

# *Основы электроники*

## Раздел 1. Основные понятия

# Электроника

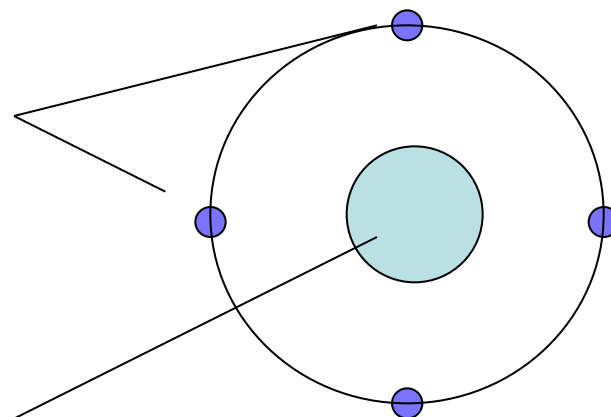
*Электроника – область науки и техники, изучающая физические явления в полупроводниковых приборах, электрические характеристики этих приборов, а также свойства устройств и систем с их использованием*

# 1.1. Атомное строение полупроводников

Полупроводники – элементы IV группы таблицы Менделеева (кремний, германий, селен) – имеют 4 валентных электрона на внешней орбите. 4 валентных электрона могут образовать 4 ковалентных пары с атомами соседних атомов

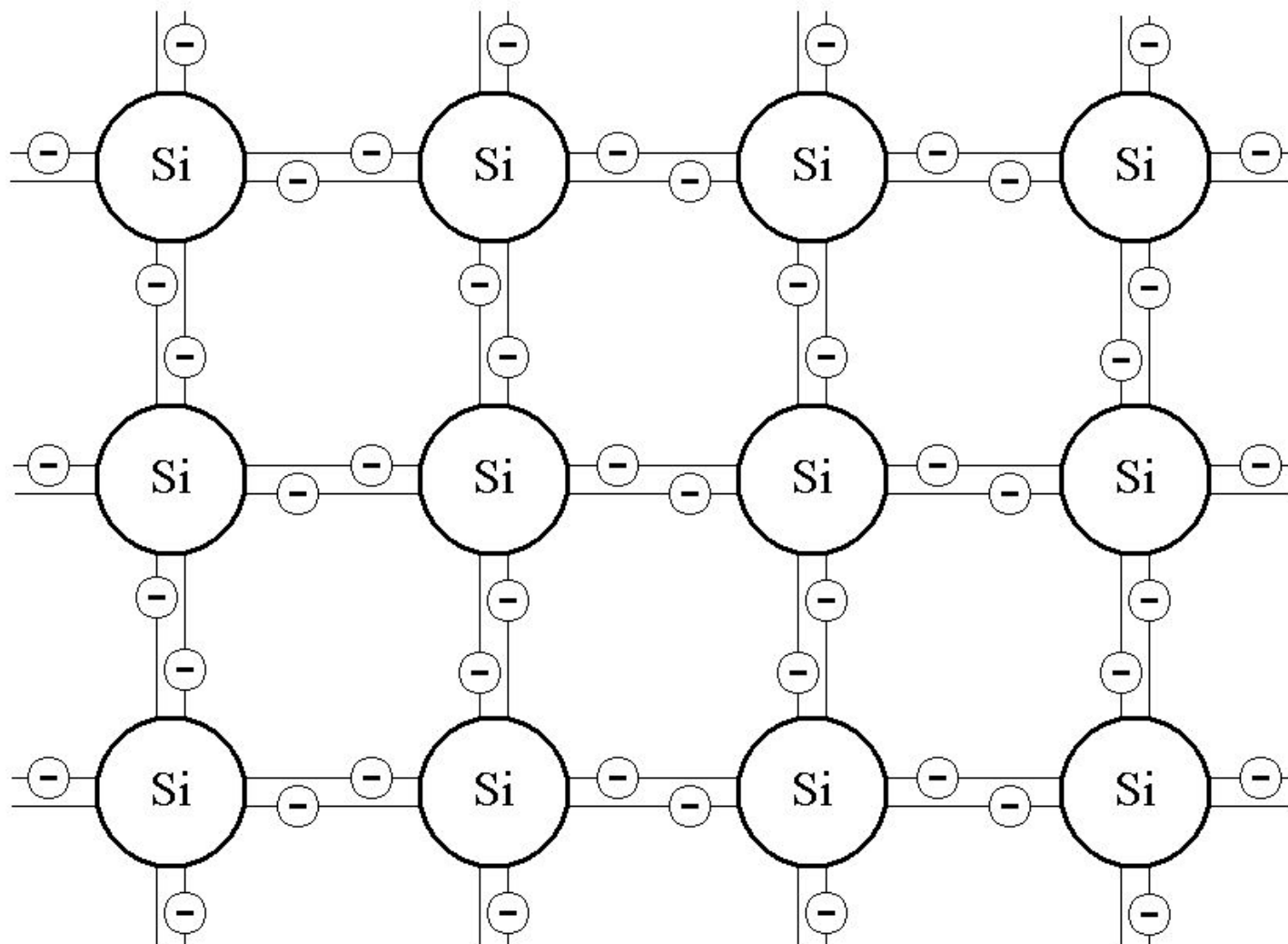
Валентные  
электроны

Ядро атома



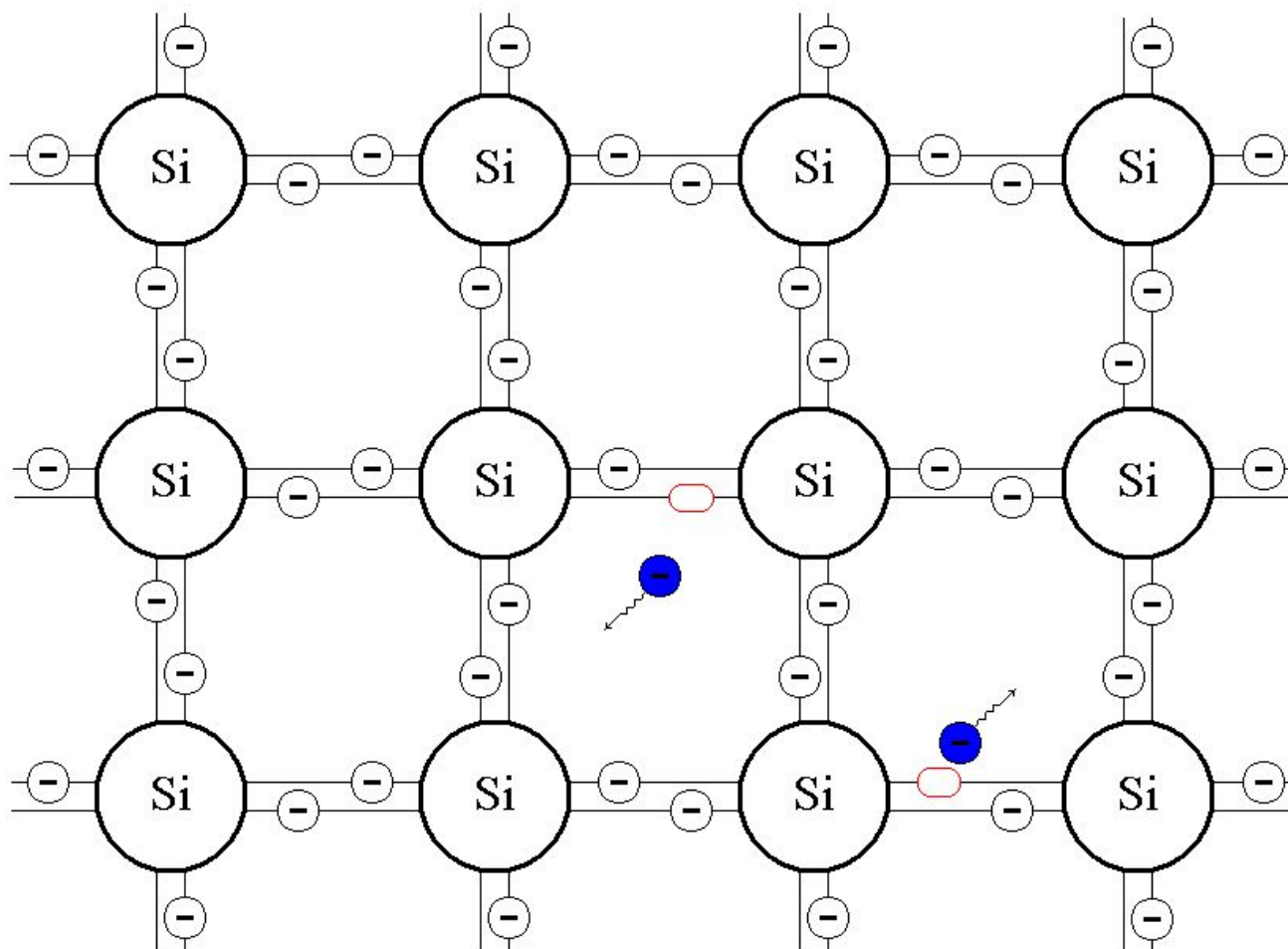
## 1.1. Атомное строение полупроводников

### Решетка кристалла кремния



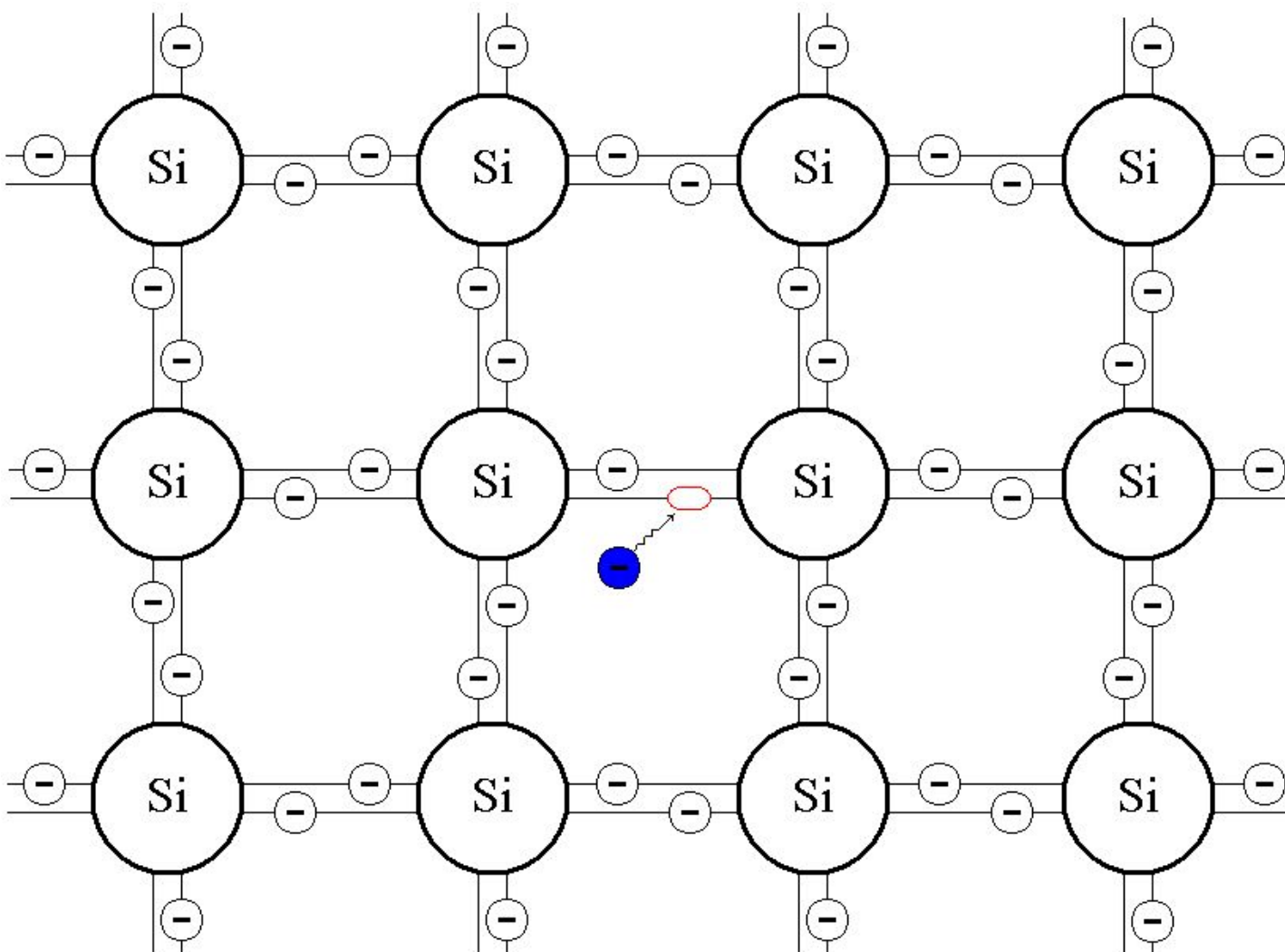
## 1.1. Атомное строение полупроводников

Если сообщить веществу энергию, слабо связанные с ядром электроны могут покинуть атом. Атом станет положительно заряжен и сможет принять электрон извне. «Вакантное» место для электрона называют **ДЫРКОЙ**



## 1.1. Атомное строение полупроводников

# Рекомбинация носителей

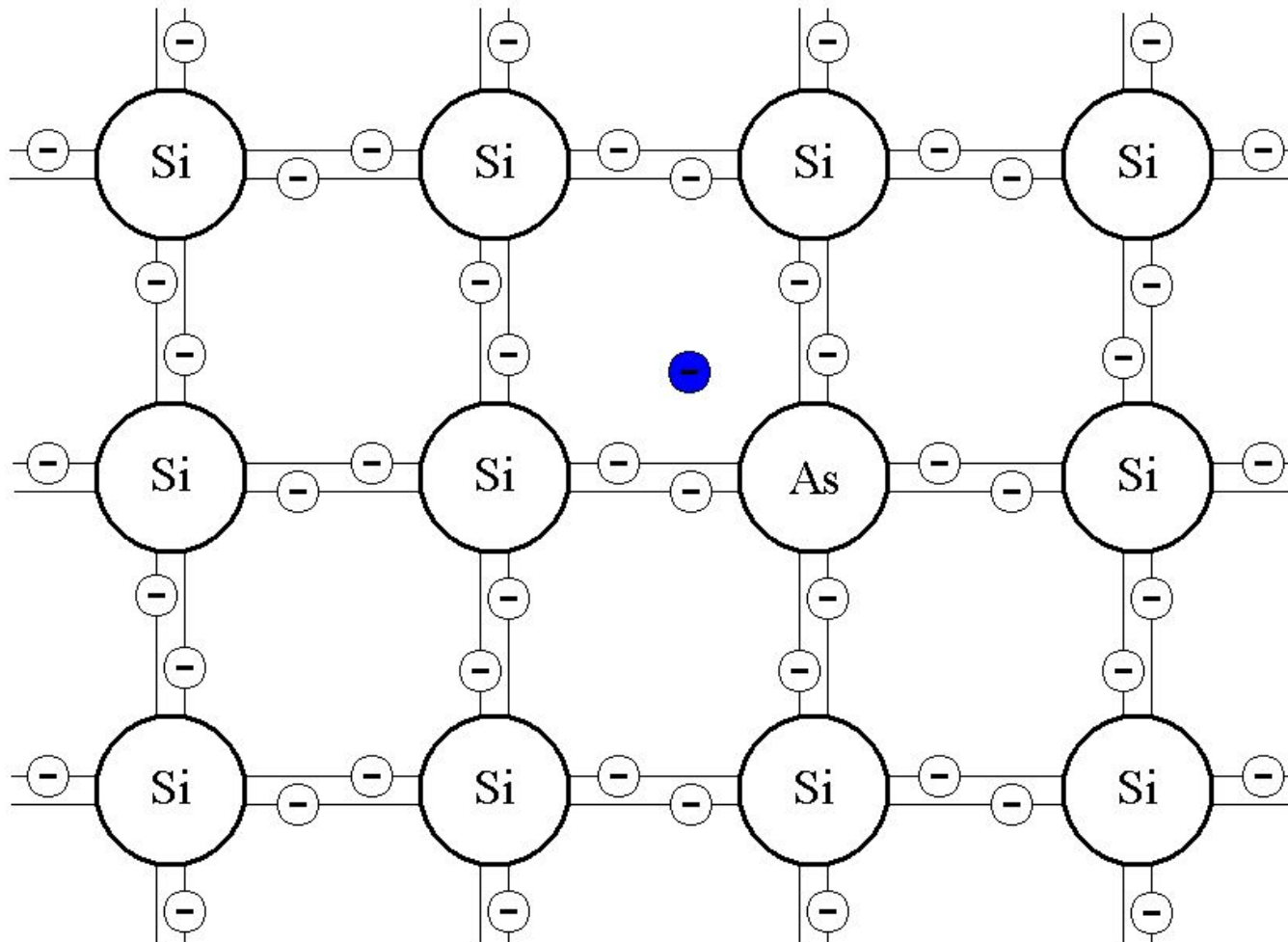


## 1.1. Атомное строение полупроводников

- В равновесном состоянии электроны хаотично перемещаются, постоянно образуя дырки и рекомбинируя.
- При появлении внешнего поля электроны начинают двигаться в одном направлении. При этом дырки «перемещаются» в противоположном.
- Такая проводимость называется собственной. Она сильно зависит от температуры. Она очень мала (чуть больше, чем у диэлектрика)
- Для увеличения проводимости вводят примесь

## 1.1. Атомное строение полупроводников

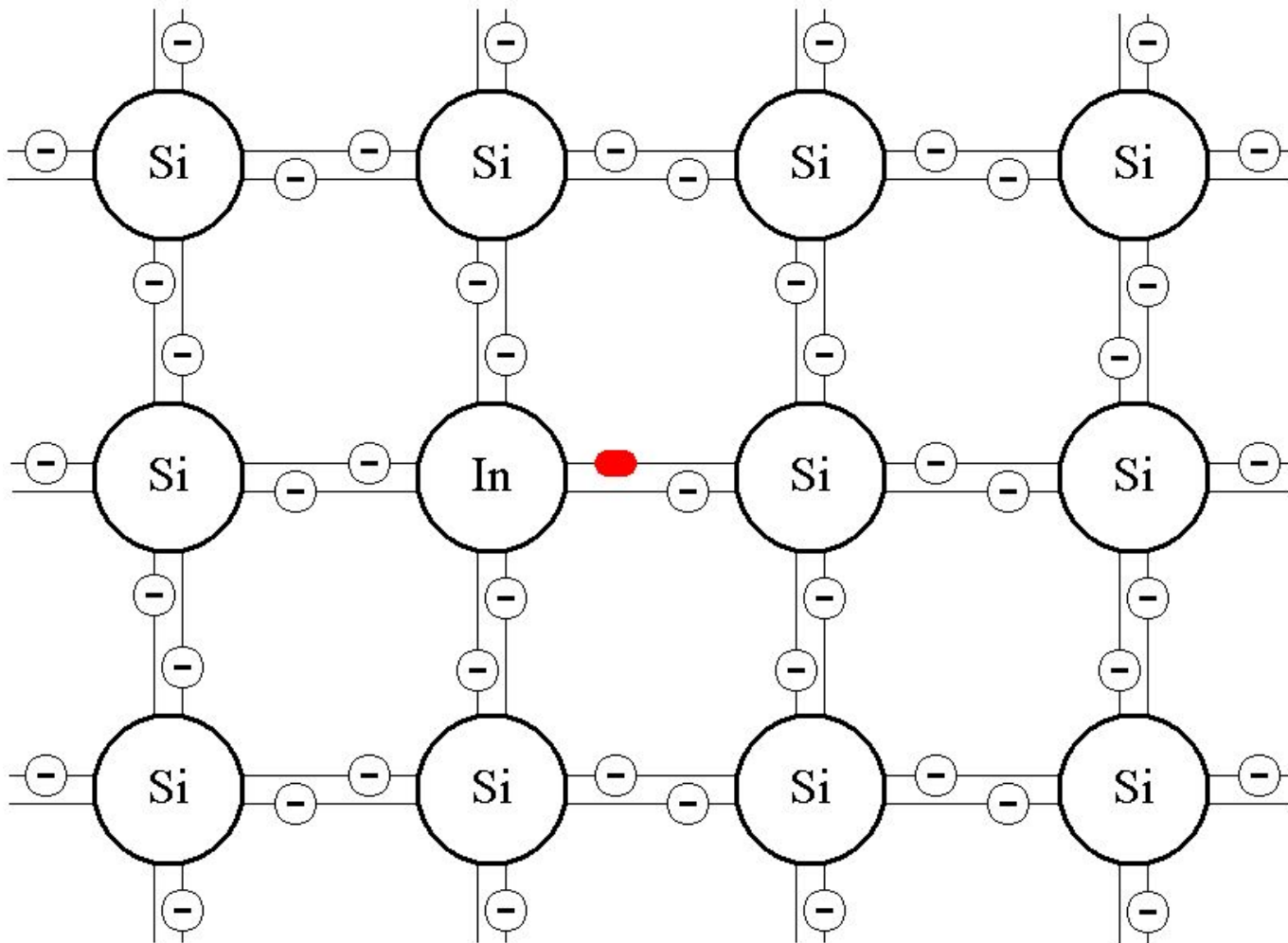
- Донорная примесь (n-типа). Примесь – элемент с 5 валентными электронами (As)





## 1.1. Атомное строение полупроводников

- Акцепторная примесь (р-типа). Примесь – элемент с 3 валентными электронами (In)

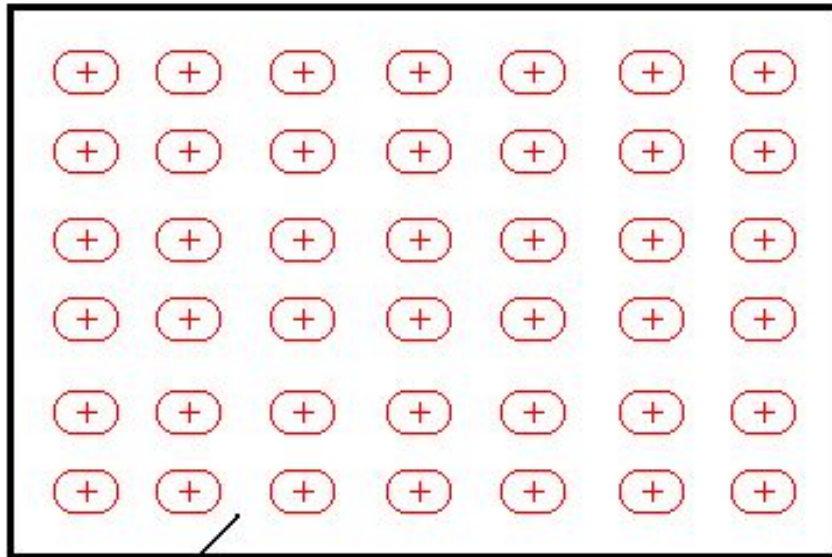


## 1.1. Атомное строение полупроводников

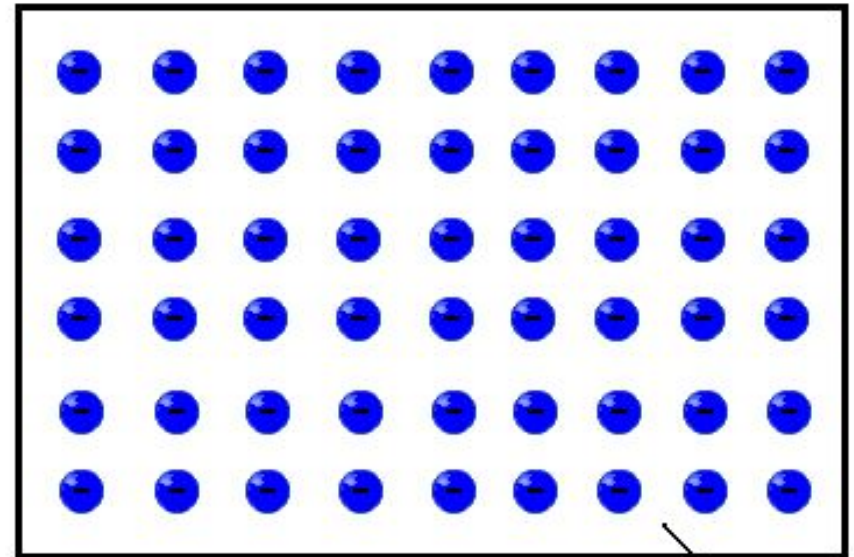
- При добавлении любой примеси полупроводник остается электрически нейтральным.
- При добавлении донорной примеси возникают свободные электроны, легко перемещаемые при возникновении электрического поля. Основной носитель заряда – электрон.
- При добавлении акцепторной примеси возникает избыток мест, чтобы принять внешние электроны. Основной носитель заряда - дырка

## 1.1. Атомное строение полупроводников

### Полупроводники с разным типом проводимости



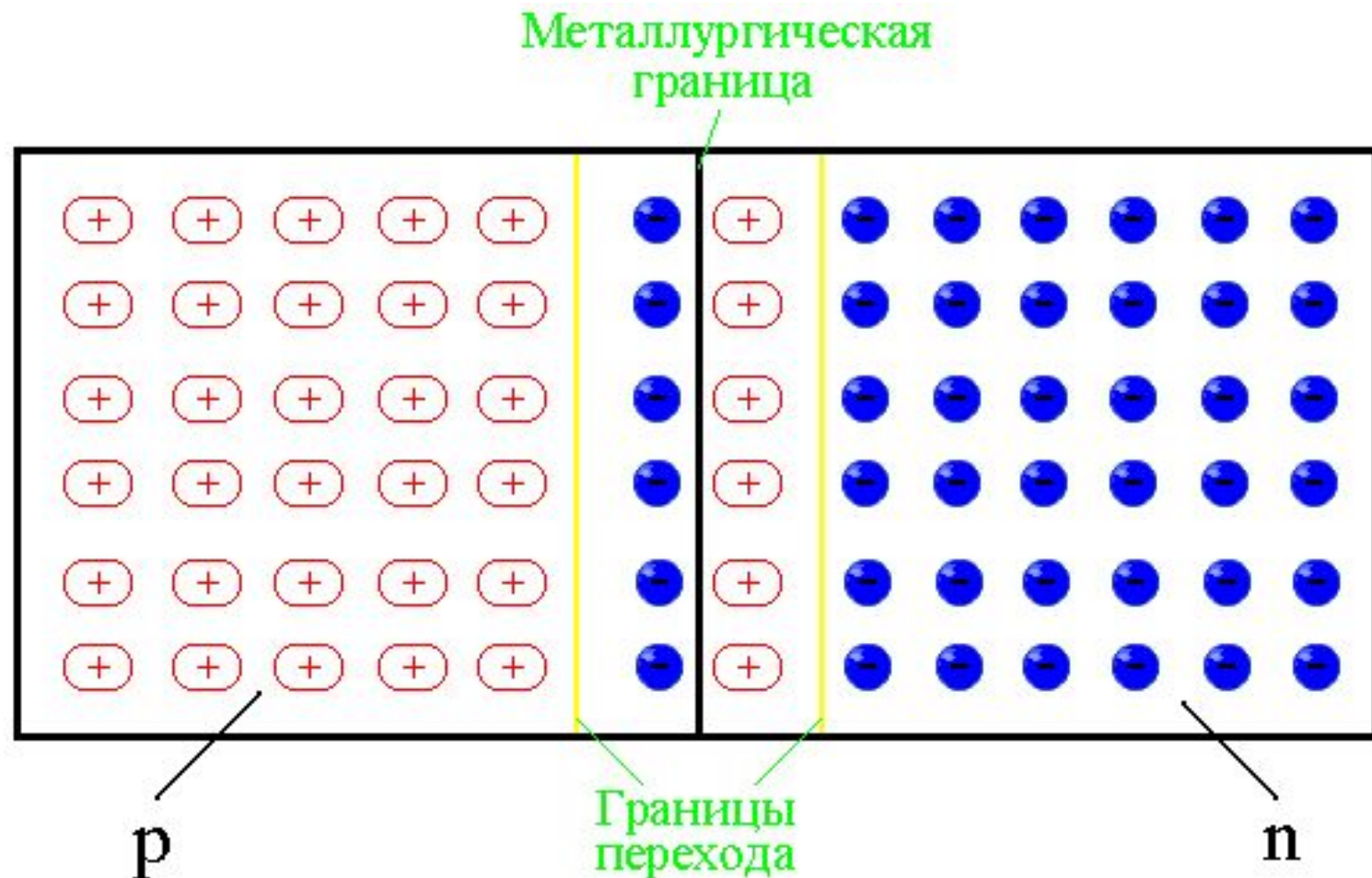
p



n

# 1.2. p-n переход

- p-n переход – область на границе соприкосновения полупроводников p и n типа*



## 1.2. p-n переход

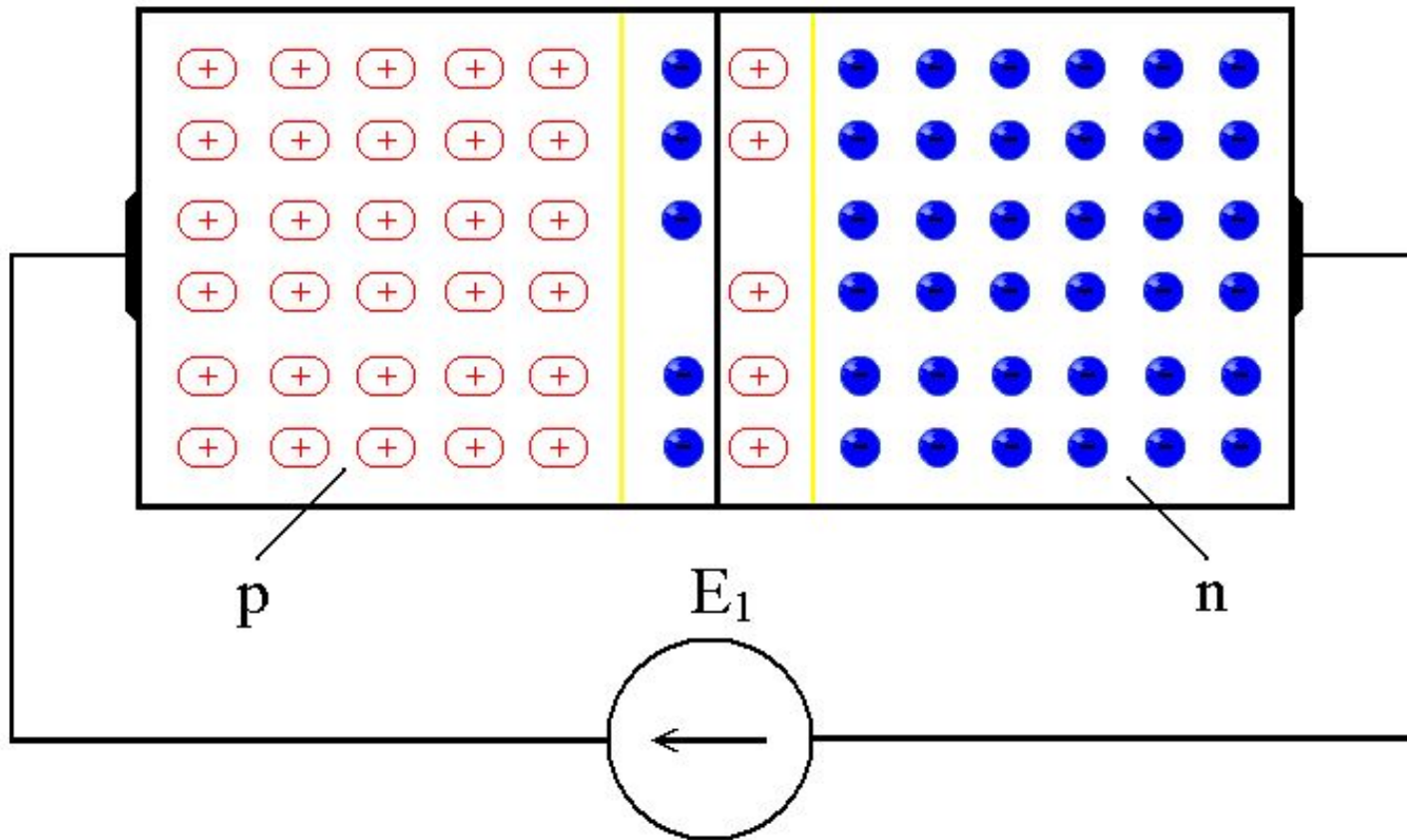
- Электроны из полупроводника n-типа попадают в полупроводник p-типа и рекомбинируют там (диффузионный ток  $I_{\text{дифф}}$  )
- При рекомбинации атом в p-полупроводнике получает отрицательный заряд (образуется отрицательный ион), а атом в n-полупроводнике – положительный.
- Ионы формируют электрическое поле, препятствующее дальнейшему перемещению электронов в p-полупроводник (это эквивалентно появлению встречного тока, называемого током дрейфа  $I_{\text{др}}$  ). В равновесии  $I_{\text{дифф}} = I_{\text{др}}$ .

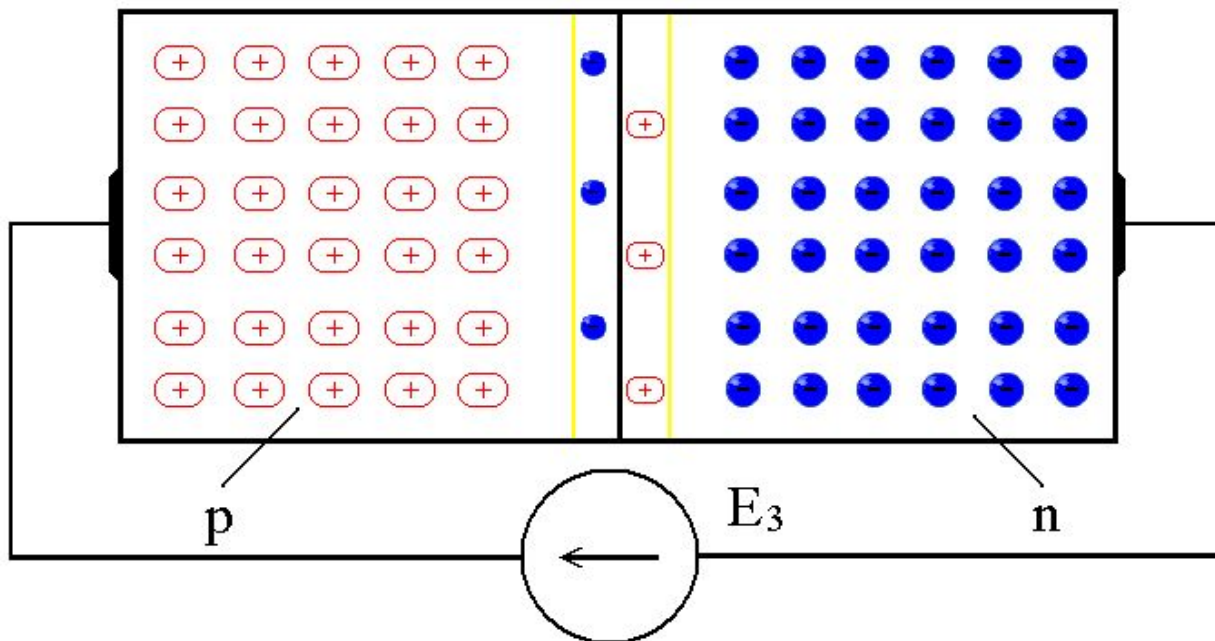
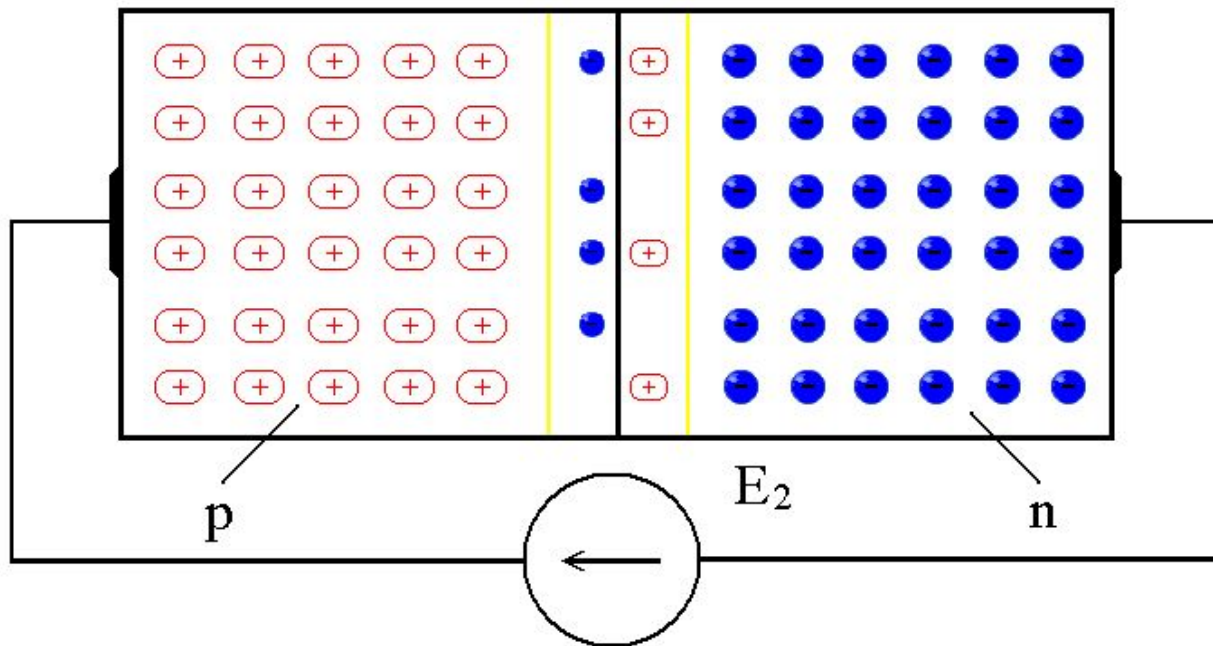
## 1.2. p-n переход

- Возникает запирающий слой, лишенный носителей заряда.
- Электрон не может пройти через запирающий слой, дырка – может (перемещение неосновных зарядов вызывает ток дрейфа)
- Ток дрейфа не зависит от внешнего поля, т.к. для дырок потенциальный барьер ничего не запирает. Следовательно, мы не можем управлять током дрейфа.
- Мы можем управлять только диффузионным током, изменяя электрическое поле в зоне перехода (уменьшая или увеличивая потенциальный барьер)

## 1.2. p-n переход

- Прямое включение: внешнее поле уменьшает потенциальный барьер





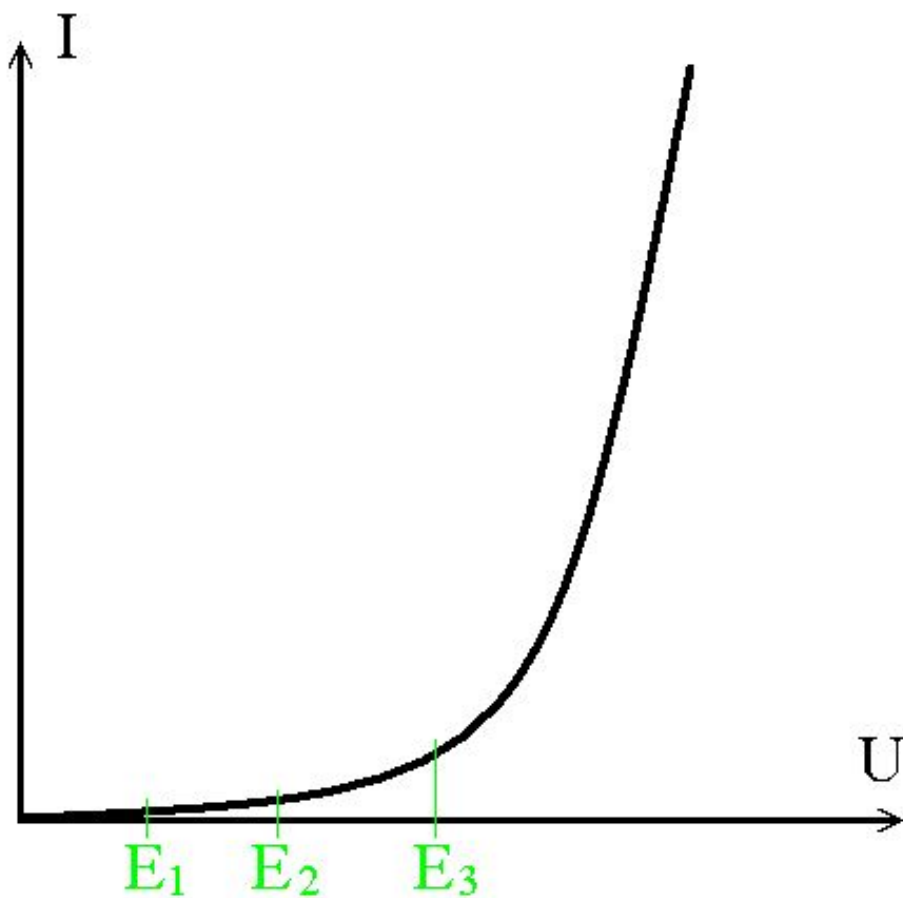


## 1.2. p-n переход

- Чем больше приложенная ЭДС, тем меньше ионов в зоне перехода, тем меньше потенциальный барьер и выше диффузионный ток
- Когда приложенное поле превысит величину потенциального барьера, в зоне перехода не останется ионов, и ток может течь через p-n переход

## 1.2. p-n переход

### ВАХ p-n перехода при прямом включении



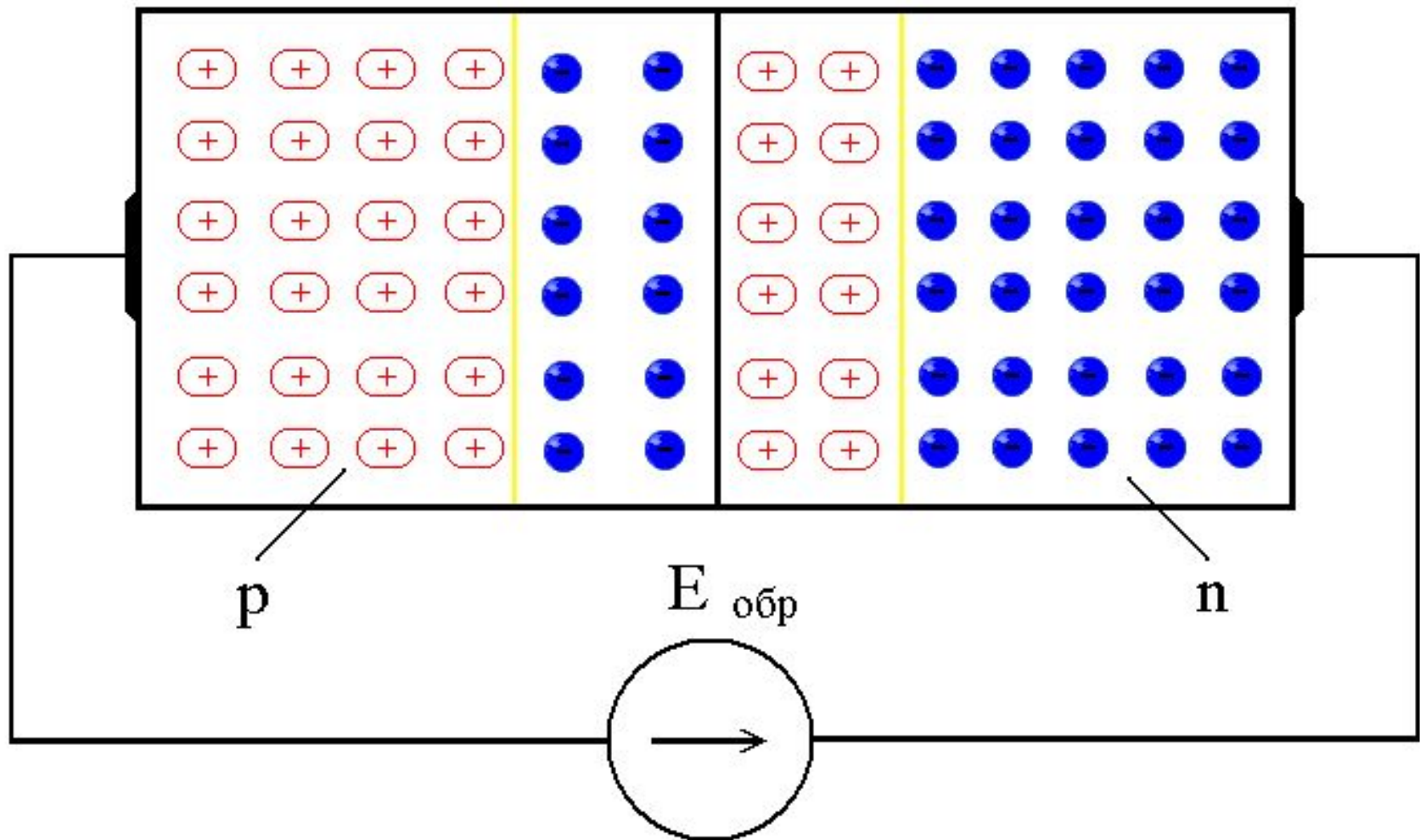
$$I = I_T \left( e^{\frac{U}{\varphi_T}} - 1 \right)$$

$\varphi$  – потенциал запирающего слоя,

$I_m$  численно равен току дрейфа

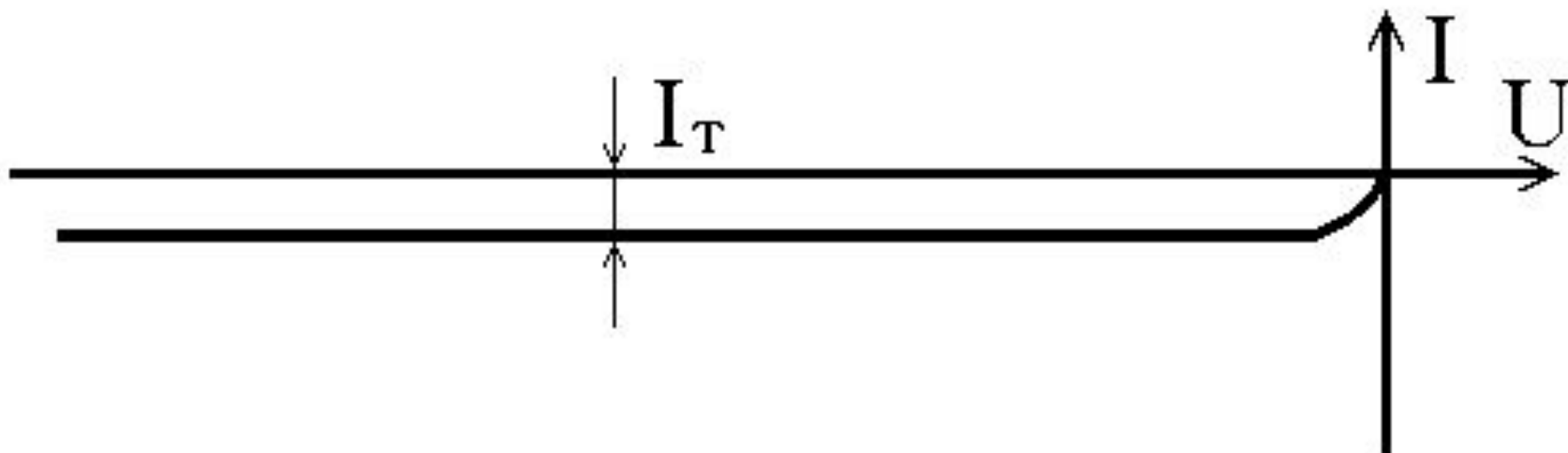
## 1.2. p-n переход

- Обратное включение



## 1.2. p-n переход

### ВАХ p-n перехода при обратном включении



- при обратном включении диффузионный ток снижается до нуля;
- ток дрейфа не изменяется, что обуславливает наличие малого тока при практически любом напряжении

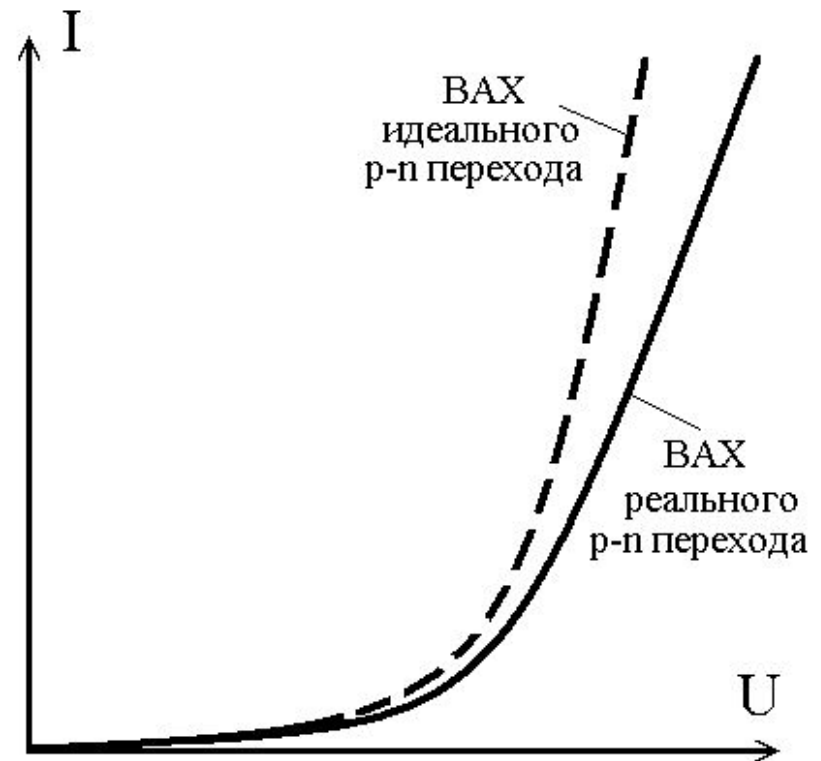
## 1.2. p-n переход

# Отличие идеального и реального p-n переходов

1. У перехода существует омическое сопротивление (сопротивление базы  $r_{\sigma}$ ), есть падение напряжения на нем

$$I = I_T \left( e^{\frac{U - I \cdot r_{\sigma}}{\varphi_T}} - 1 \right)$$

2. Нельзя сделать идеально гладкую границу между полупроводниками



## 1.2. p-n переход

3. Есть ограничения на обратное напряжение –  
возможен электрический пробой

Зона 1 - 2: переход закрыт

Зона 2 - 3: туннельный  
пробой

Зона 3 – 4: лавинный  
пробой

После 4 – тепловой пробой

Туннельный и лавинный  
пробои обратимы.



# 1.3. Полупроводниковый диод

*Диод* – полупроводниковый прибор с одним р-п переходом и двумя выводами.

По назначению диоды разделяют на:

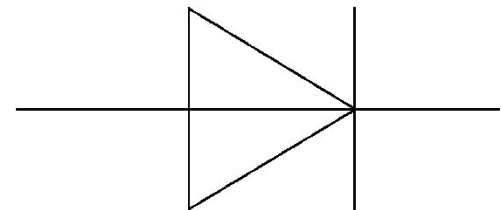
- выпрямительные;
- высокочастотные и импульсные;
- стабилитроны;
- варикапы.

# Выпрямительные диоды

Основные параметры:

- *максимальный прямой ток;*
- *максимальное обратное напряжение (находится в пределах до нескольких сотен вольт);*
- *среднее прямое напряжение при среднем значении прямого тока (находится в пределах 1 – 1,5 В);*
- *средний обратный ток при обратном максимальном напряжении (находится в пределах от единиц до десятков микроампер).*

Графическое обозначение



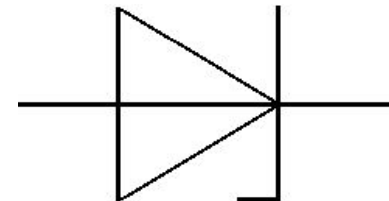
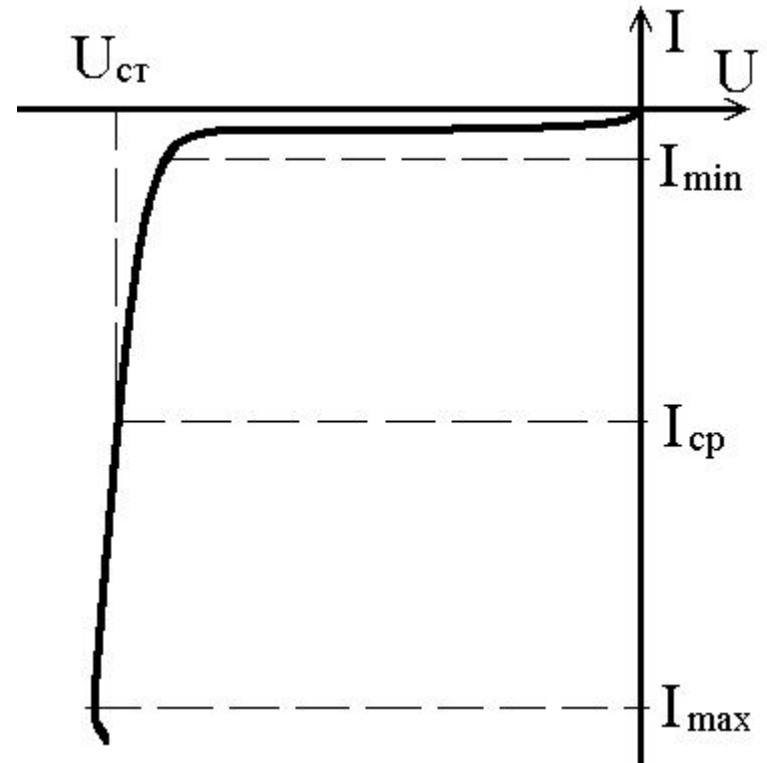


# Стабилитроны

Стабилитрон работает на обратном участке ВАХ  $p-n$  перехода в области обратимого пробоя и используется для стабилизации напряжения.

Основные параметры:

- напряжение на участке стабилизации;
- динамическое сопротивление на участке стабилизации;
- максимальный и минимальный ток стабилизации



# Варикапы

Варикап – диод, используемый в качестве емкостного элемента, управляемого обратным напряжением.

Основные параметры:

- начальная (максимальная) емкость;
- минимальная емкость
- максимальное обратное напряжение

