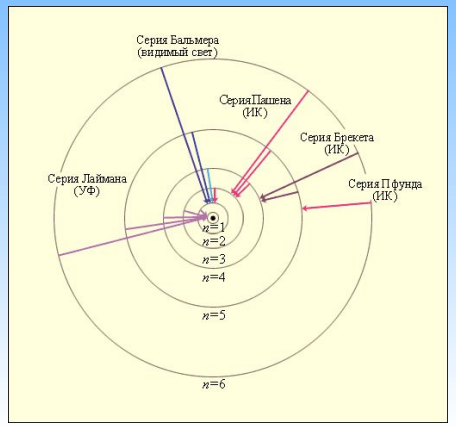
Диоды

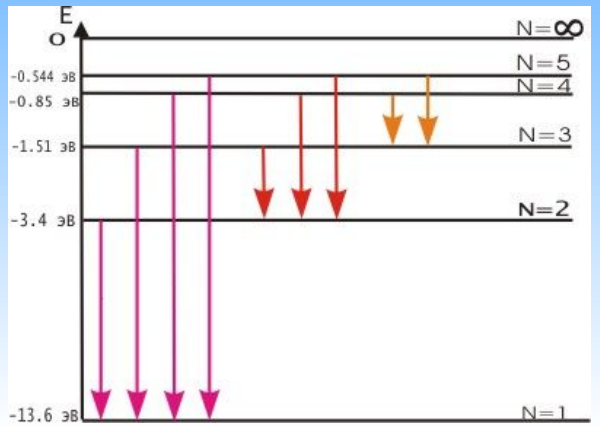
Diode

Полупроводники

Твердое тело. Энергетические зоны.

Модель атома





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

Уровень

Уровень

1 атом

2 атома

Твердое тело

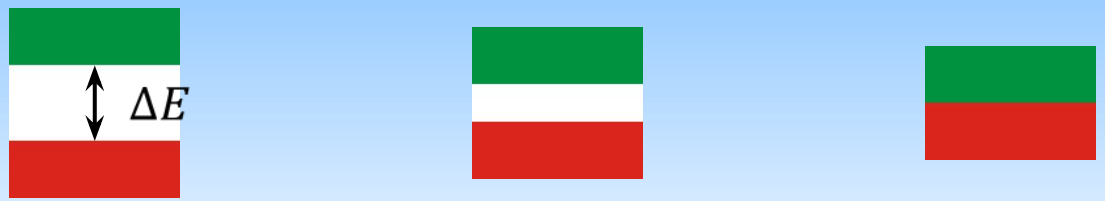
Si $1S^2 2\,S^2 2\,P^6 3S^2 3\,P^2$

Полупроводники

Твердое тело. Энергетические зоны.

Зона проводимости

Валентная зона



$\Delta E \gg \kappa T$	$\Delta E \sim \kappa T$	$\Delta E \leq 0$
$\Delta E > 3eV$	$0{,}01eV < \Delta E \leq 3eV$	
Диэлектрики	Полупроводники	Проводники

Для кремния

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

κT=0,026 eV (T=300 K)

Полупроводники

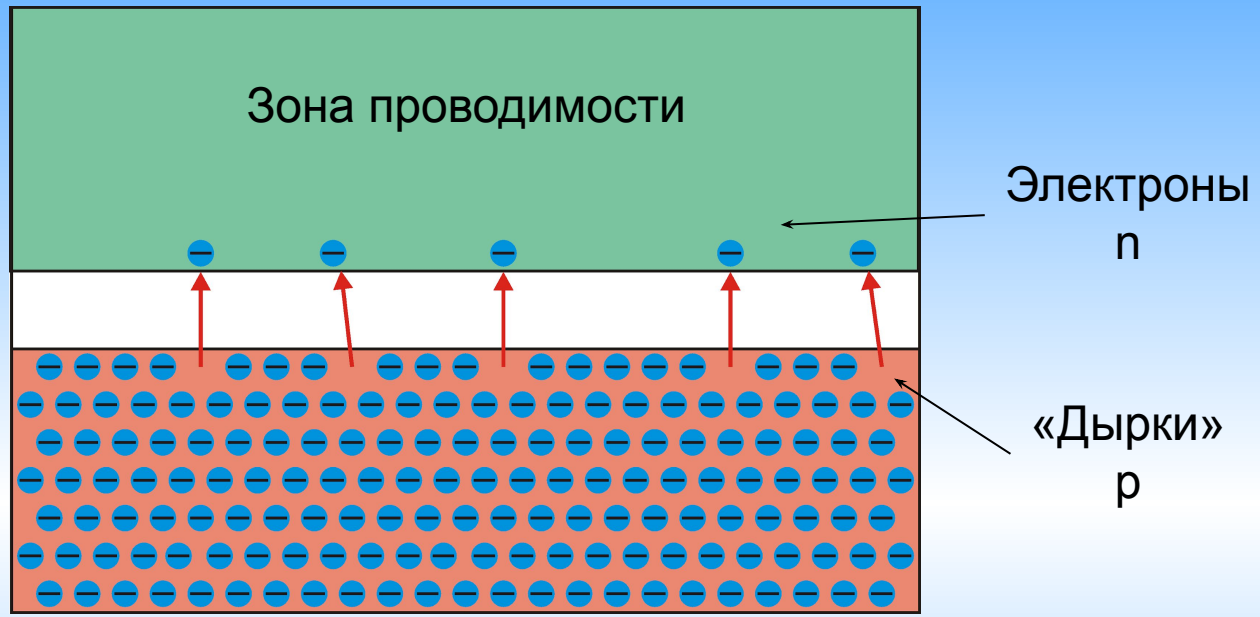
$T \sim 0K$

Валентная зона

Направленное движение зарядов (проводимость) невозможно

Полупроводники

$$T > 0K$$



Валентная зона

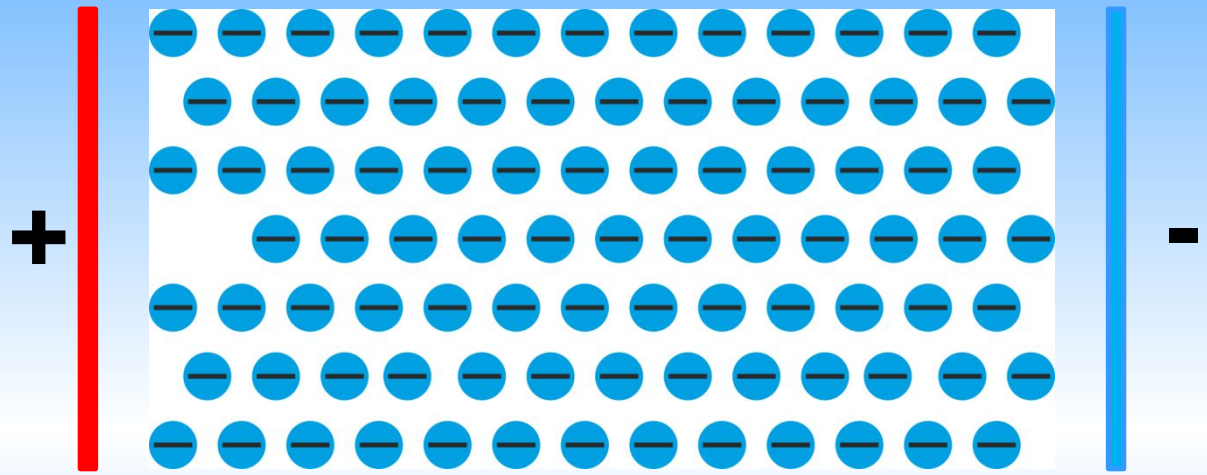
Направленное движение зарядов (проводимость) возможно как в зоне проводимости, так и в валентной зоне

Количество электронов = количеству дырок в чистом полупроводнике

Полупроводники

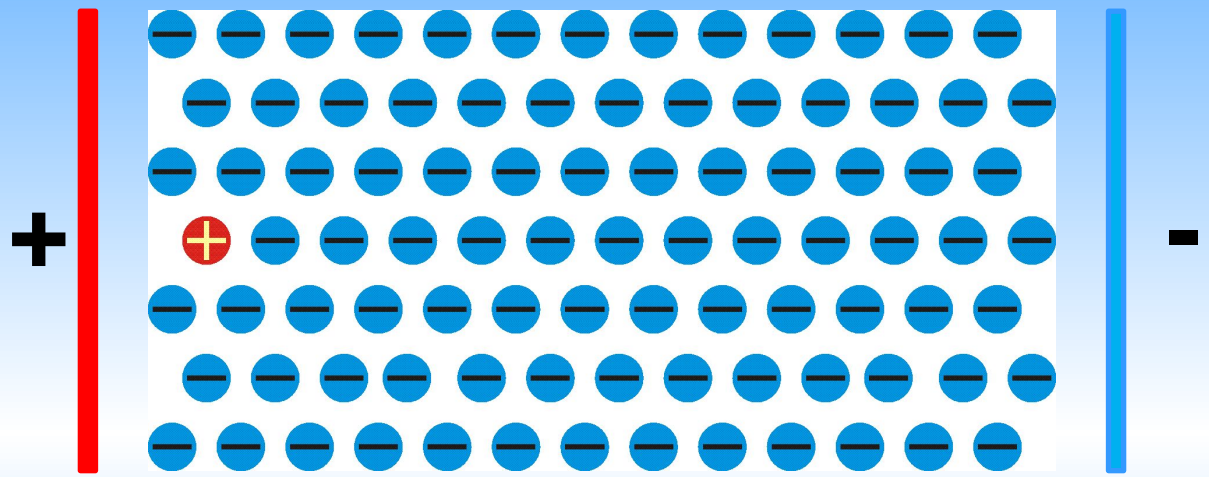
Полупроводники

Дырки



Полупроводники

Дырки



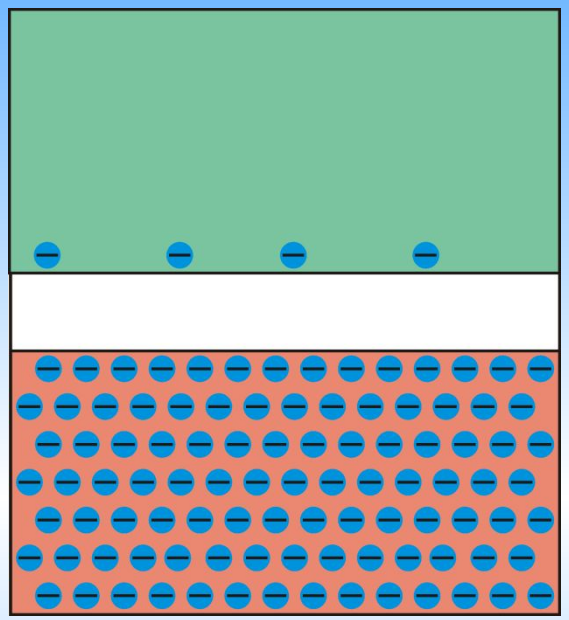
Кремний

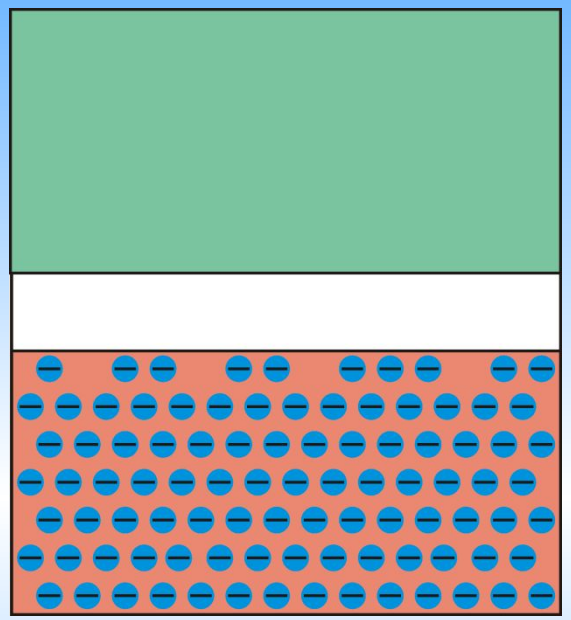
	n	p
Подвижность[см²/(В·с)]	1200÷1450	~ 500
Длина свободного пробега [см]	~ 0,1	0,02 ÷ 0,06

Полупроводники

Примесная проводимость

$T \sim 0K$





Донорная примесь
Кремний (4) + немного мышьяка (5)

Полупроводник n - типа

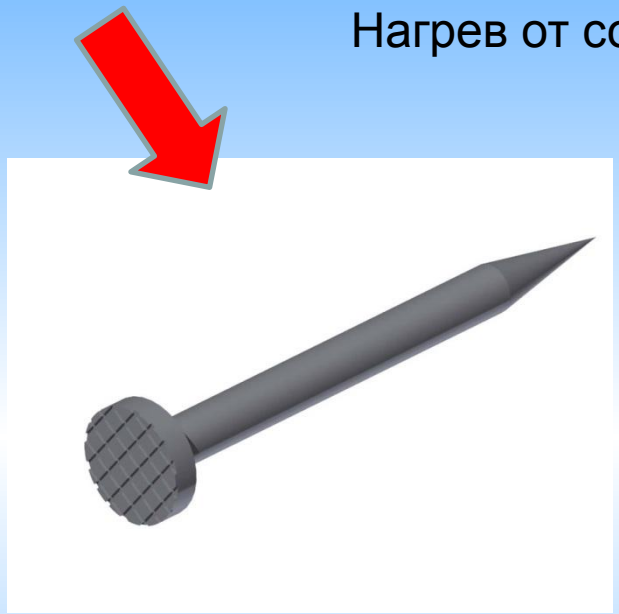
Акцепторная примесь
Кремний (4) + немного индия (3)

Полупроводник p - типа

Проводимость при низких температурах возможна

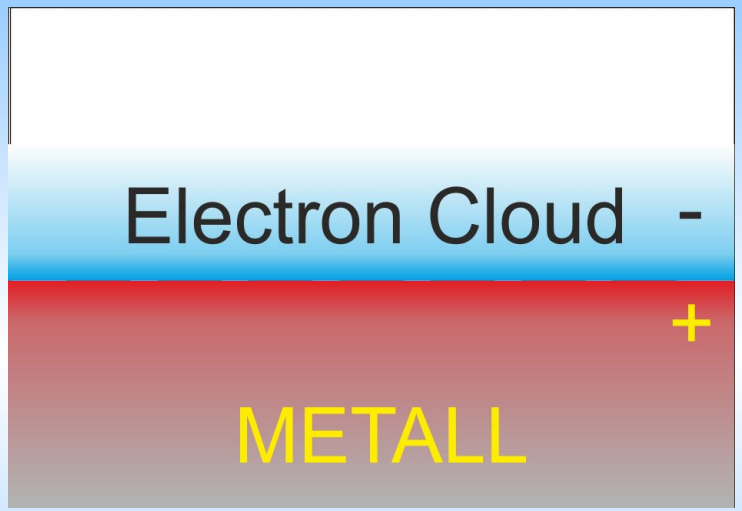
Электронное облако

Нагрев от солнца



Почему электроны бегают по металлу и не убегают в космос?

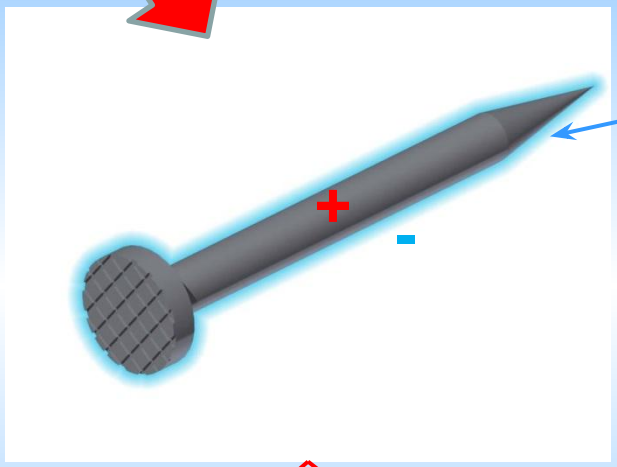
Электронное облако



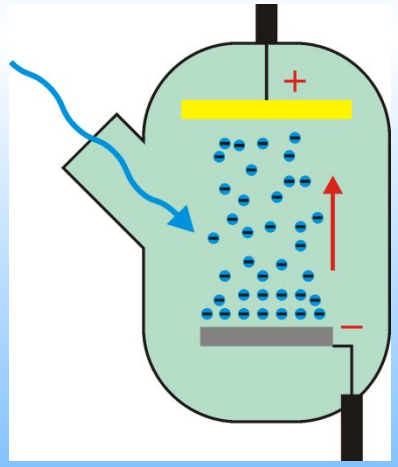
Плотность электронного облака спадает экспоненциально с ростом расстояния от поверхности

Электронное облако

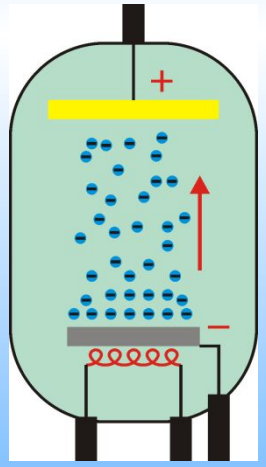
Нагрев от солнца



Динамическое электронное облако

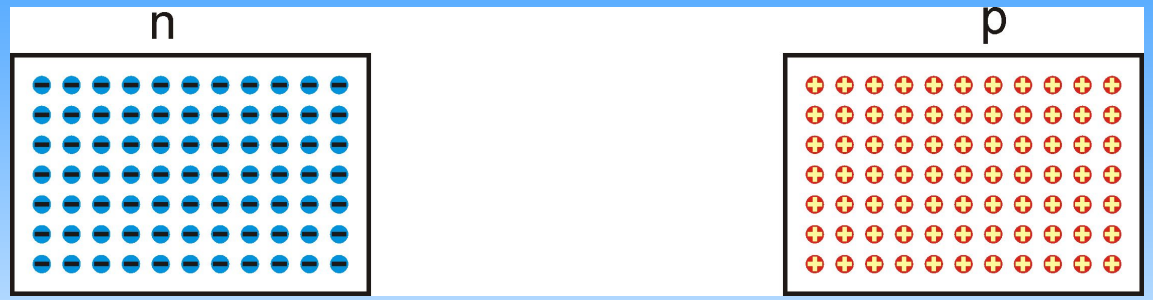


Внешний фотоэффект



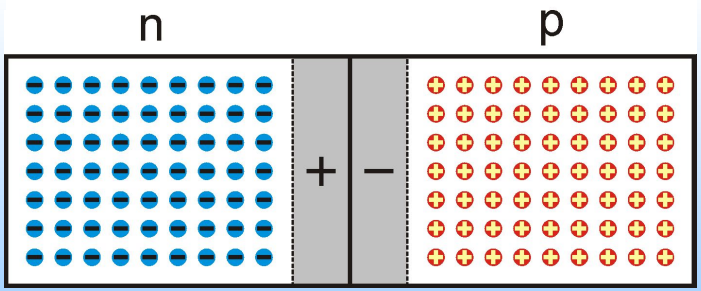
Термоэлектронная эмиссия

p-n переход



Электрически нейтральный кусок полупроводника

Электрически нейтральный кусок полупроводника

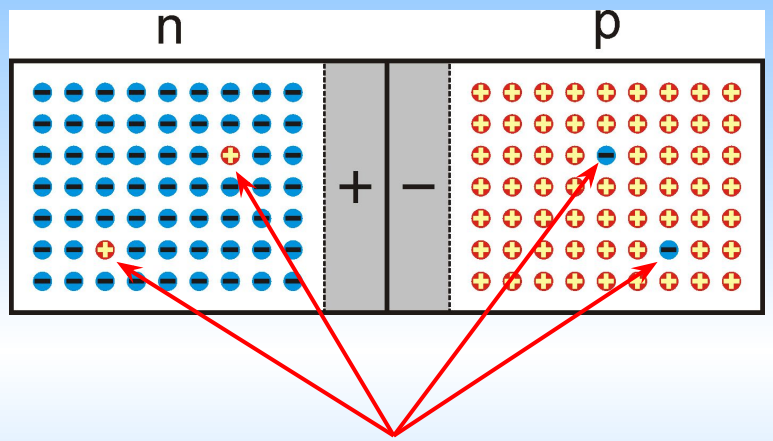


Depletion zone

p-n переход

Более точно

Основные носители

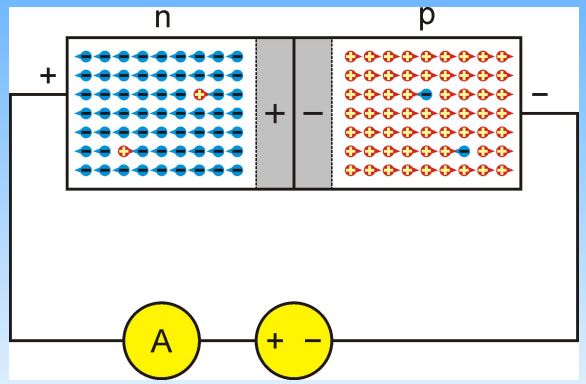


Неосновные носители.
Их мало.
(Собственная проводимость)

Количество неосновных носителей
экспоненциально растет с ростом температуры

Полупроводниковый диод

Обратное смещение



$$I_R = I_0$$

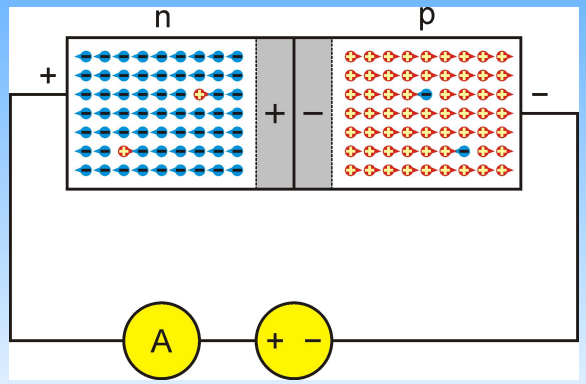
I_0 → Ток неосновных носителей (для кремния ~ 10^{-10} А)

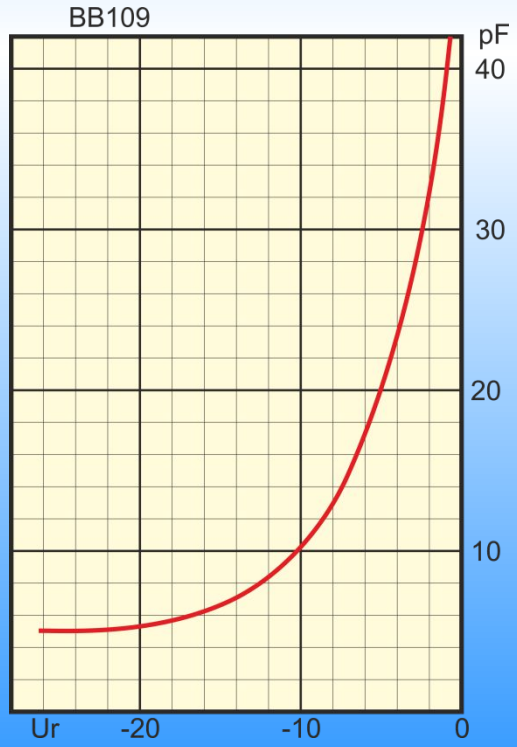
$$I_R \cong 0$$

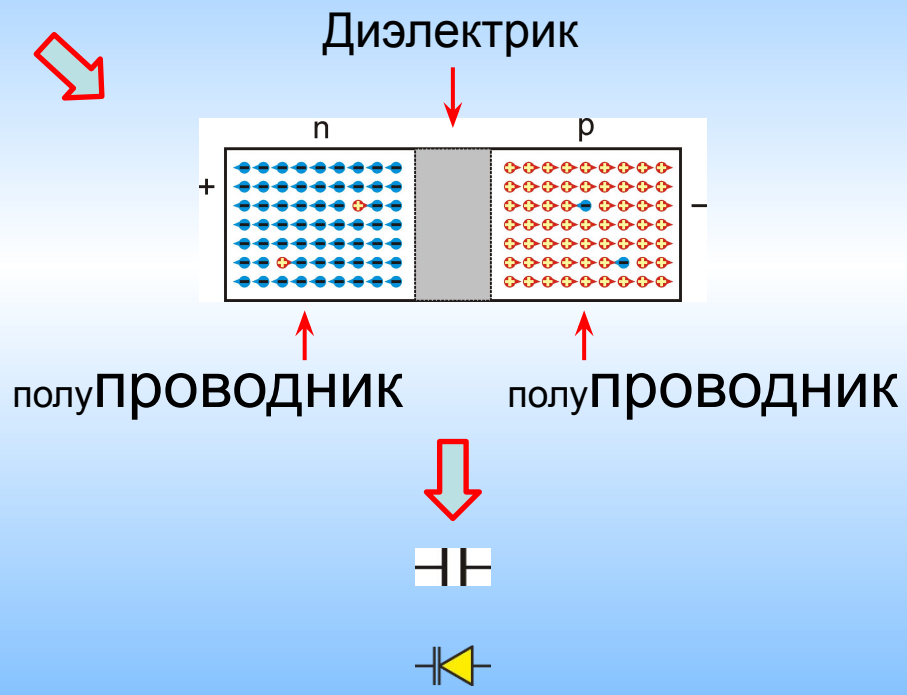
Варикап

Обратное смещение диода

Varicap. Varactor.

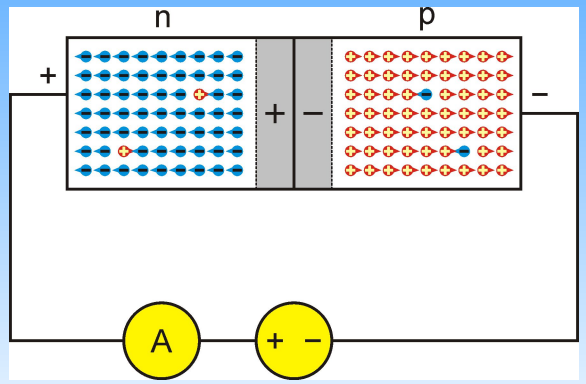


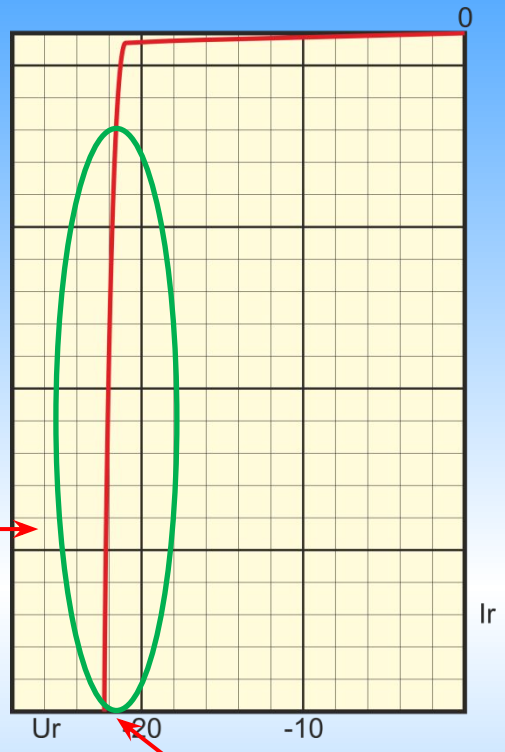




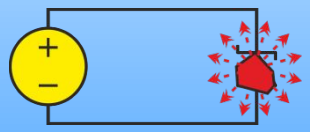
Стабиллитрон

Обратное смещение диода

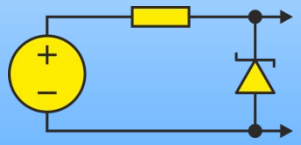




Пробой.
Практически вертикальная линия.



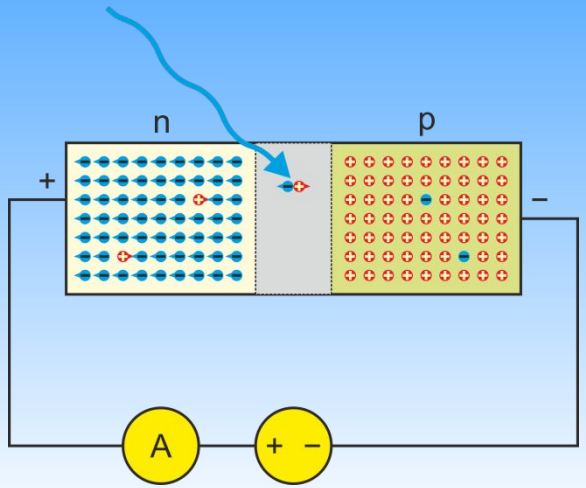
V=25÷35V



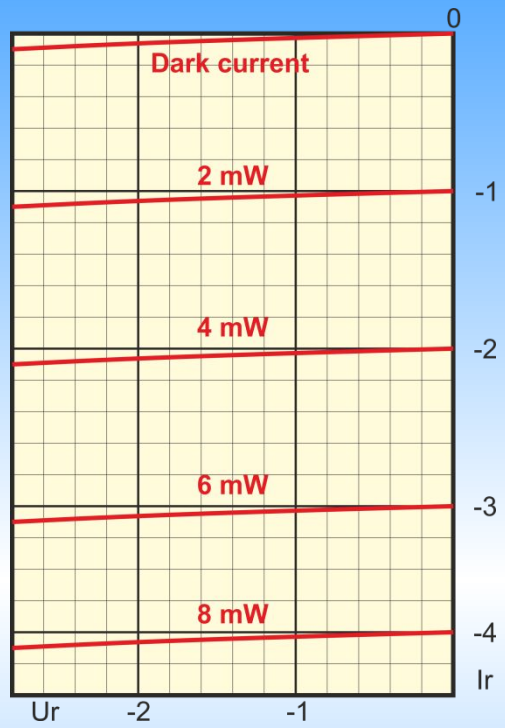
Vs=22V=const

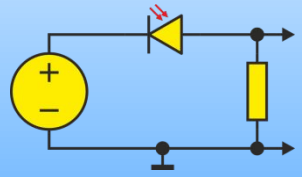
Фотодиод

Обратное смещение диода

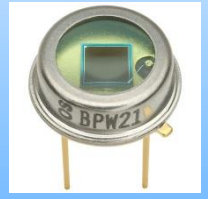


Внутренний фотоэффект



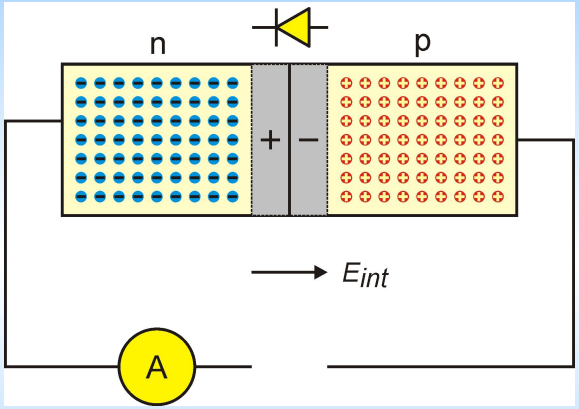


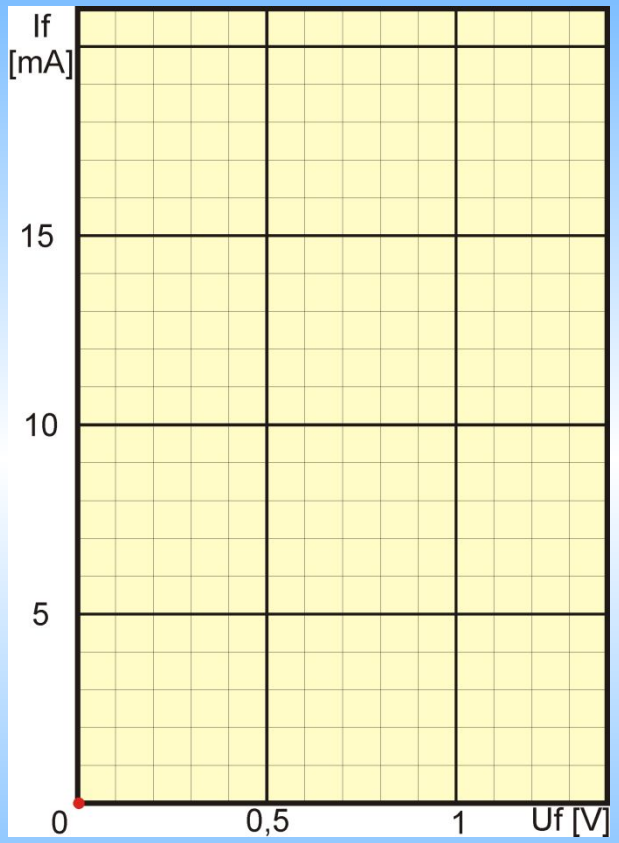
$$V_{out} \sim W_{light}$$



Диод

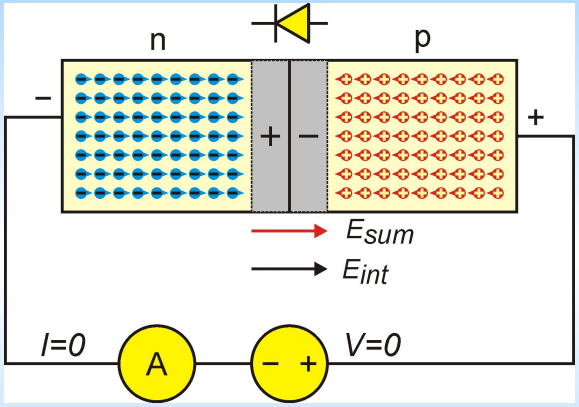
Прямое смещение диода

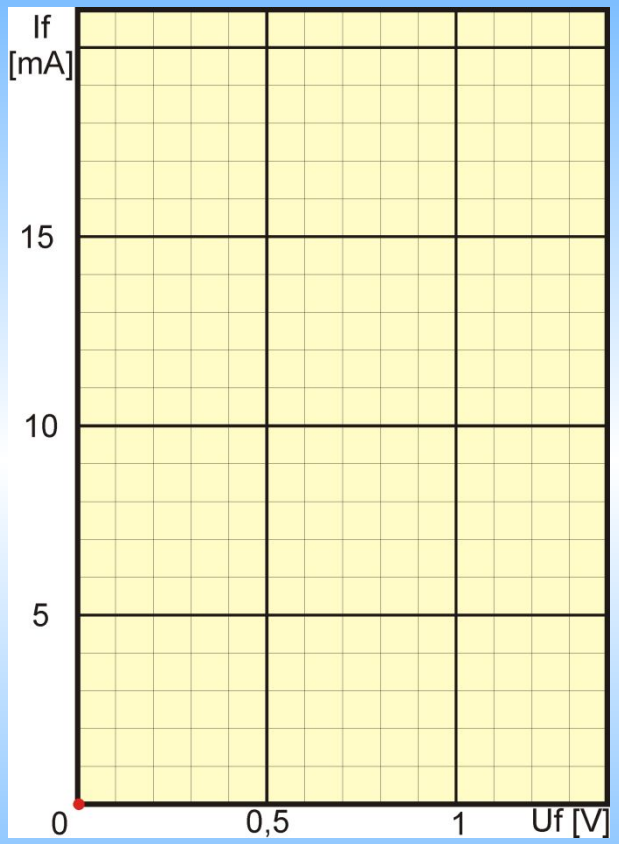




Диод

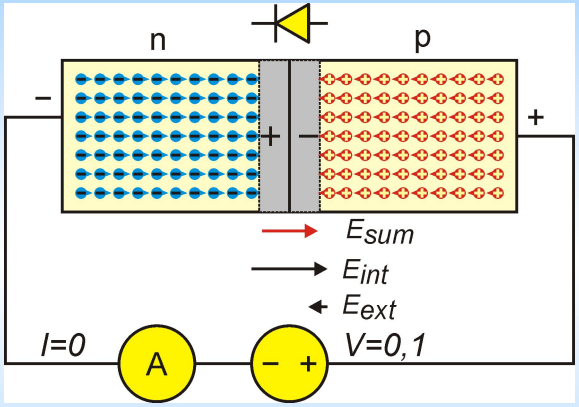
Прямое смещение диода

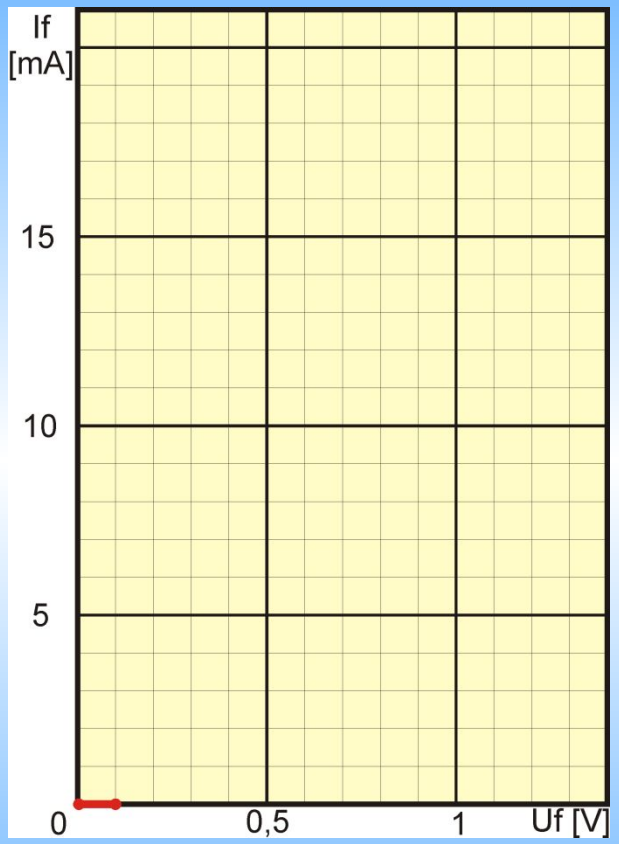




Диод

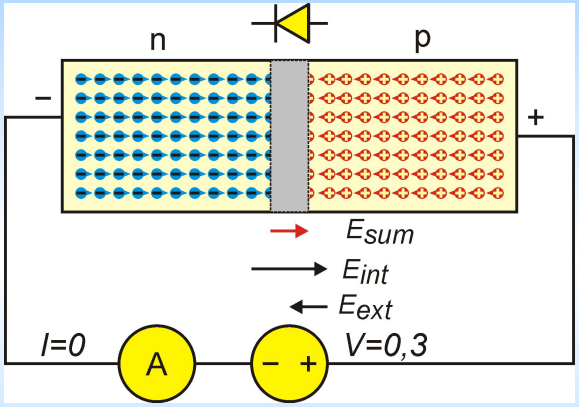
Прямое смещение диода

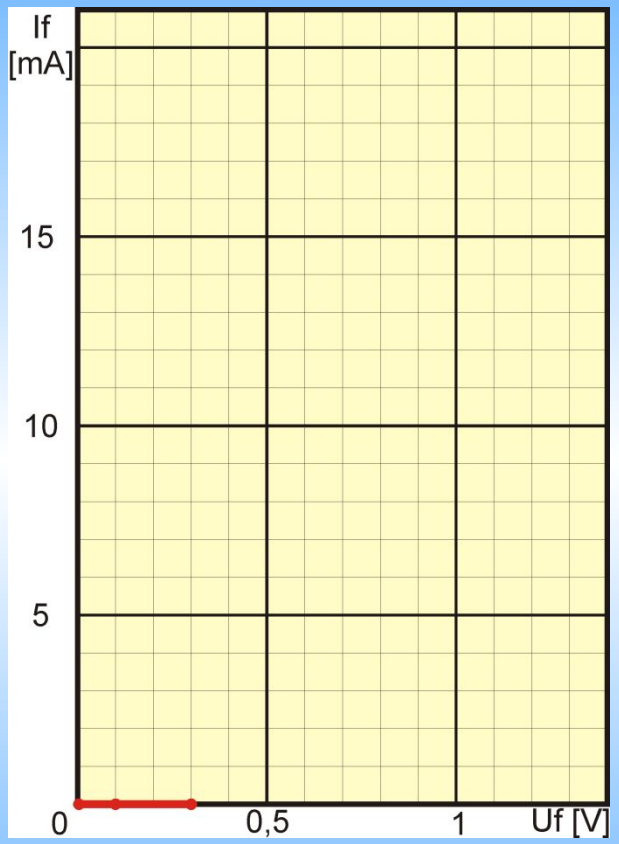




Диод

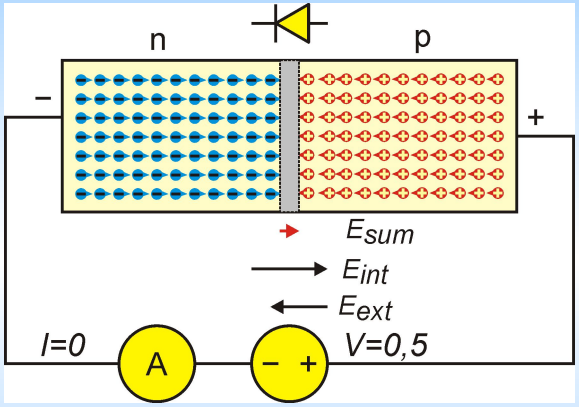
Прямое смещение диода

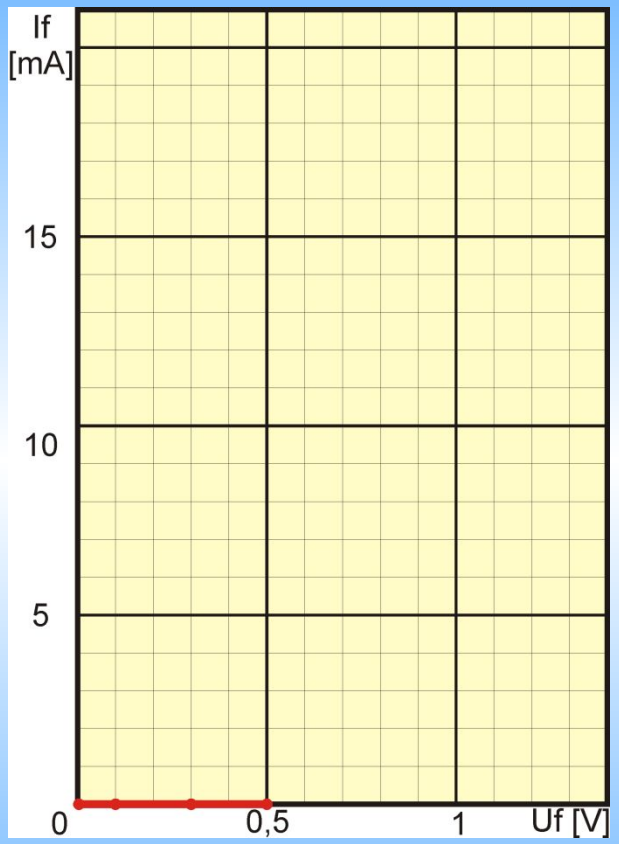




Диод

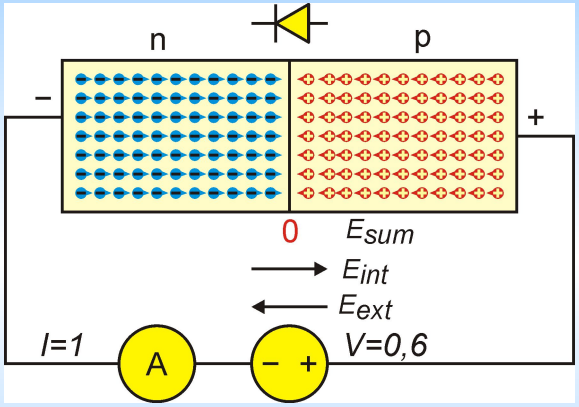
Прямое смещение диода

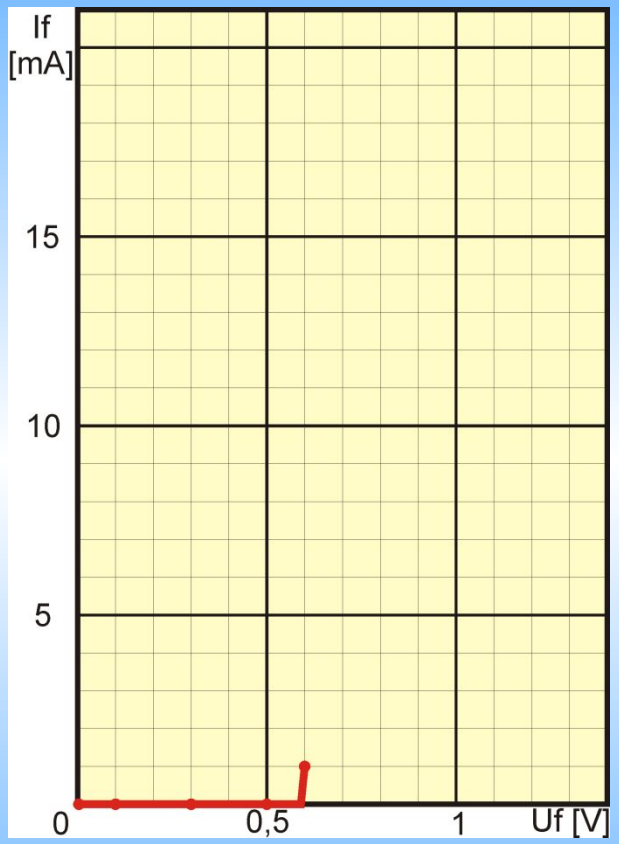




Диод

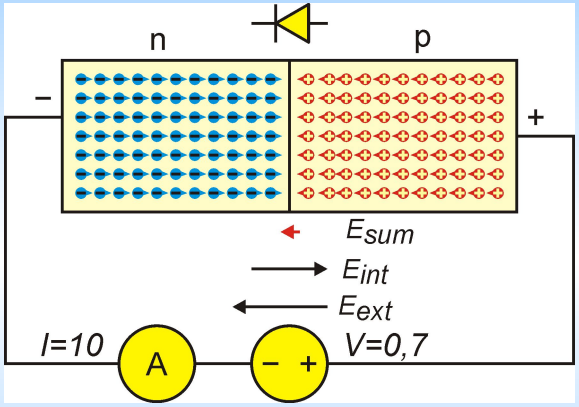
Прямое смещение диода

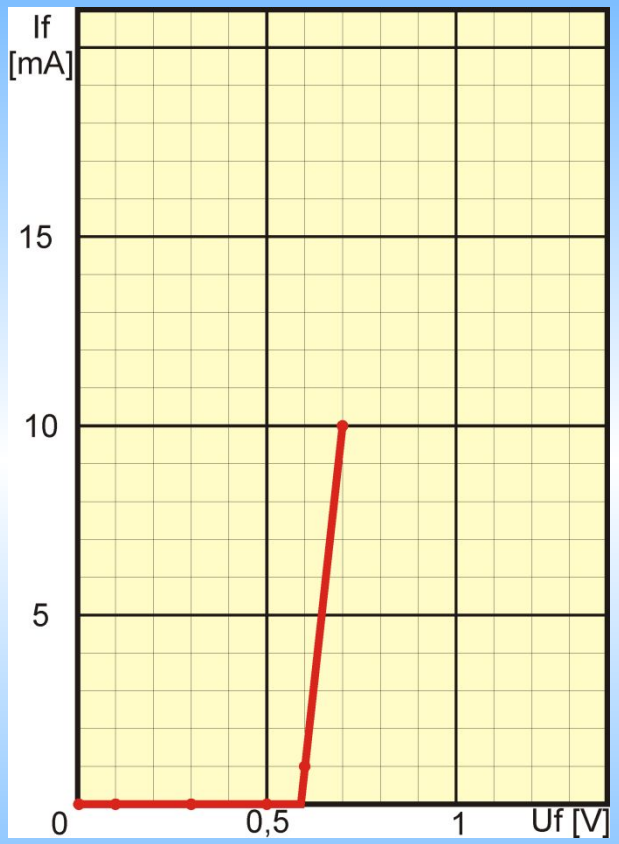




Диод

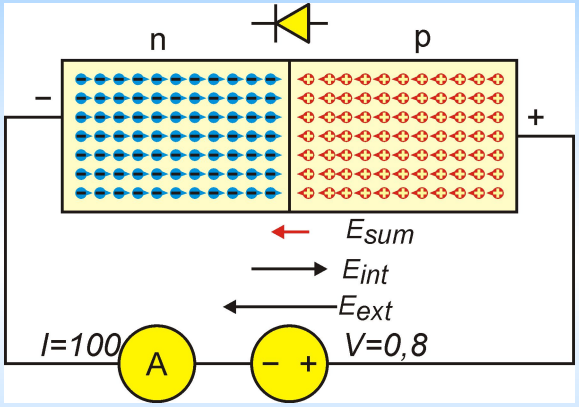
Прямое смещение диода

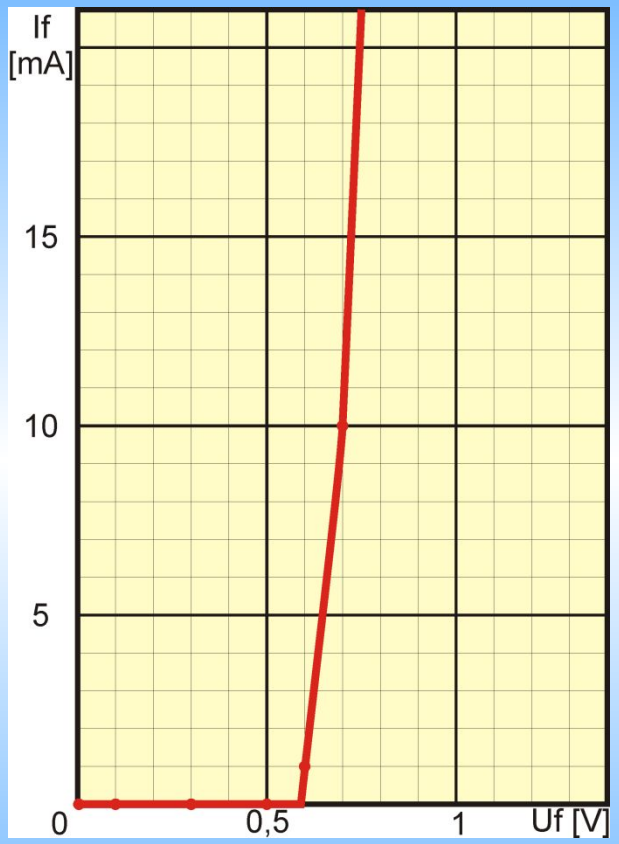




Диод

Прямое смещение диода





Тепловое движение сглаживает кривую

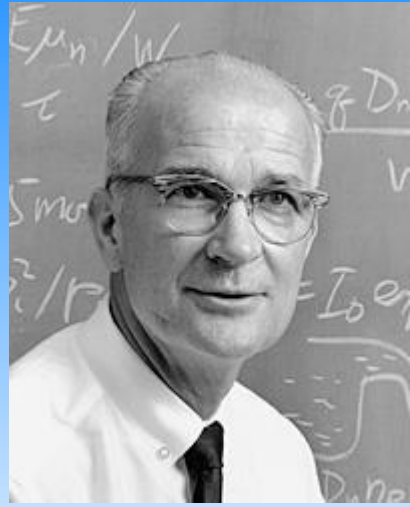
Диод

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	≈10^{-9} [А]
Коэффициент идеальности	1÷2
Постоянная Больцмана	1,38 × 10^{-23} [Кл]
Заряд электрона	1,60 × 10^{-19} [Дж/К]



Shockley

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

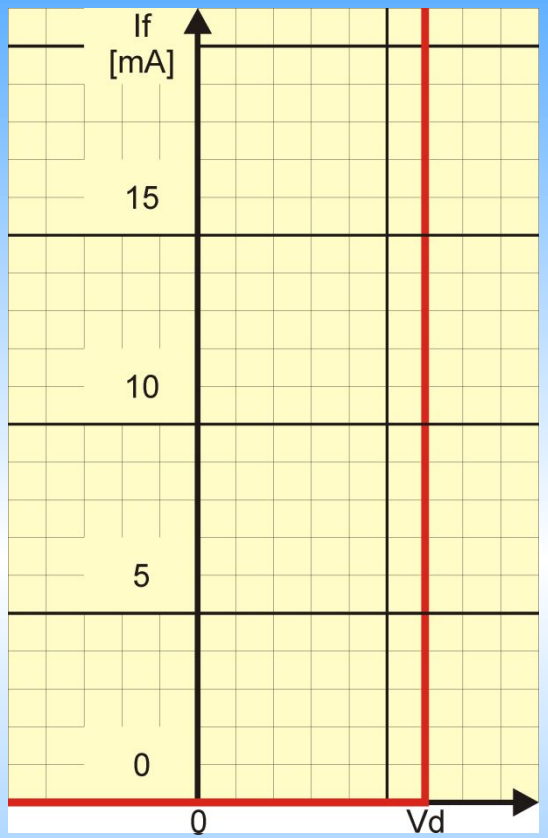
$$V_T = \frac{\kappa T}{q}$$

$V_T \cong 26$ мВ При 300К

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

Диод

Упрощенная модель для практического использования

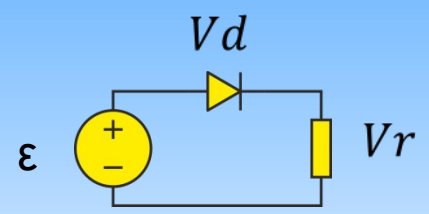


Vd=const для конкретного p-n перехода

Для кремниевых диодов Vd≈0,6 В

Диод

Практическое использование упрощенной модели



$$\varepsilon = V_d + V_r$$

$$V_d = n \times V_T \times ln\frac{I}{I_0}$$

$$V_r = I \times R$$

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

$$V_d = 0{,}6$$

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

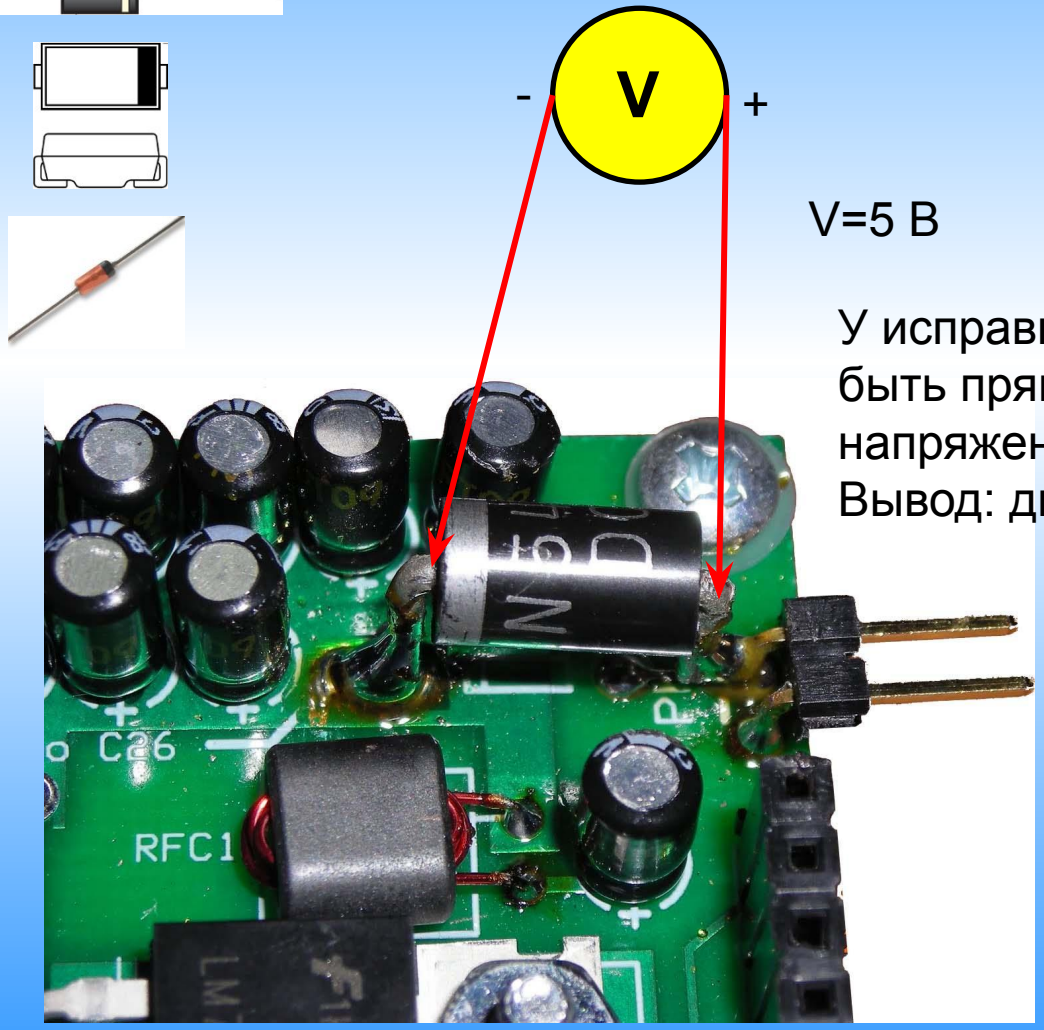
$$I = \frac{\varepsilon - 0{,}6}{R}$$

Диод

Практическое использование упрощенной модели

Поиск неисправностей

Анод Катод



V=5 В

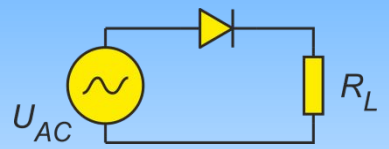
У исправного диода не может быть прямого падения напряжения в 5 Вольт!

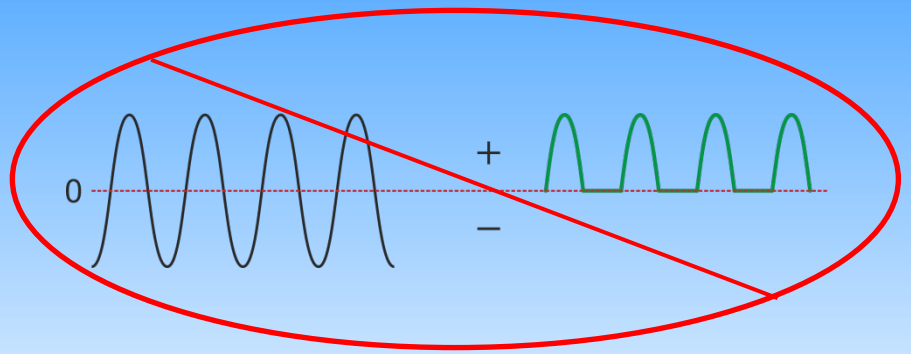
Вывод: диод неисправен.

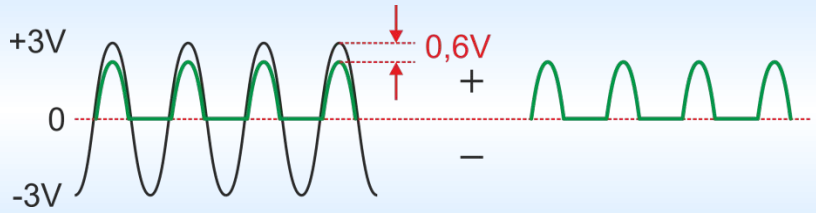
Диод

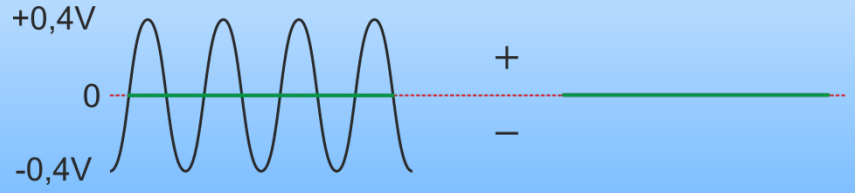
Практическое использование упрощенной модели

Выпрямитель





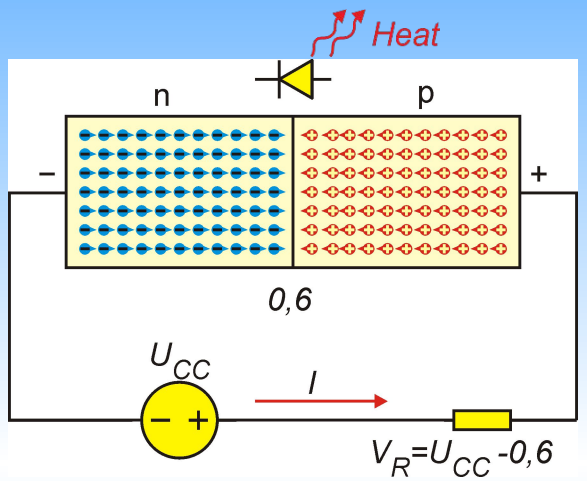


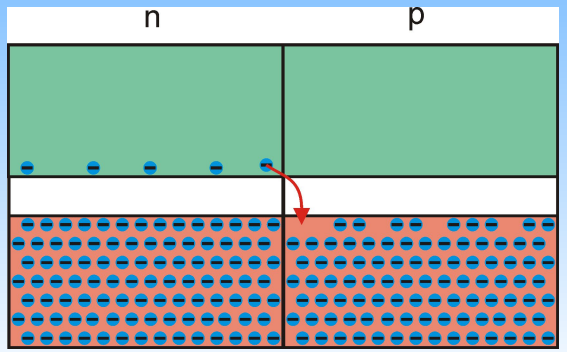


Диод. Рассеиваемая мощность.

Прямое смещение

Si



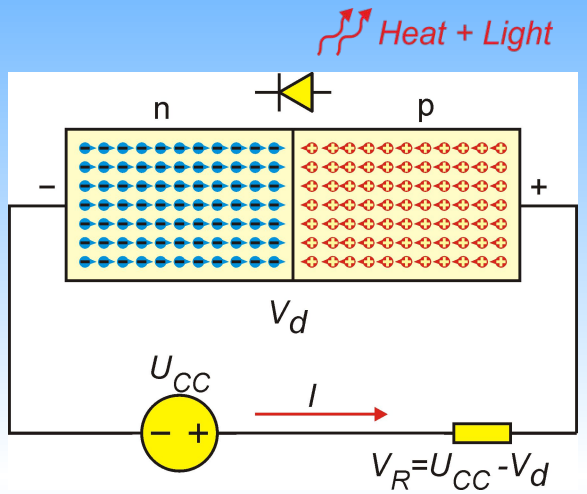


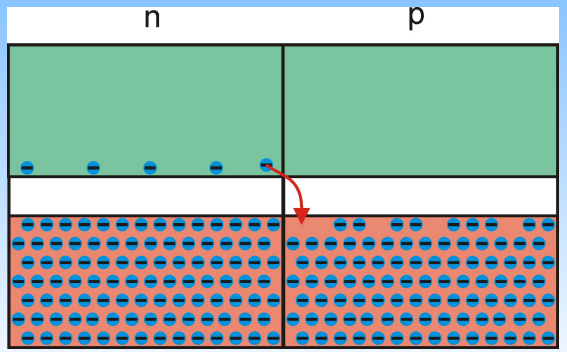
$$W = 0{,}6 \times I$$

Светодиод. LED.

Light-Emitting Diode

GaAsP





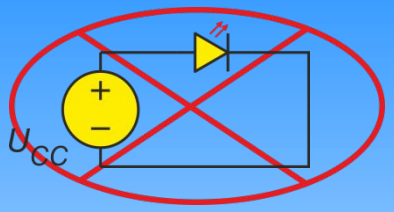
$$W = Vd \times I = W_{Light} + W_{Heat}$$

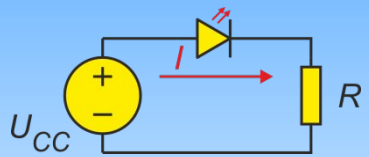
$$W_{Light} = \eta \times Vd \times I$$

$$\eta > 50\%$$

Светодиод. LED.

Light-Emitting Diode

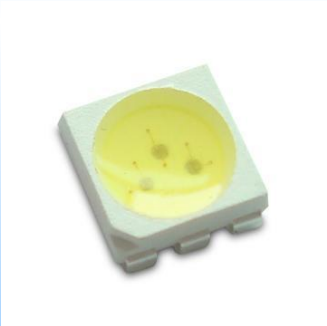




$$R = \frac{U_{CC} - V_d}{I}$$

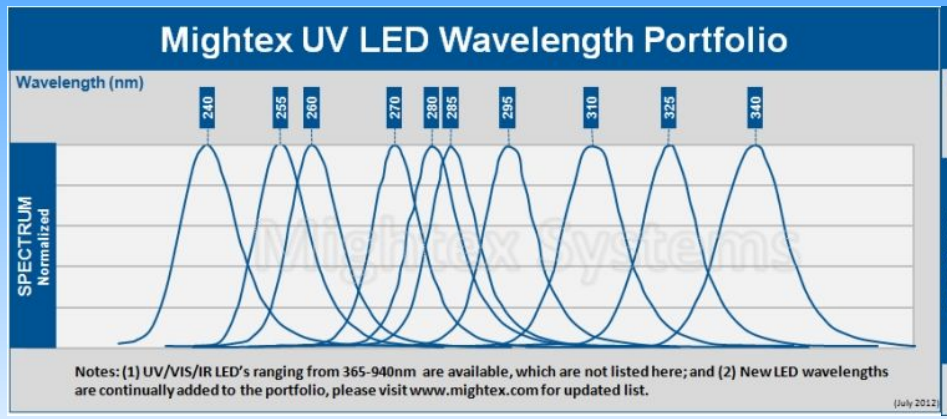
I Номинальный ток через диод

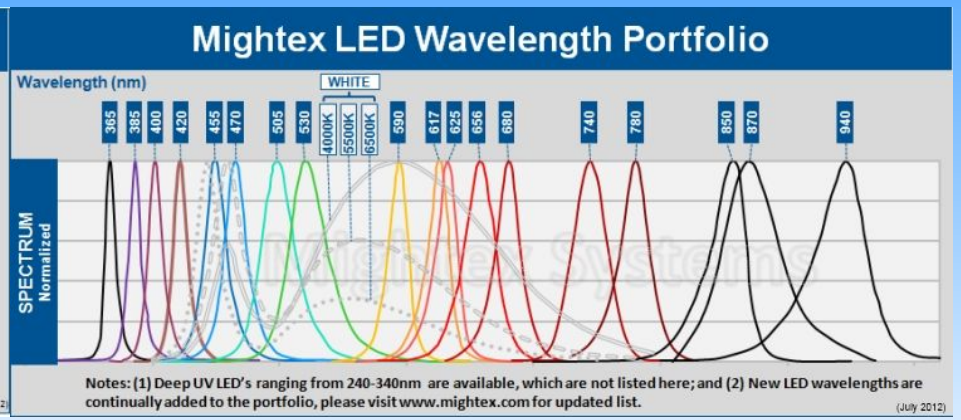
Vd Прямое напряжение на светодиоде



Светодиод. LED.

Light-Emitting Diode



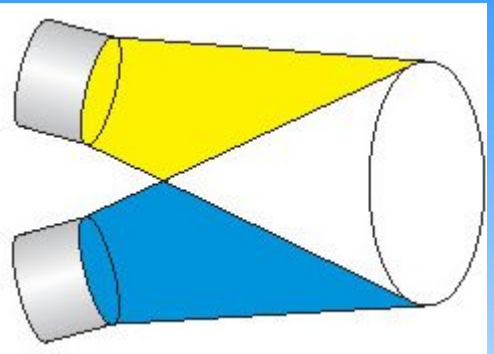


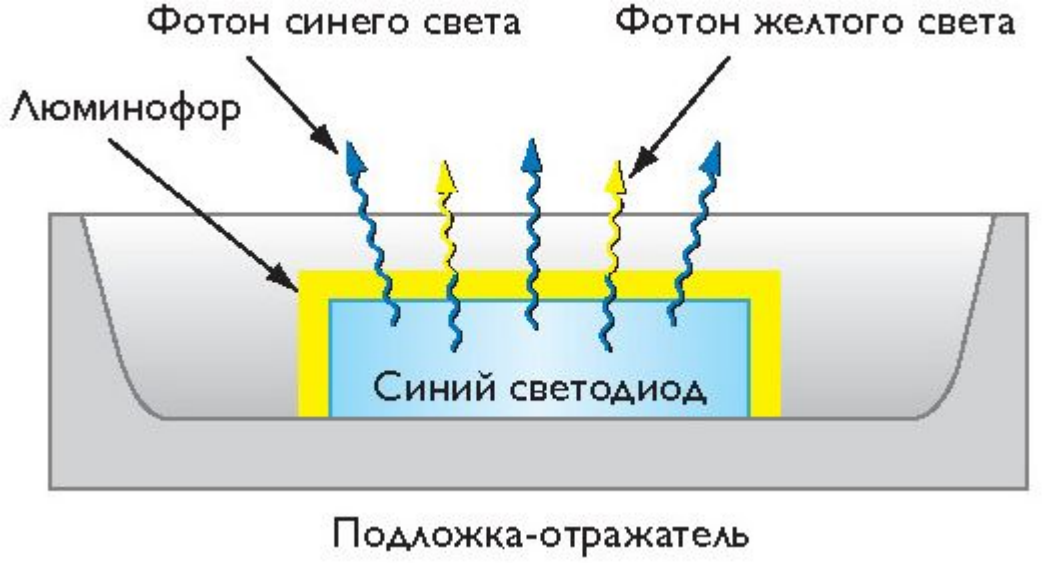
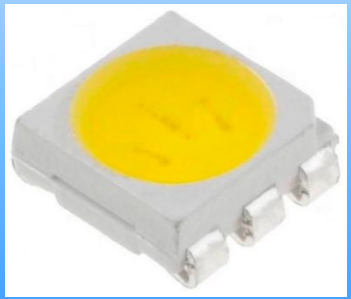
Цвет	Полупроводник	λ [nm]	Vd
High Efficiency Red	GaP	700	2÷2,5
Super Red	GaAlAs	660	1,7÷2,2
Super High Intensity Red	AlInGaP	636	2÷2,5
High Intensity Red	GaAsP	635	2÷2,5
TS AlInGaP Red	AlInGaP	630	2,2÷2,8
Super Orange	AlInGaP	610	2÷2,5
Amber	GaAsP	605	2÷2,5
Super Yellow	AlInGaP	590	2÷2,5
TS AlInGaP Yellow	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

LUMEX®
Creating LED and LCD Solutions Together™

Белый светодиод

White LED





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