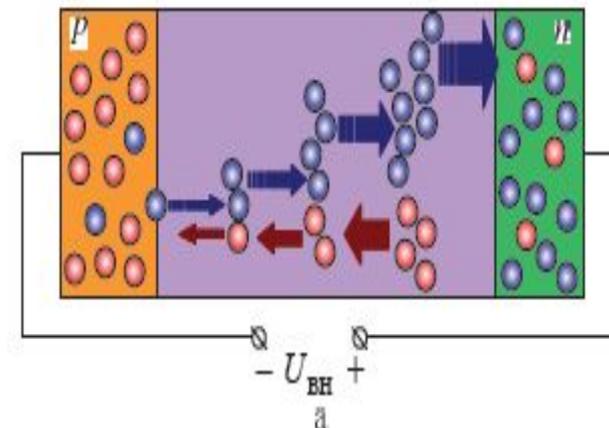
- $I_n$  и  $I_p$  — электронная и дырочная составляющие тока.

- За время свободного пробега среднего расстояния  $l_{\text{ср}}$  между атомами полупроводника подвижные носители зарядов приобретают кинетическую энергию

$$W = e l_{\text{ср}} \mathcal{E}.$$

- Этой энергии при напряженности электрического поля  $\mathcal{E} > 6 \text{ МВ/м}$  достаточно для ударного возбуждения атомов полупроводника, т.е. разрыва в них валентных связей и рождения пары «электрон — дырка».

- ▣ **Лавинный пробой** - резкое увеличение числа подвижных носителей заряда и удельной проводимости полупроводника. Лавинный пробой обратим. Свойства полупроводника восстанавливаются при уменьшении напряженности электрического поля.



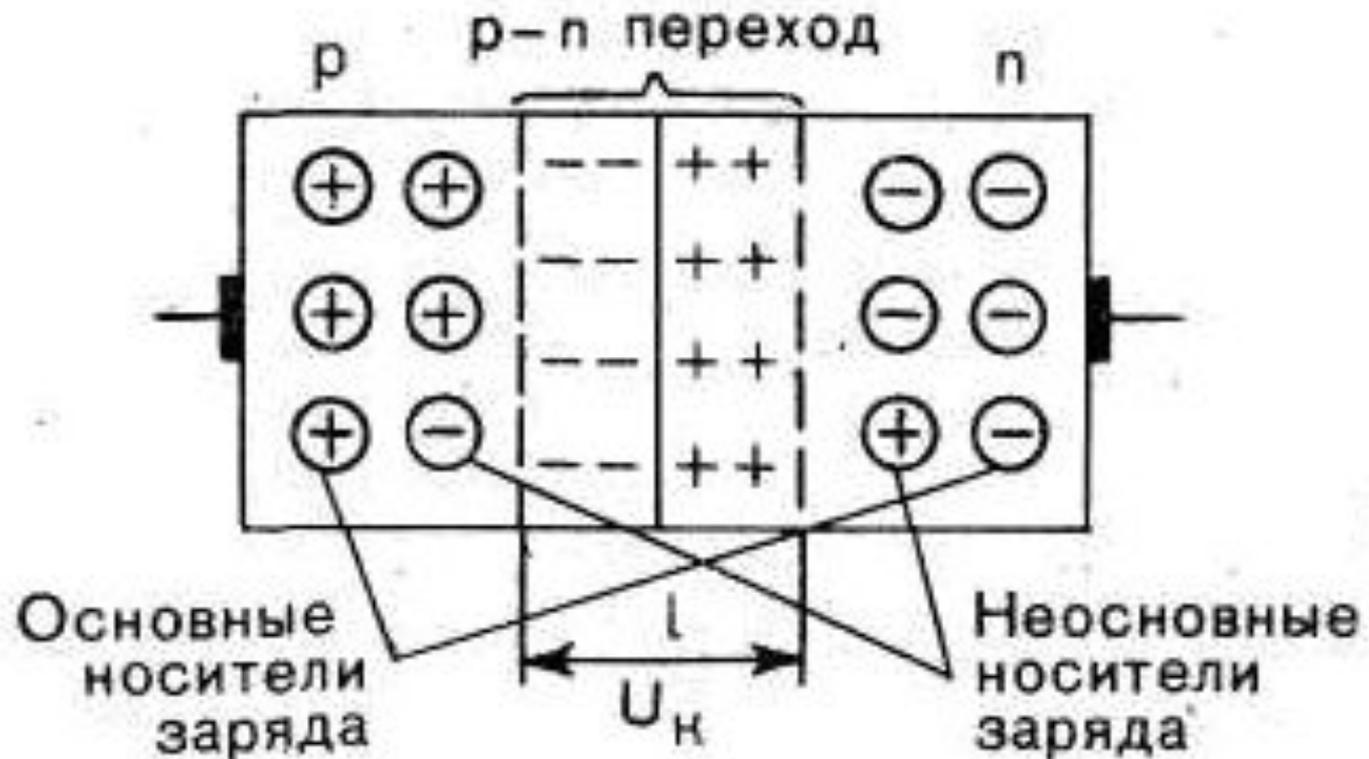
**Рис. 1.20.** Схема, иллюстрирующая лавинный пробой в  $p$ - $n$ -переходе: а – распределение токов; б – зонная диаграмма, иллюстрирующая лавинное умножение при обратном смещении перехода

- ▣ **Тепловой пробой** - наступает за лавинным пробоем при дальнейшем увеличении напряженности электрического поля и вызывает разрушение полупроводника.



# Электронно-дырочный (p-n) переход

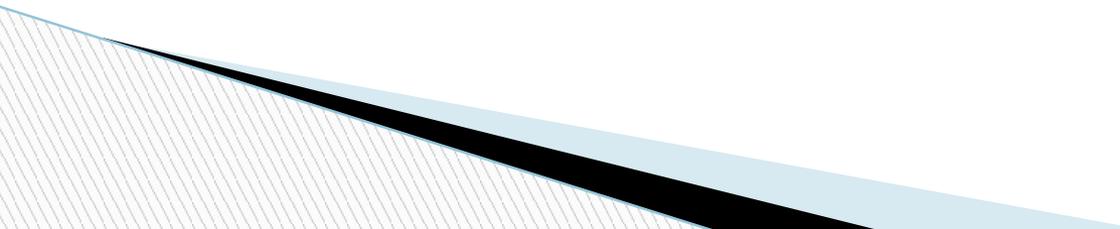
- тонкий приконтактный слой между двумя частями полупроводникового кристалла, одна из которых обладает электронной (n-типа), а другая - дырочной (p-типа) электропроводностью.



При слиянии p- и n- части происходит диффузия основных носителей - дырок - из p-области в n-область и электронов - из n-области в p-область.

Уход основных носителей заряда из слоев вблизи границы в соседнюю область оставляет в этих слоях неподвижный объемный заряд ионизированных атомов примеси.

В приконтактных слоях р- и n-областей возникает пространственный заряд. Его называют ***запирающим слоем (ЗС)*** .



- В результате образования по обе стороны границы между **p**- и **n**- областями зарядов противоположных знаков в p-n переходе создается внутреннее электрическое поле, препятствующее дальнейшей диффузии зарядов. На границе возникает разность потенциалов, которую называют ***потенциальным барьером***.

# Прямое включение электронно-дырочного перехода

- При прямом включении дырочная часть (***p-область***) полупроводника присоединяется к **положительному** зажиму внешнего источника, а электронная часть (***n-область***) - к **отрицательному**.

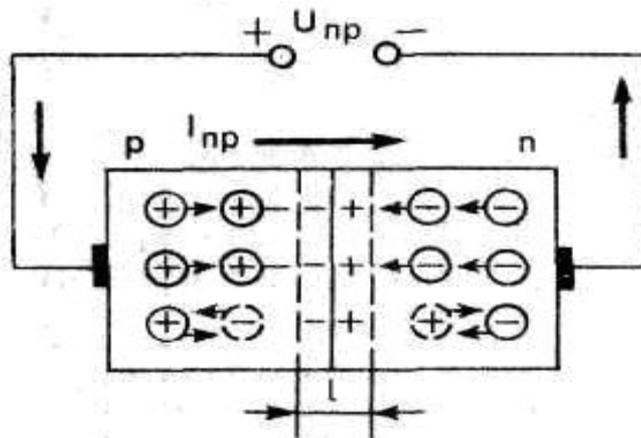


Рис. 2 Электронно-дырочный переход при прямом напряжении

- Внешнее электрическое поле направлено навстречу внутреннему и частично или полностью ослабляет его, снижает высоту потенциального барьера, уменьшает толщину перехода. Основные носители заряда перемещаются к границе перехода и переходят через границу в противоположную область, создавая диффузионный ***прямой ток.***

# Обратное включение электронно-дырочного перехода

Обратное внешнее напряжение (*p-область* присоединяется к *отрицательному*, а *n-область* - к *положительному* выводу источника) создает электрическое поле, совпадающее с внутренним полем *p-n* перехода; потенциальный барьер возрастает, прямой ток практически обращается в нуль.

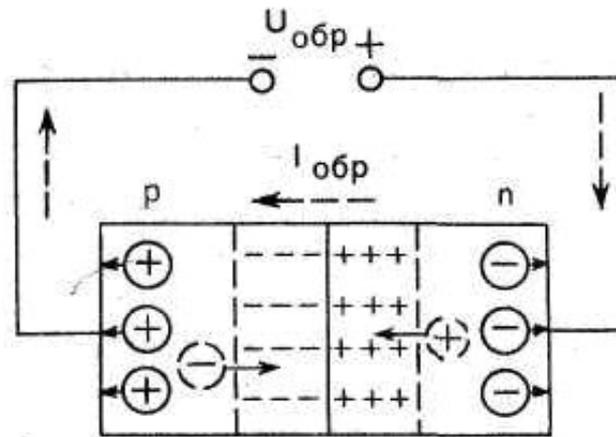


Рис. 3 Электронно-дырочный переход при обратном напряжении

Поскольку поблизости от перехода количество основных носителей уменьшается, его толщина и электрическое сопротивление возрастают.

***Обратный ток*** – небольшой ток, который протекает через р-п переход при его обратном включении, обусловленный неосновными носителями зарядов.