



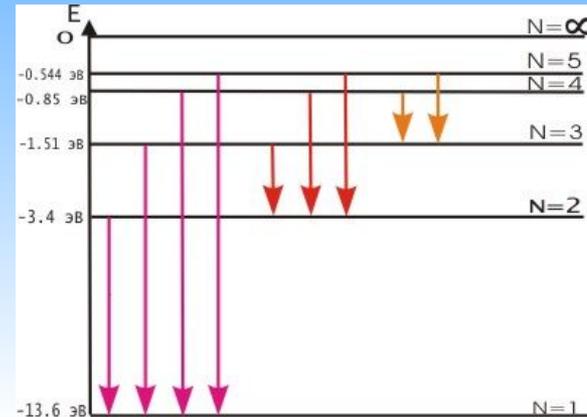
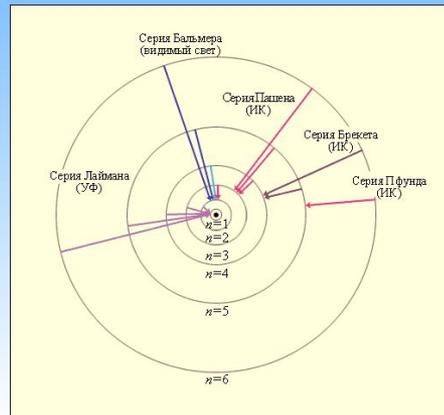
Диоды

Diode

Полупроводники

Твердое тело. Энергетические зоны.

Модель атома



<http://e-science.ru/physics/theory/?t=4>

Уровень



1 атом

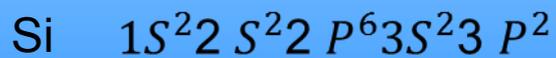
Уровень



2 атома



Твердое тело

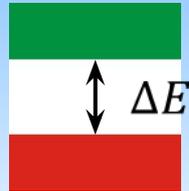


Полупроводники

Твердое тело. Энергетические зоны.

Зона проводимости

Валентная зона



$$\Delta E \gg \kappa T$$

$$\Delta E > 3eV$$

Диэлектрики



$$\Delta E \sim \kappa T$$

$$0,01eV < \Delta E \leq 3eV$$

Полупроводники



$$\Delta E \leq 0$$

Проводники

Для кремния

$$\Delta E \approx 1,21 eV$$

$$\kappa T = 0,026 eV \quad (T = 300 \text{ K})$$

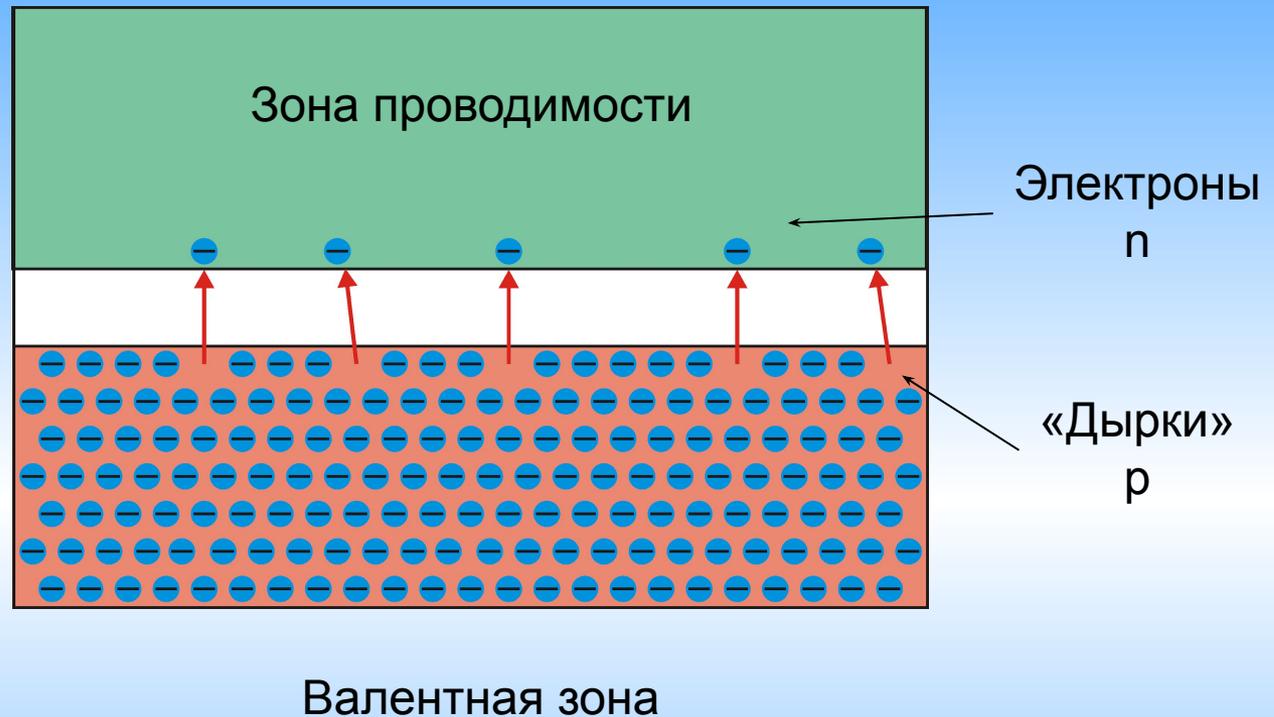
$T \sim 0K$



Валентная зона

Направленное движение зарядов (проводимость) невозможно

$T > 0K$



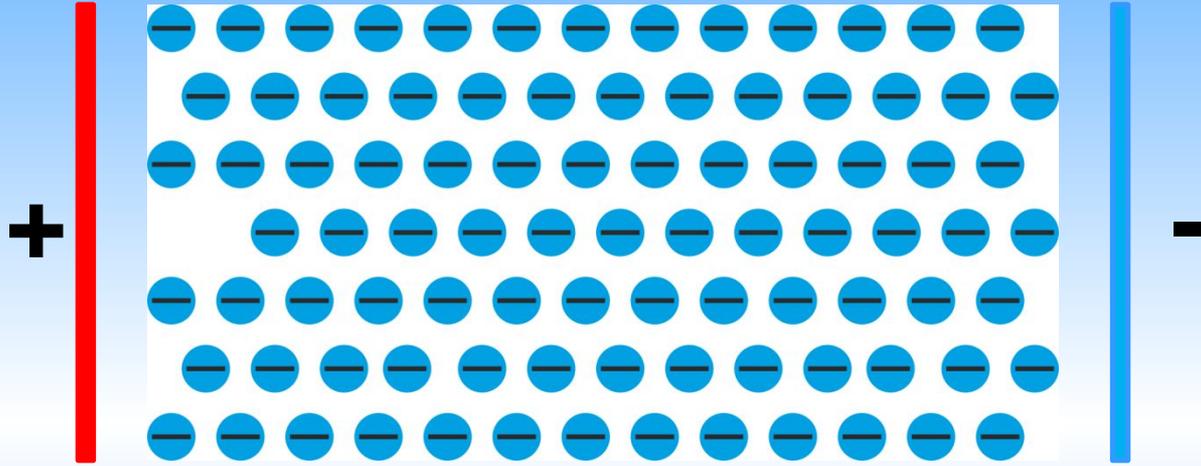
Направленное движение зарядов (проводимость) возможно как в зоне проводимости, так и в валентной зоне

Количество электронов = количеству дырок в чистом полупроводнике



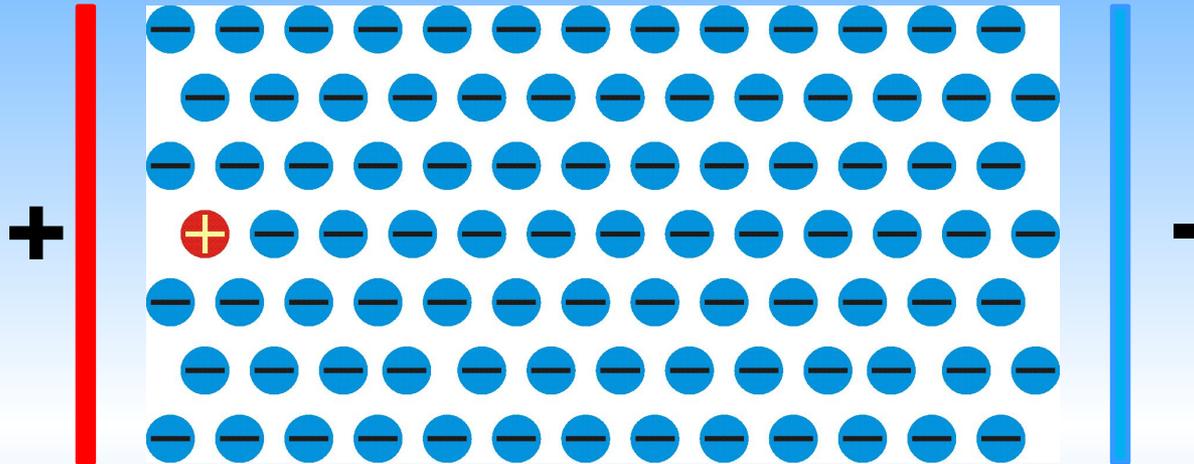
Полупроводники

Дырки



Полупроводники

Дырки



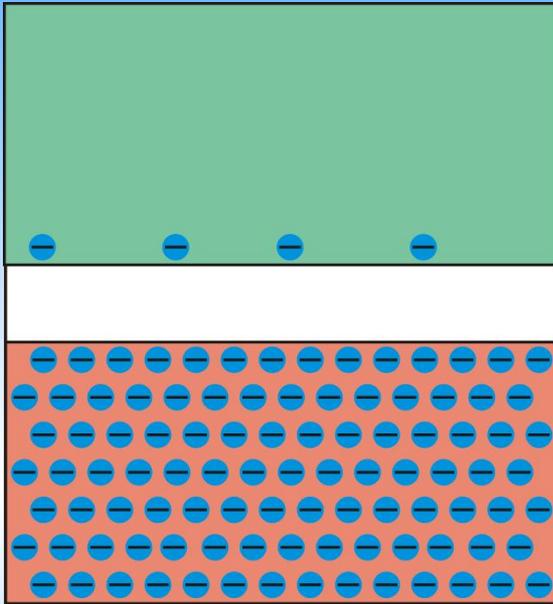
Кремний

	n	p
Подвижность [см ² /(В·с)]	1200 ÷ 1450	~ 500
Длина свободного пробега [см]	~ 0,1	0,02 ÷ 0,06

Полупроводники

Примесная проводимость

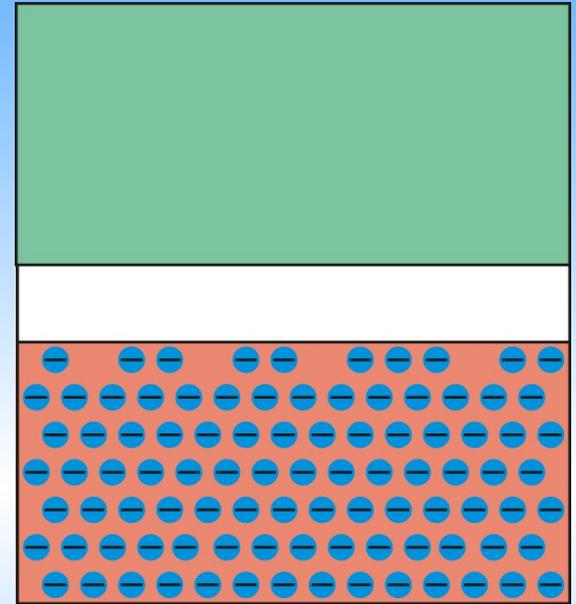
$T \sim 0K$



Донорная примесь

Кремний (4) + немного мышьяка (5)

Полупроводник n - типа



Акцепторная примесь

Кремний (4) + немного индия (3)

Полупроводник p - типа

Проводимость при низких температурах возможна

Электронное облако



Почему электроны бегают по металлу и не убегают в космос?

Электронное облако

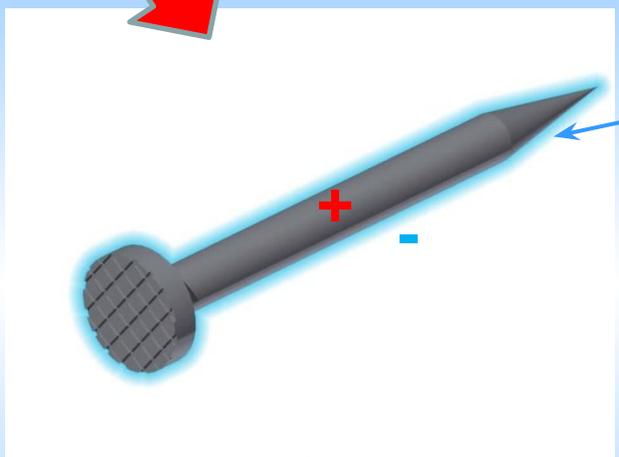


Плотность электронного облака
спадает экспоненциально с ростом
расстояния от поверхности

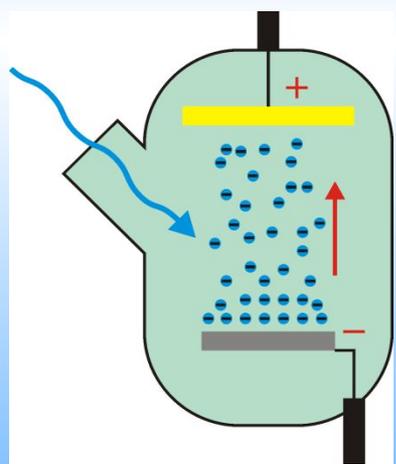
Электронное облако



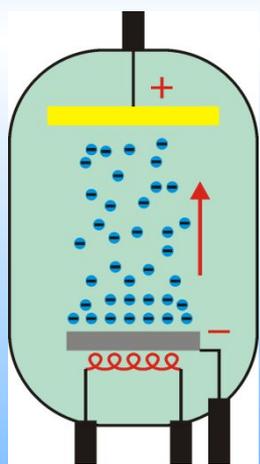
Нагрев от солнца



Динамическое электронное облако

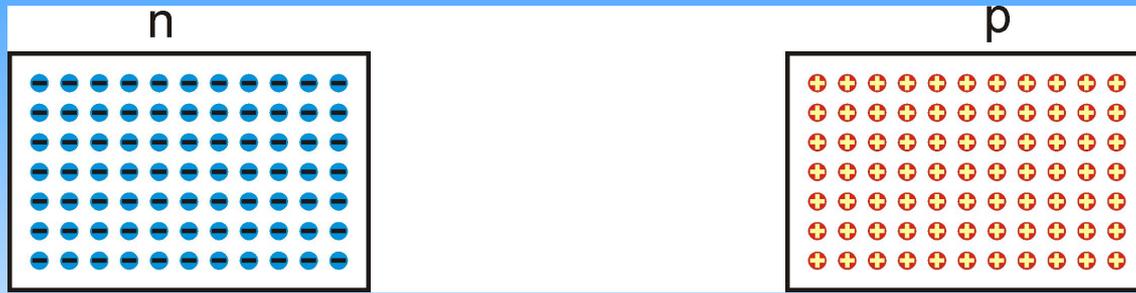


Внешний фотоэффект



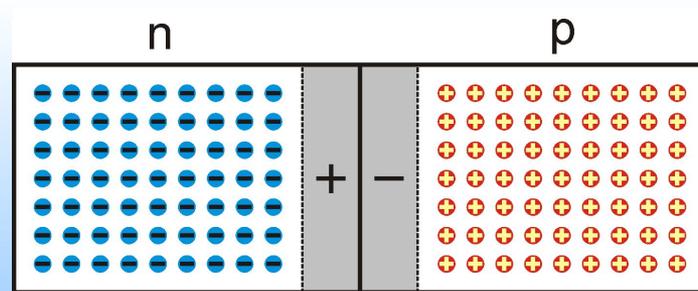
Термоэлектронная эмиссия

p-n переход



↑
Электрически нейтральный кусок
полупроводника

↑
Электрически нейтральный кусок
полупроводника

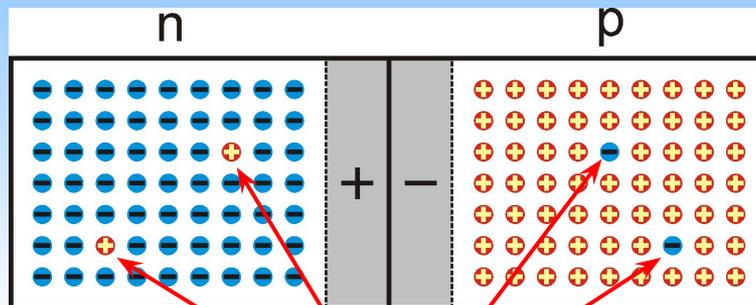


Depletion
zone

p-n переход

Более точно

Основные носители

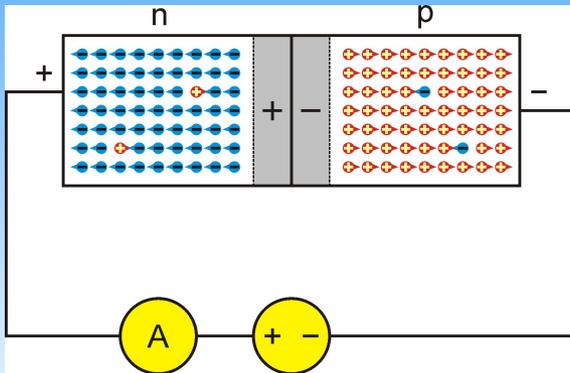


Неосновные носители.
Их мало.
(Собственная проводимость)

Количество неосновных носителей
экспоненциально растет с ростом температуры

Полупроводниковый диод

Обратное смещение



$$I_R = I_0$$

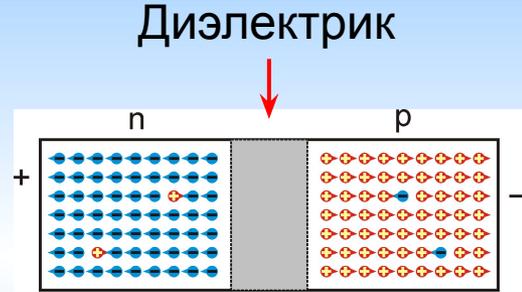
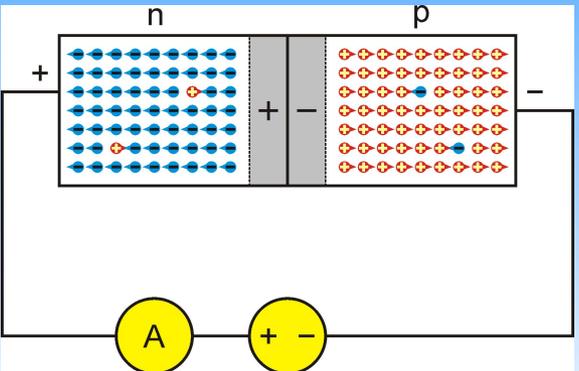
$$I_0 \rightarrow$$

Ток неосновных носителей
(для кремния $\sim 10^{-10}$ А)

$$I_R \cong 0$$

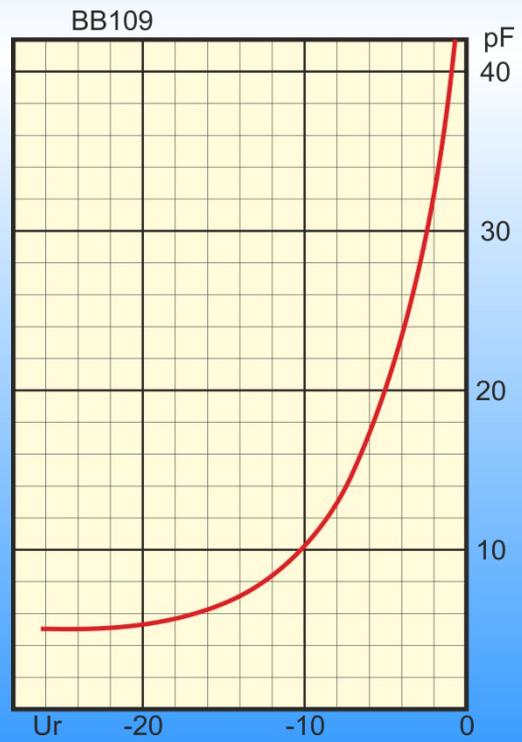
Варикап

Обратное смещение диода
Varicap. Varactor.



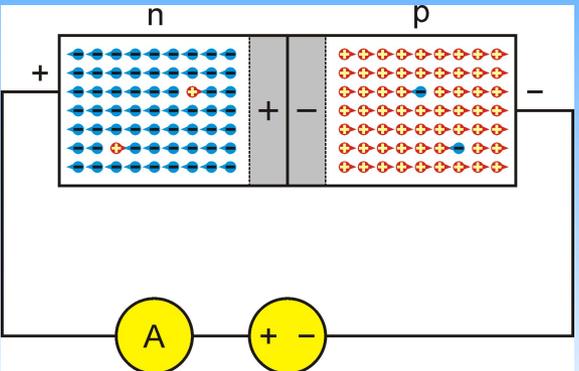
полуПРОВОДНИК

полуПРОВОДНИК

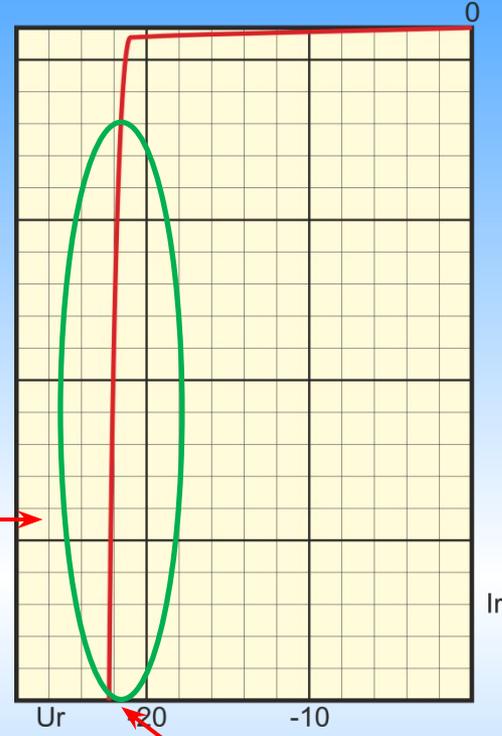


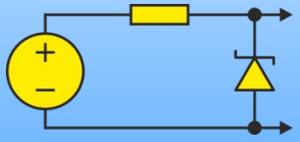
Стабилитрон

Обратное смещение диода



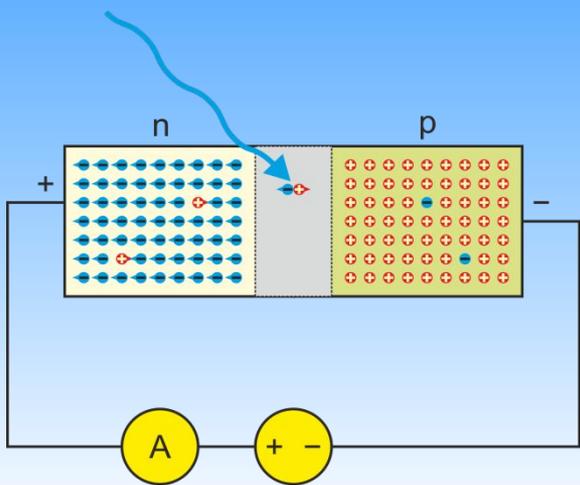
Пробой.
Практически вертикальная линия.



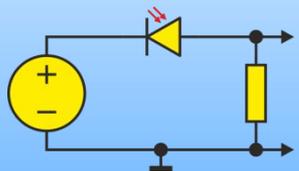
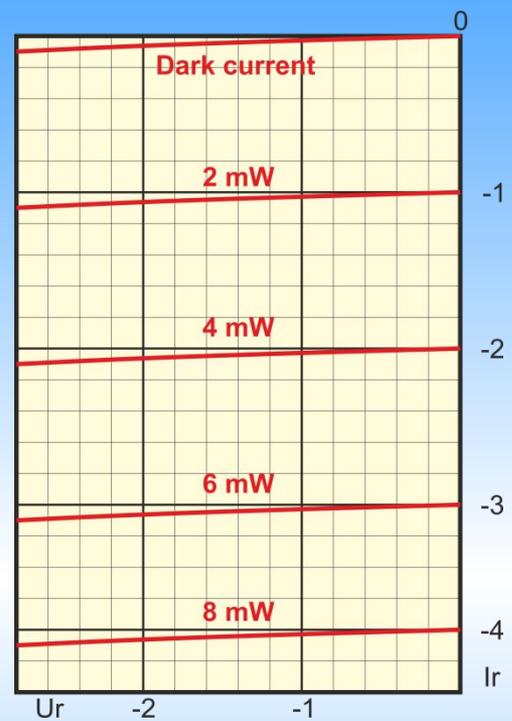
$V=25\div 35V$  $V_s=22V=const$

Фотодиод

Обратное смещение диода



Внутренний фотоэффект

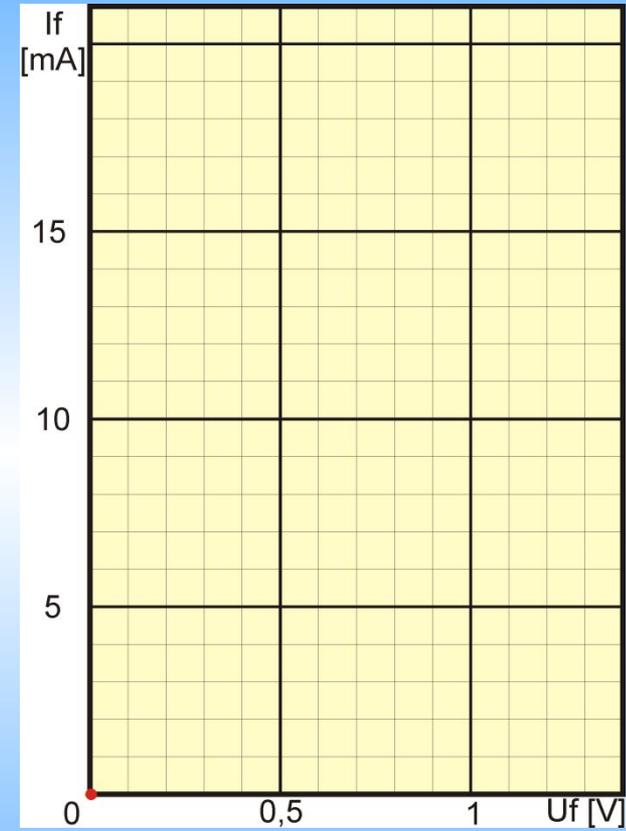
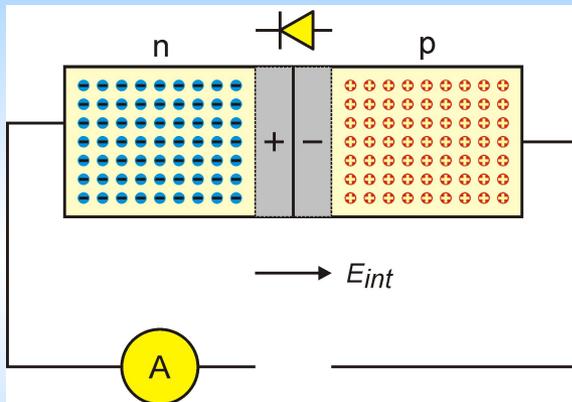


$$V_{out} \sim W_{light}$$



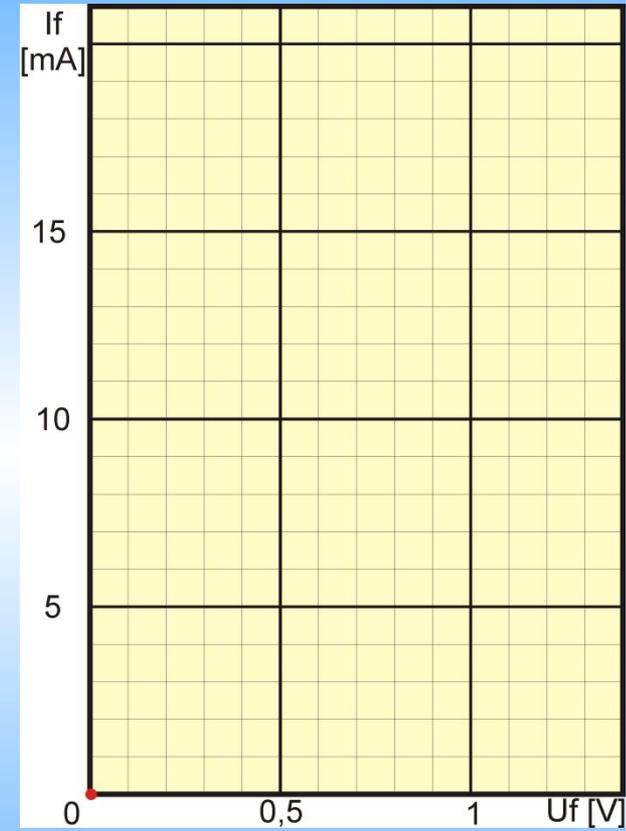
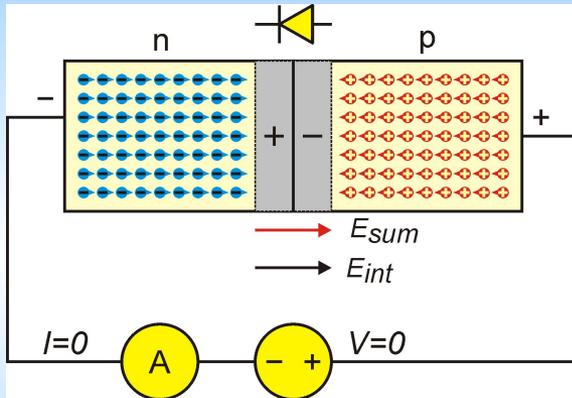
Диод

Прямое смещение диода



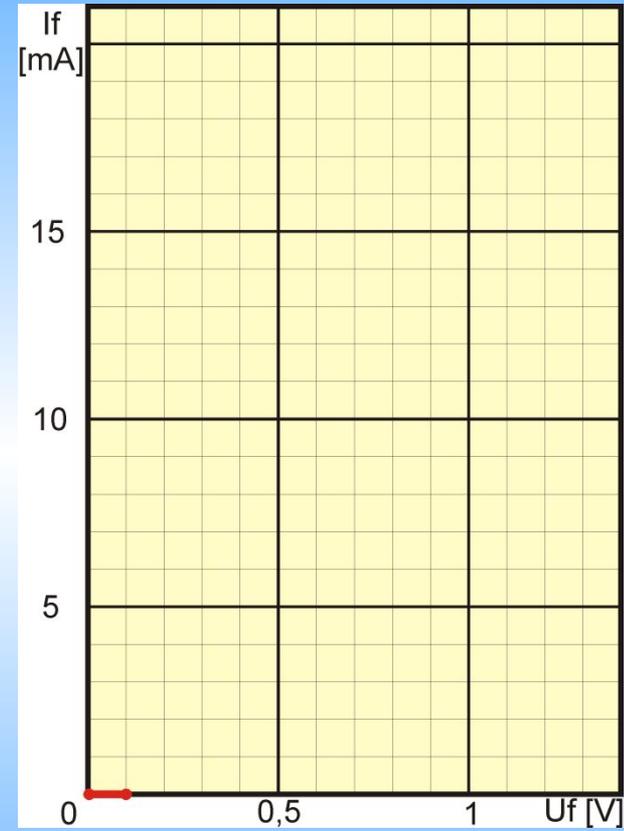
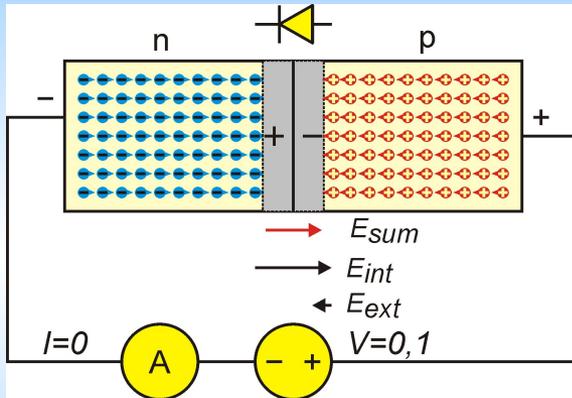
Диод

Прямое смещение диода



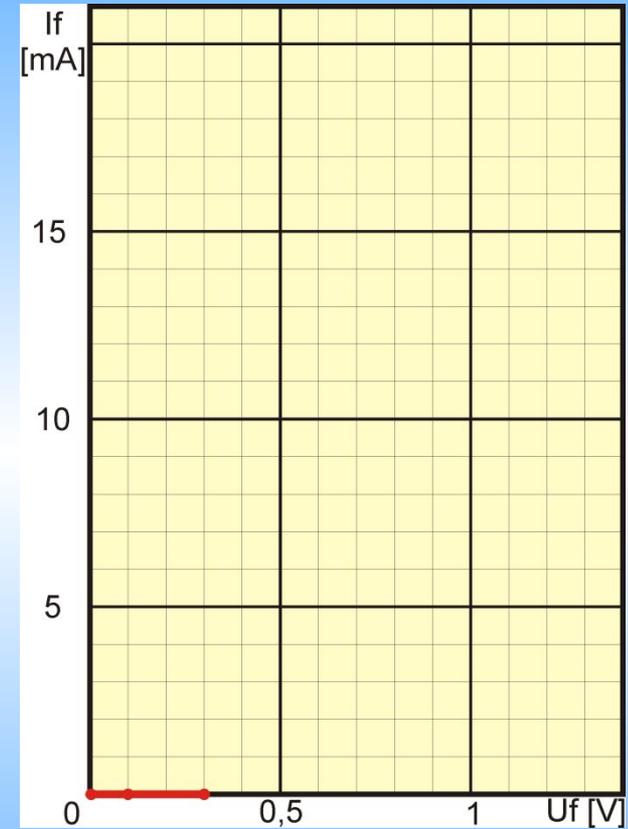
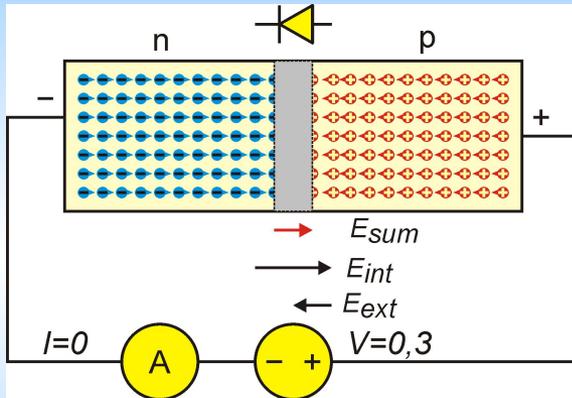
Диод

Прямое смещение диода



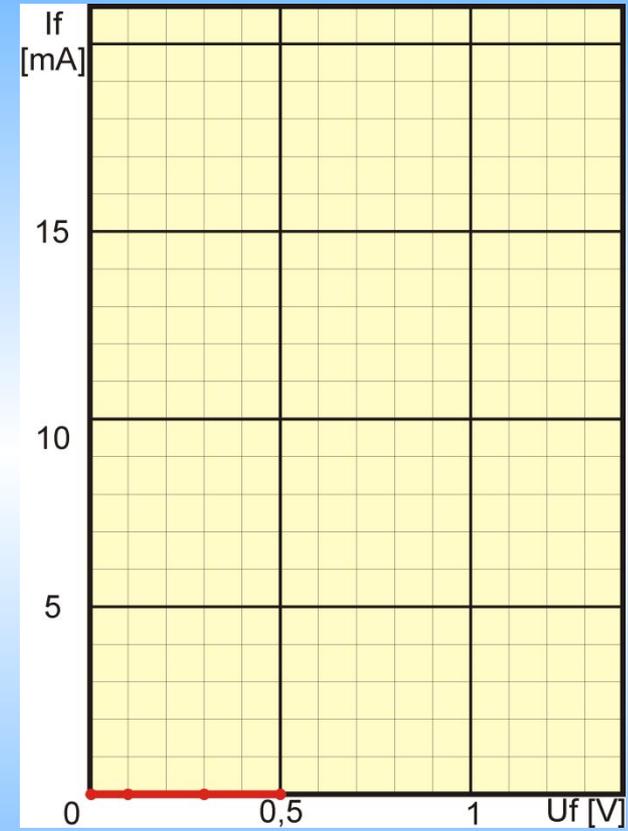
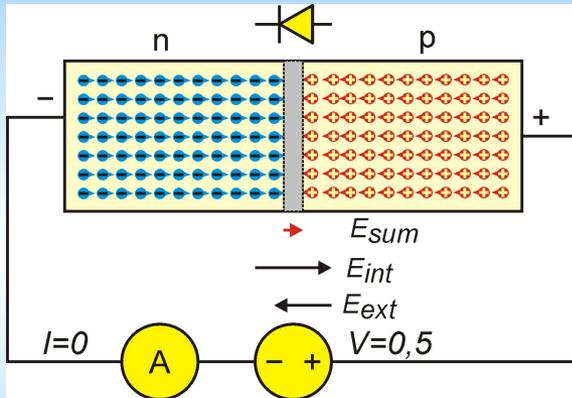
Диод

Прямое смещение диода



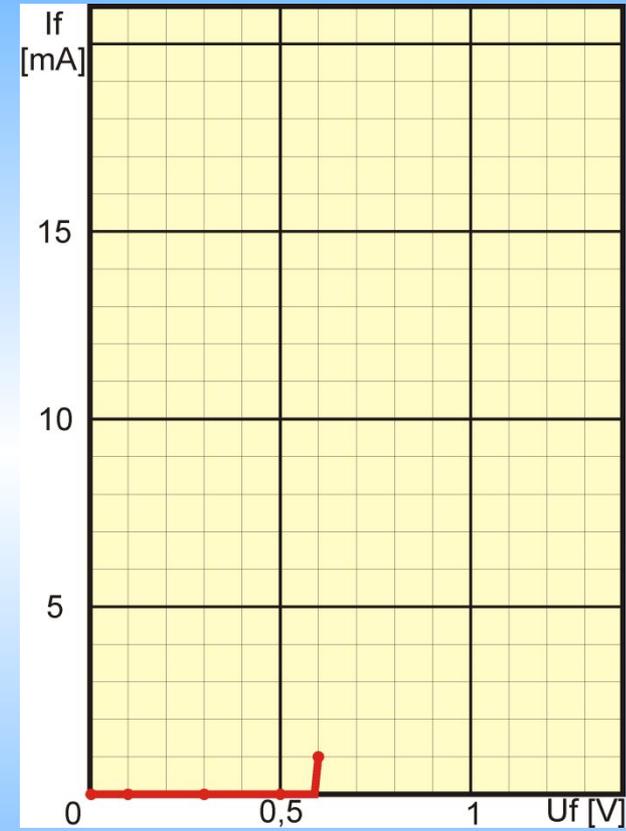
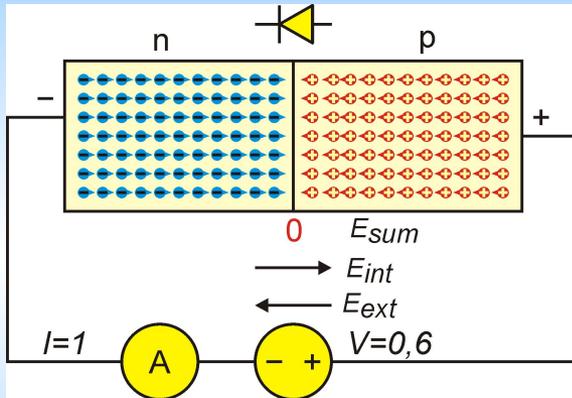
Диод

Прямое смещение диода



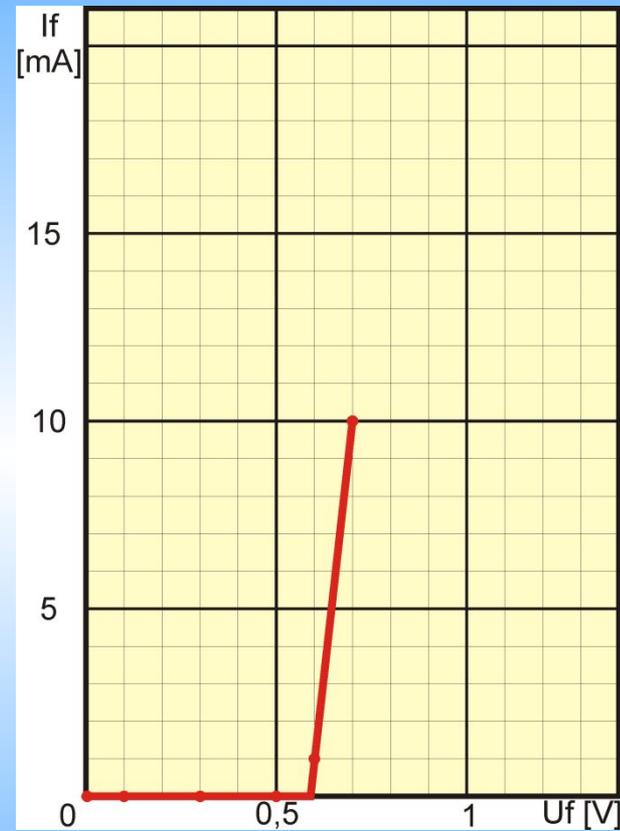
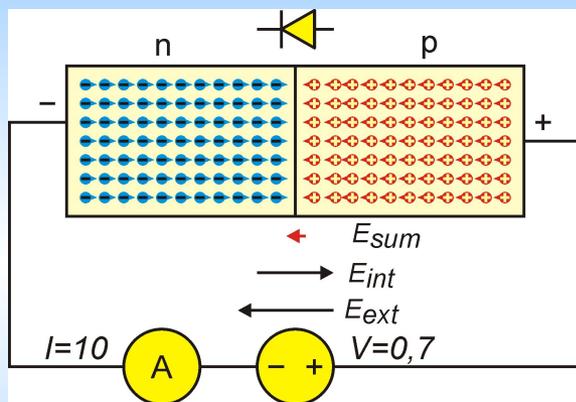
Диод

Прямое смещение диода



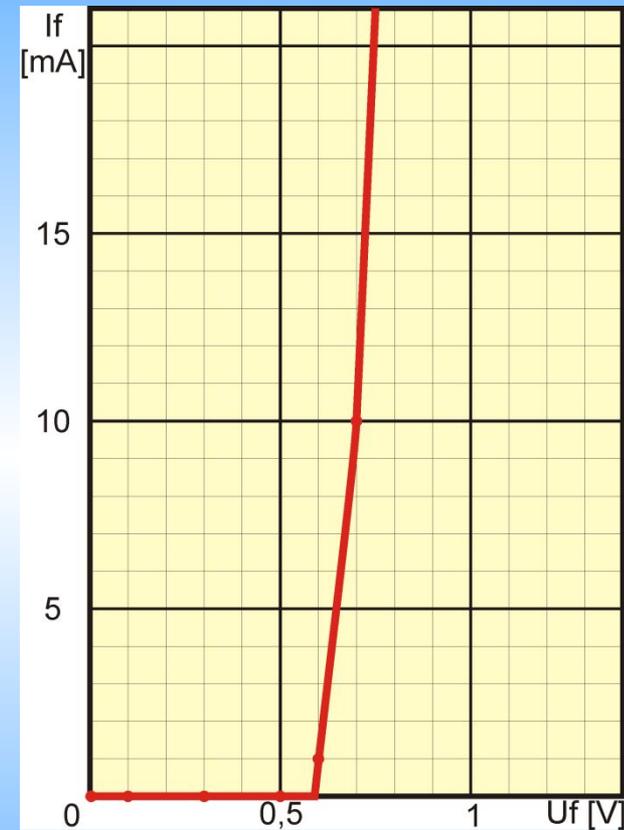
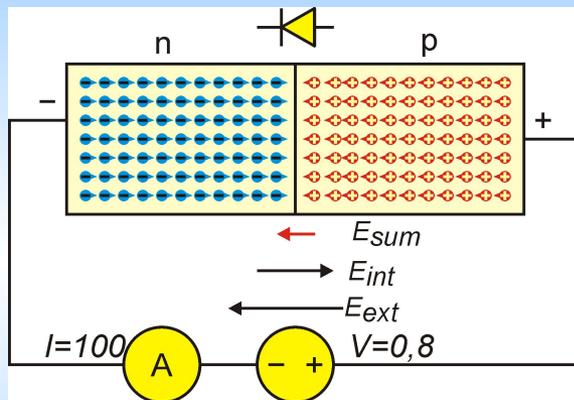
Диод

Прямое смещение диода



Диод

Прямое смещение диода



Тепловое движение сглаживает кривую

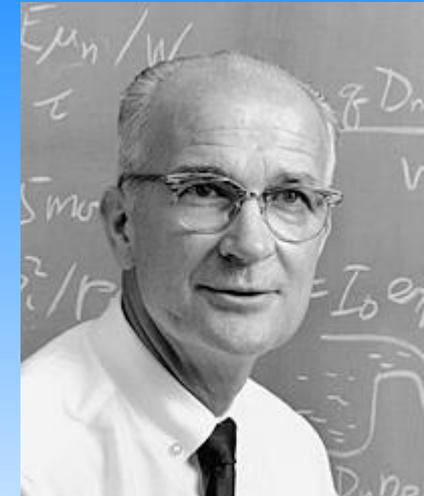
Диод

Вольт-Амперная характеристика

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{V_d \times q}{n \times \kappa T}\right) - 1 \right]$$

Формула Шокли

	Значение
Напряжение на диоде	[В]
Обратный ток насыщения	$\approx 10^{-9}$ [А]
Коэффициент идеальности	1÷2
Постоянная Больцмана	$1,38 \times 10^{-23}$ [Кл]
Заряд электрона	$1,60 \times 10^{-19}$ [Дж/К]



Shockley

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{V_d}{n \times V_T}\right) - 1 \right]$$

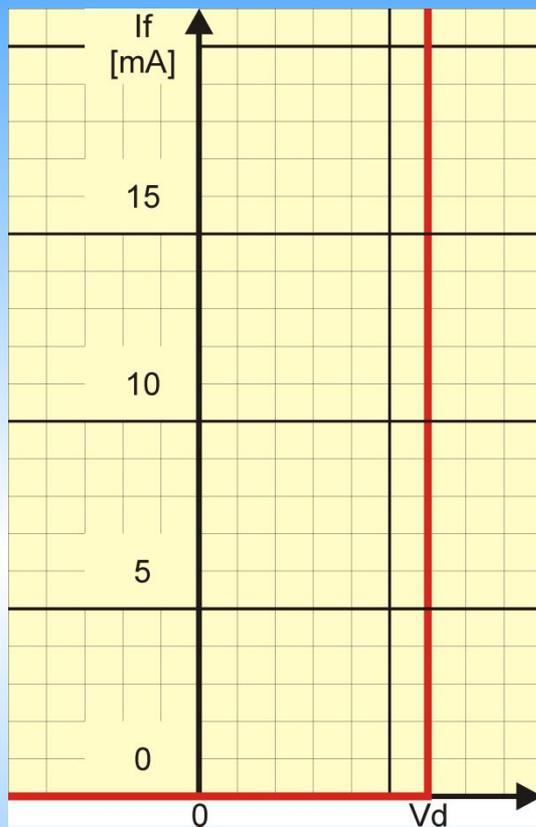
$$V_T = \frac{\kappa T}{q}$$

$V_T \cong 26$ мВ При 300К

Формула описывает прямую и обратную ветви V-I характеристики за исключением области обратного пробоя.

Диод

Упрощенная модель для практического использования

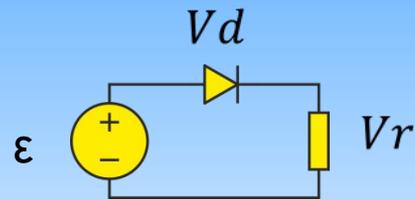


$V_d = \text{const}$ для конкретного p-n перехода

Для кремниевых диодов $V_d \approx 0,6$ В

Диод

Практическое использование упрощенной модели



$$\varepsilon = V_d + V_r$$

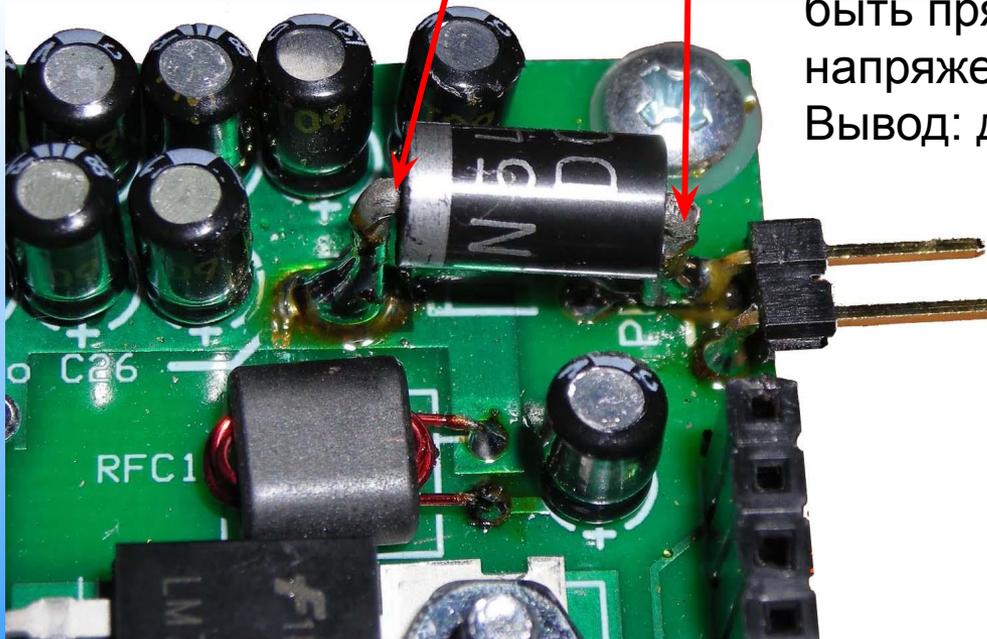
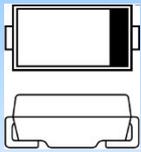
~~$$V_d = n \times V_T \times \ln \frac{I}{I_0}$$
$$V_r = I \times R$$
$$\varepsilon = n \times V_T \times \ln \frac{I}{I_0} + I \times R$$~~

$$V_d = 0,6$$
$$V_r = I \times R = \varepsilon - 0,6$$
$$I = \frac{\varepsilon - 0,6}{R}$$

Диод

Практическое использование упрощенной модели
Поиск неисправностей

Анод  Катод



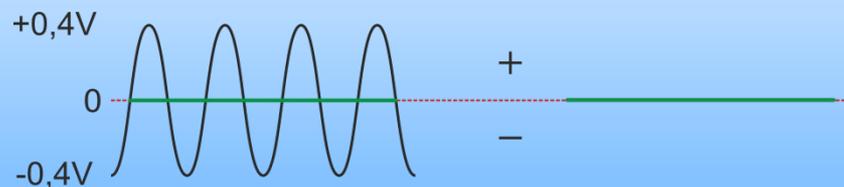
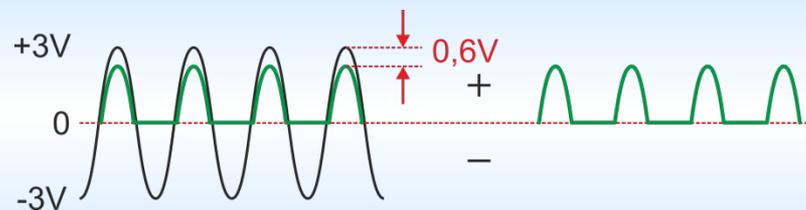
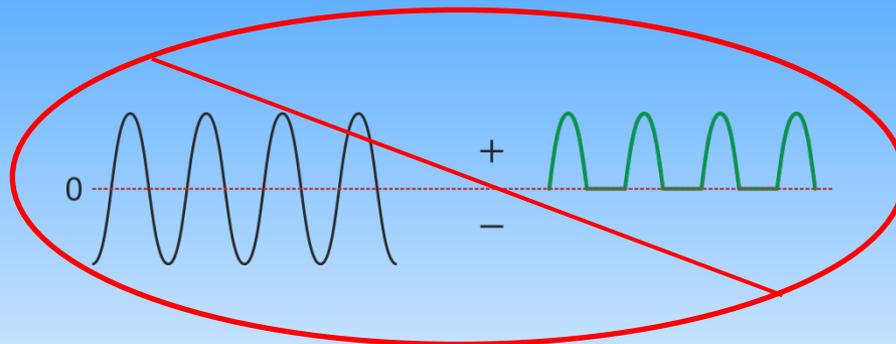
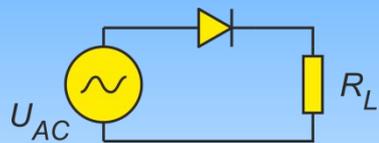
V=5 В

У исправного диода не может
быть прямого падения
напряжения в 5 Вольт!
Вывод: диод неисправен.

Диод

Практическое использование упрощенной модели

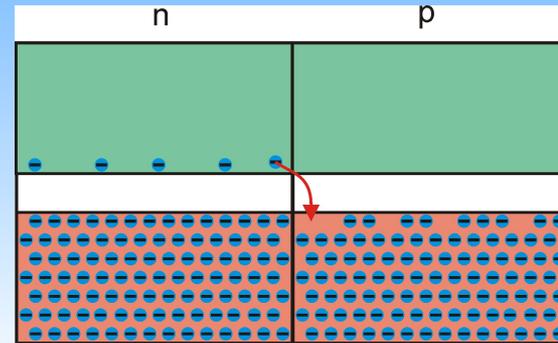
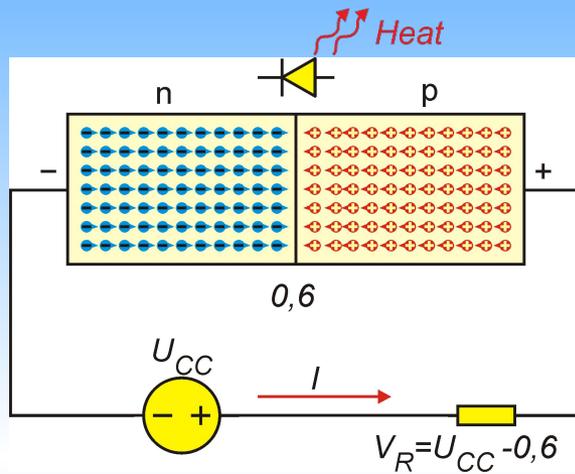
Выпрямитель



Диод. Рассеиваемая мощность.

Прямое смещение

Si

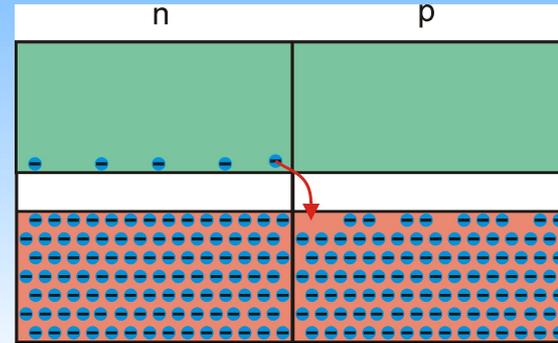
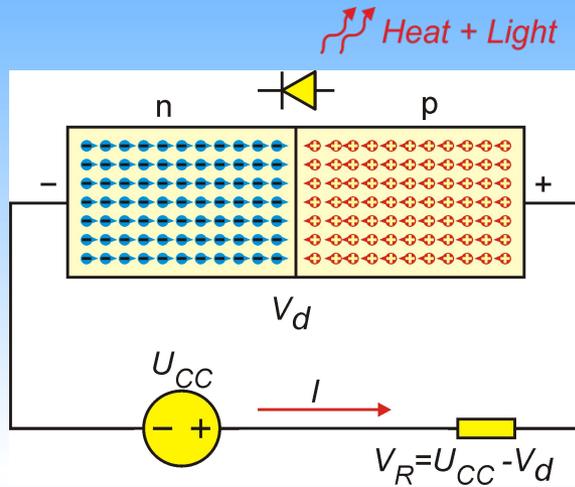


$$W = 0,6 \times I$$

Светодиод. LED.

Light-Emitting Diode

GaAsP

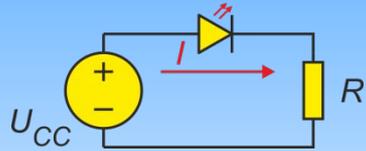
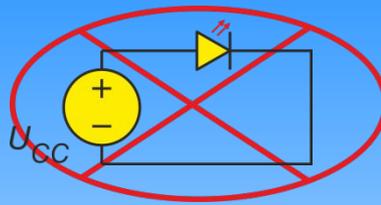


$$W = V_d \times I = W_{Light} + W_{Heat}$$

$$W_{Light} = \eta \times V_d \times I$$

$$\eta > 50\%$$

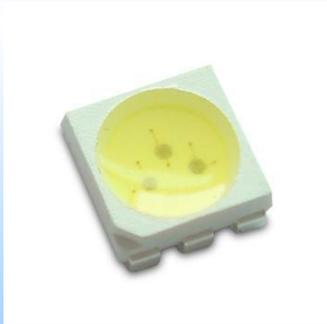
Светодиод. LED. Light-Emitting Diode



$$R = \frac{U_{CC} - V_d}{I}$$

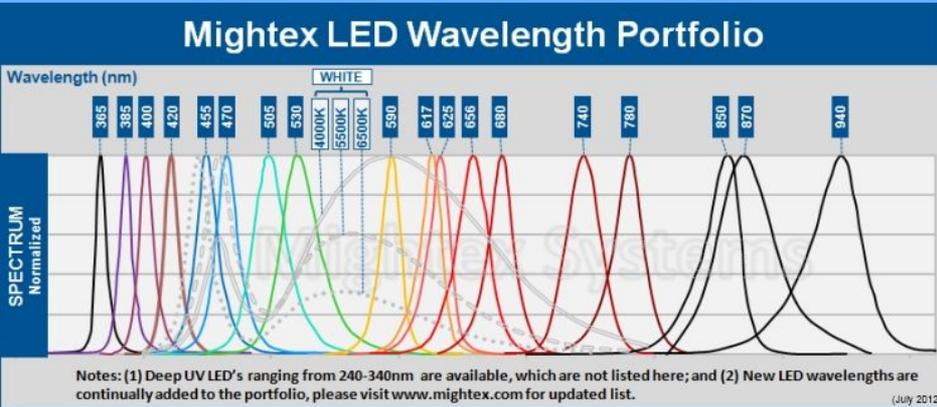
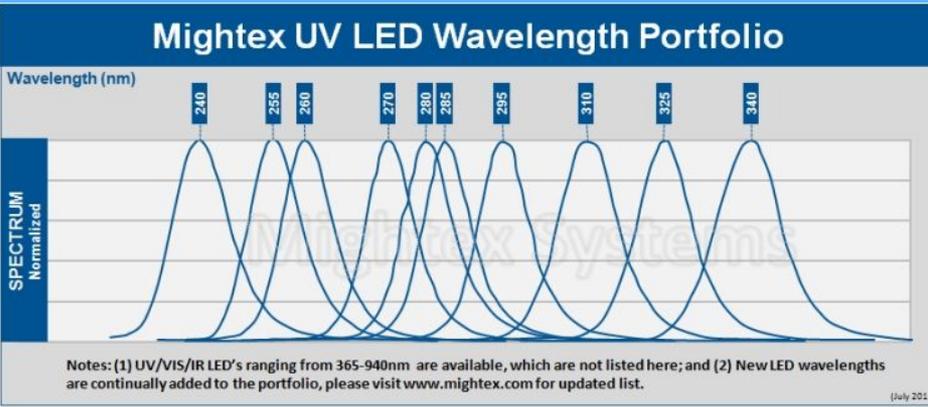
I Номинальный ток через диод

V_d Прямое напряжение на светодиоде



Светодиод. LED.

Light-Emitting Diode

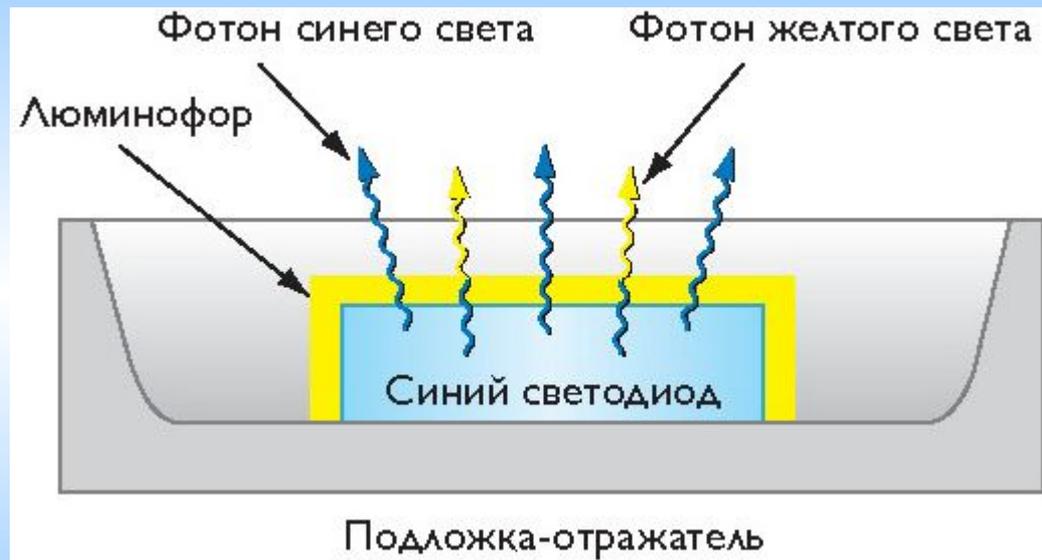
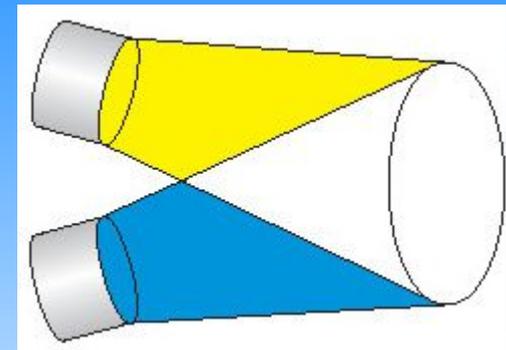


Цвет	Полупроводник	λ [nm]	Vd
High Efficiency Red	GaP	700	2÷2,5
Super Red	GaAlAs	660	1,7÷2,2
Super High Intensity Red	AlInGaP	636	2÷2,5
High Intensity Red	GaAsP	635	2÷2,5
TS AlInGaP Red	AlInGaP	630	2,2÷2,8
Super Orange	AlInGaP	610	2÷2,5
Amber	GaAsP	605	2÷2,5
Super Yellow	AlInGaP	590	2÷2,5
TS AlInGaP Yellow	AlInGaP	590	2,3÷2,5
Yellow	GaAsP	585	2,1÷2,5
Super Ultra Green	AlInGaP	574	2,2÷2,6
Green	GaP	565	2,2÷2,6
Super Green	GaP	565	2,2÷2,6
Pure Green	GaP	555	2,2÷2,6
Ultra White	InGaN	~	3,2÷4
Ultra Pure Green	InGaN	525	3,2÷4
Ultra Emerald Green	InGaN	505	3,2÷4
Ultra Super Blue	InGaN	470	3,2÷4
Super Blue	GaN	430	4,5÷5,5



Белый светодиод

White LED



http://www.lighting.philips.com/ru_ru/lightcommunity/trends/led/anatomy/white_led.wpd

