

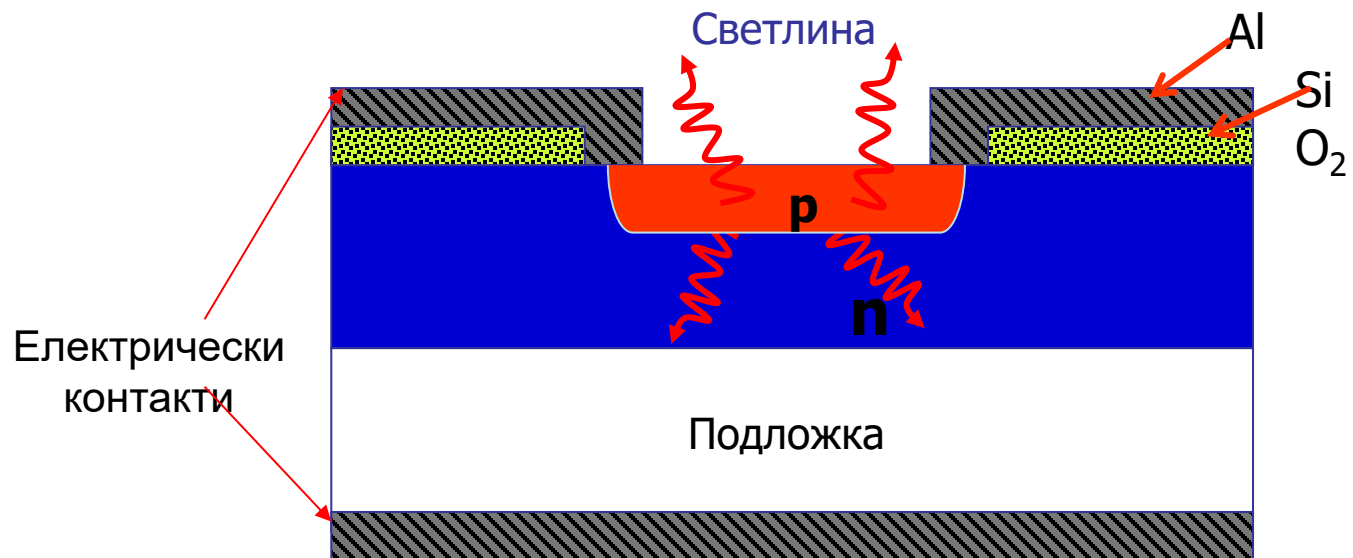
Светодиоди



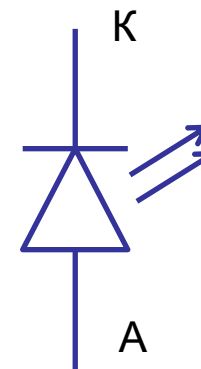
Светодиод

Light-emitting diode - LED

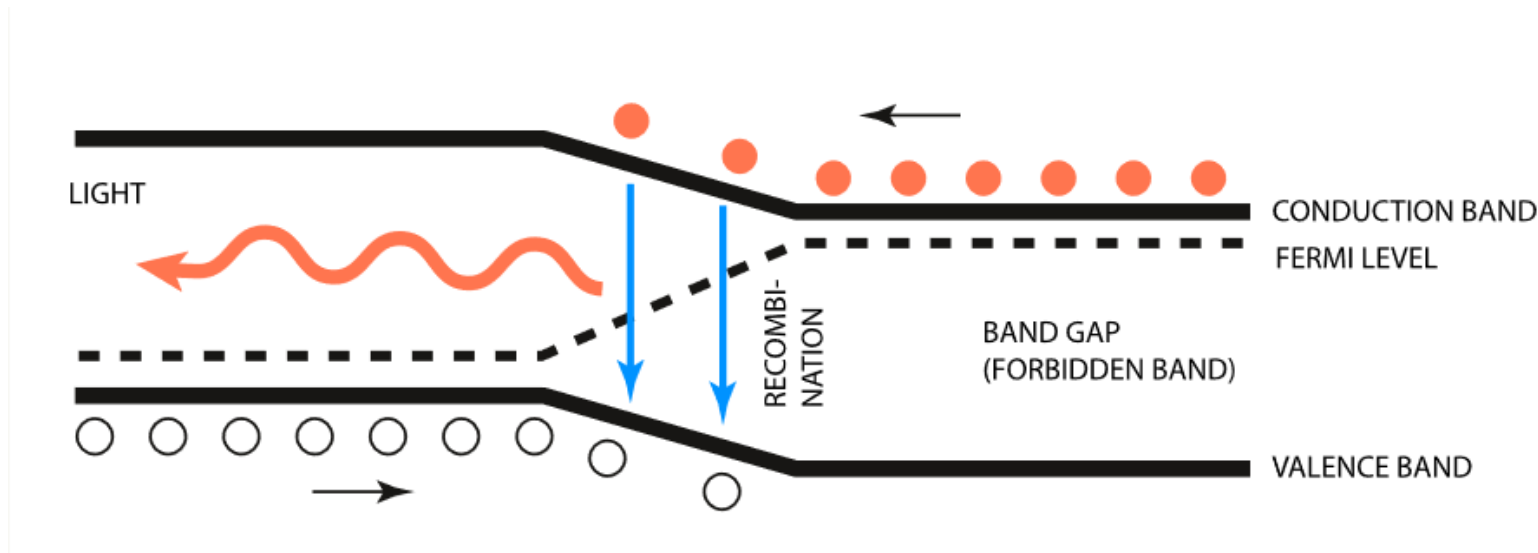
Светодиодите са елементи, които преобразуват електрическата енергия в светлина. Те имат един PN преход.



Структура на светодиод



Принцип на действие



efficiency $\approx 25\text{--}40\%$

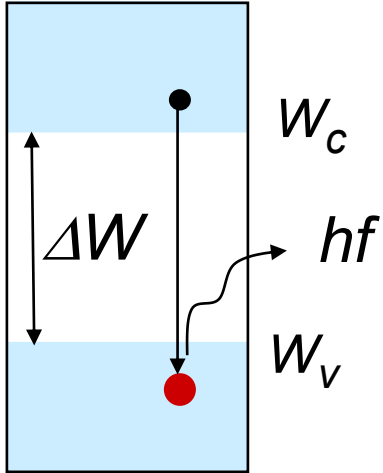
Принципът им на действие се основава на процесите на рекомбинация, протичащи в право включен *PN* преход. При право включване започва инжекция на токоносители.

Инжектираните електрони от n-областта рекомбинират с дупките от p-областта. Електроните имат по-високо енергийно ниво и при падането на нивата на дупките губят енергия.

Енергията се излъчва под формата на квантове светлина – фотони.

Явлението се нарича електролуминисценция.

Дължина на вълната



$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \Delta W$$

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta W}$$

E – енергия [J]

f – честота [Hz]

h – константа на Планк

c – скорост на светлината във вакуум

$\lambda = 380 - 760 \text{ nm}$ видима област

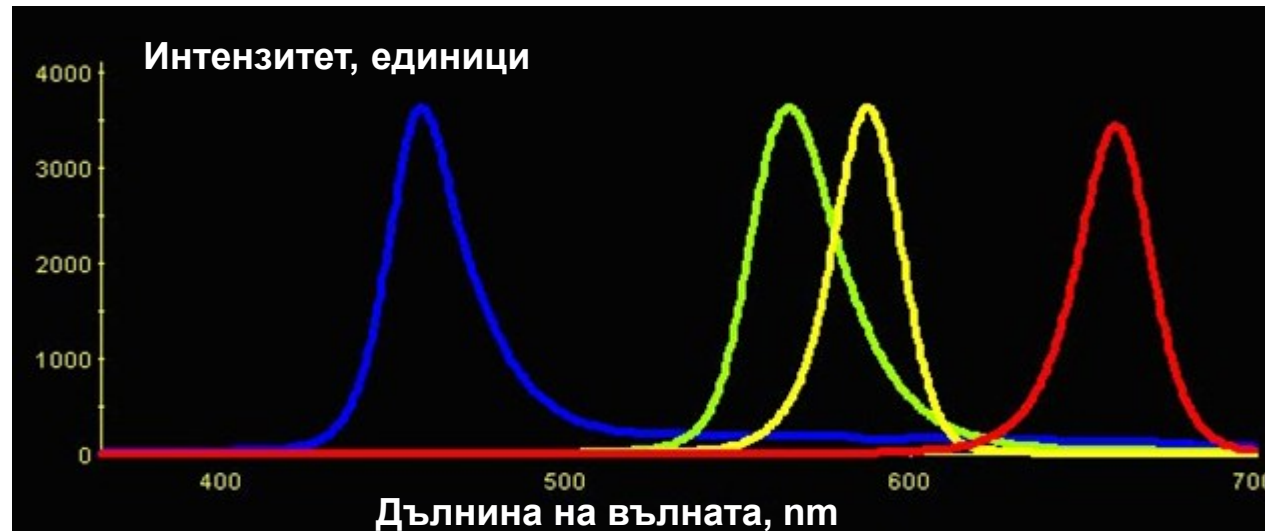
$\Delta W = 1.6 - 3.1 \text{ eV}$ (GaP, SiC, GaAlAs, GaAsP)

Колкото по-голяма е широчината на забранената зона, толкова по-голяма е енергията на излъчения фотон и толкова по-висока е честотата на излъчената светлина (респективно по-къса дължината на вълната λ).



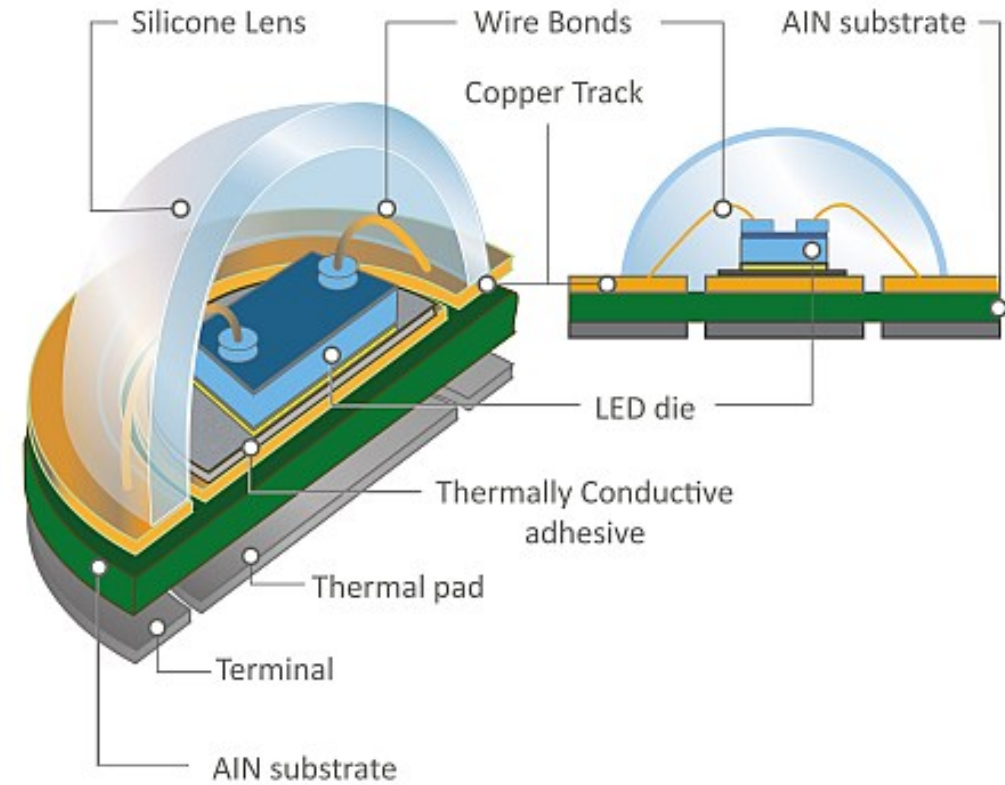
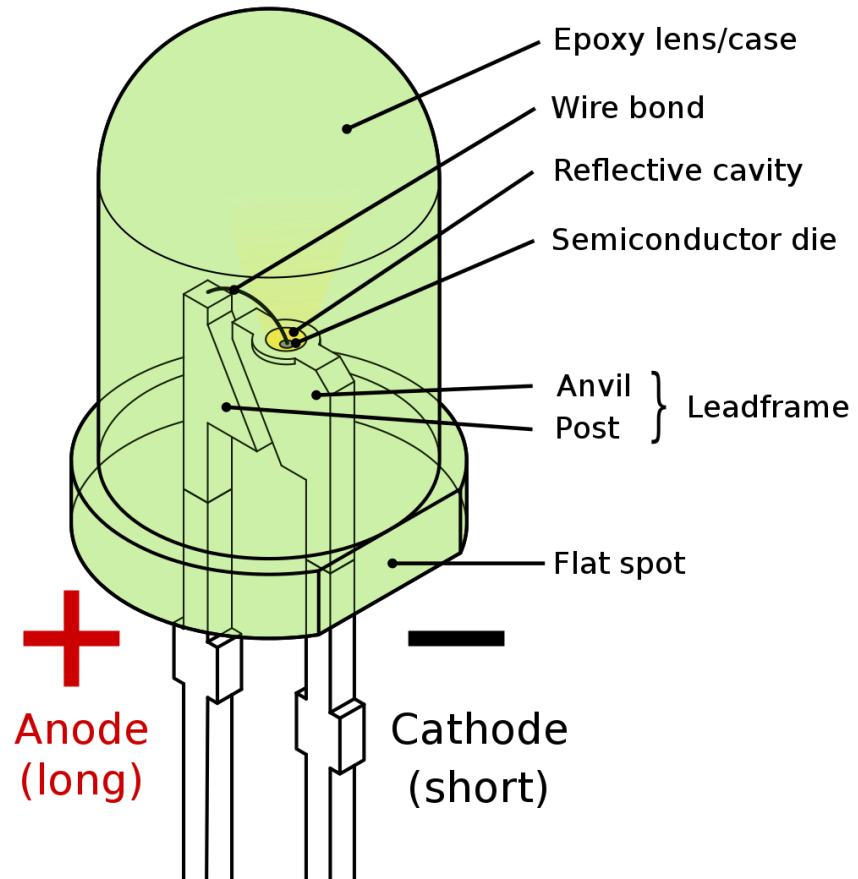
	ΔW
Violet	$\sim 3.17 \text{ eV}$
Blue	$\sim 2.73 \text{ eV}$
Green	$\sim 2.52 \text{ eV}$
Yellow	$\sim 2.15 \text{ eV}$
Orange	$\sim 2.08 \text{ eV}$
Red	$\sim 1.62 \text{ eV}$

Спектрална характеристика



Спектралната характеристика дава зависимостта на интензитета на излъчване на светодиода от дължината на вълната. Тя се определя от вида на полупроводниковия материал и легиращите примеси в него.

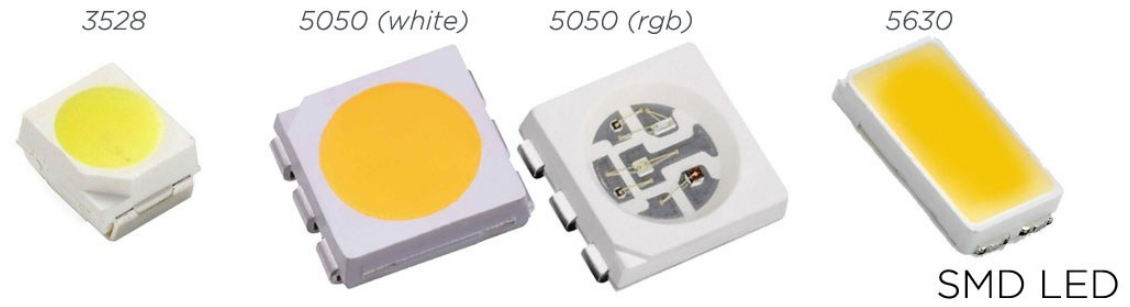
Конструкция на светодиод



Корпуси

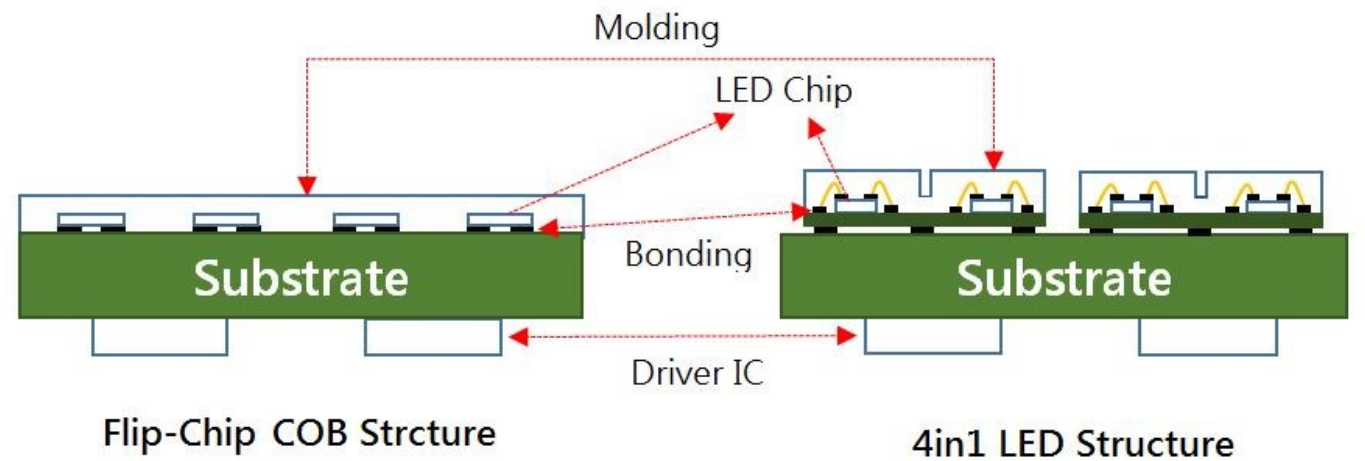


DIP – dual in-line package

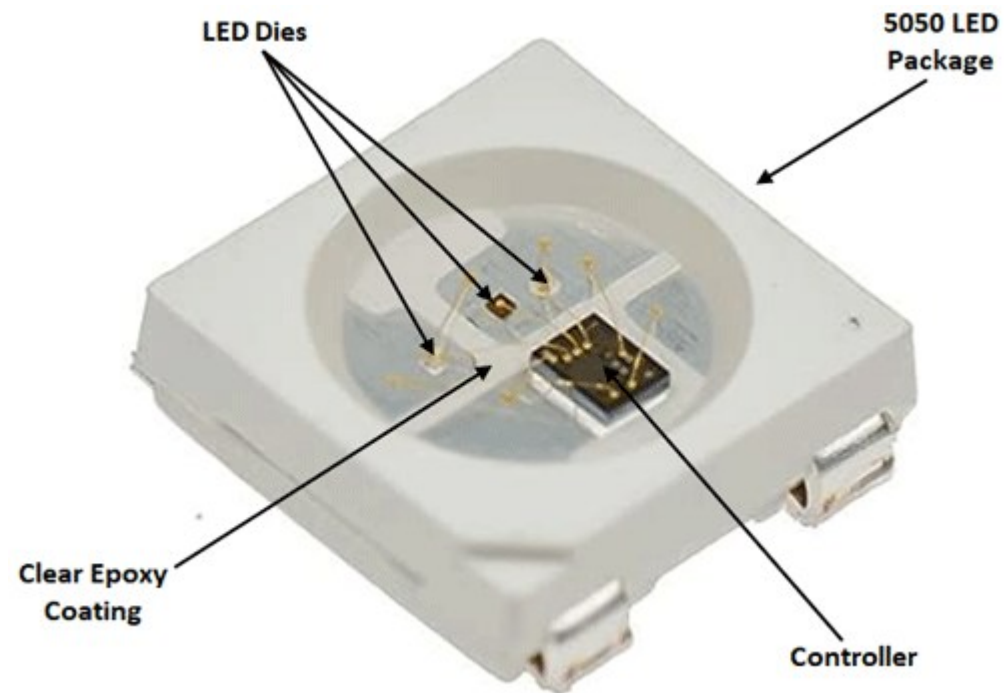
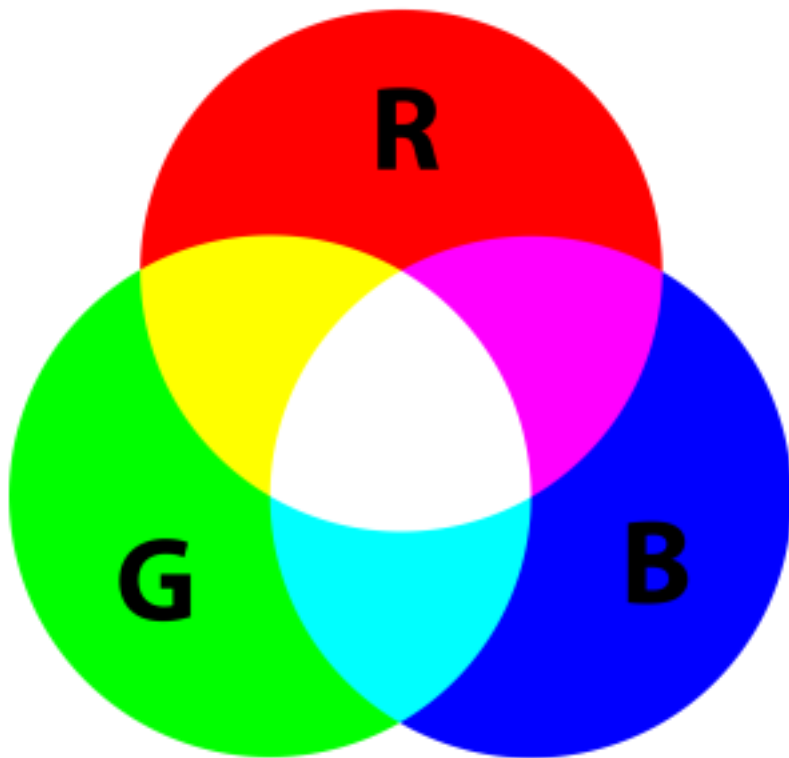


Surface-Mounted Device (SMD)



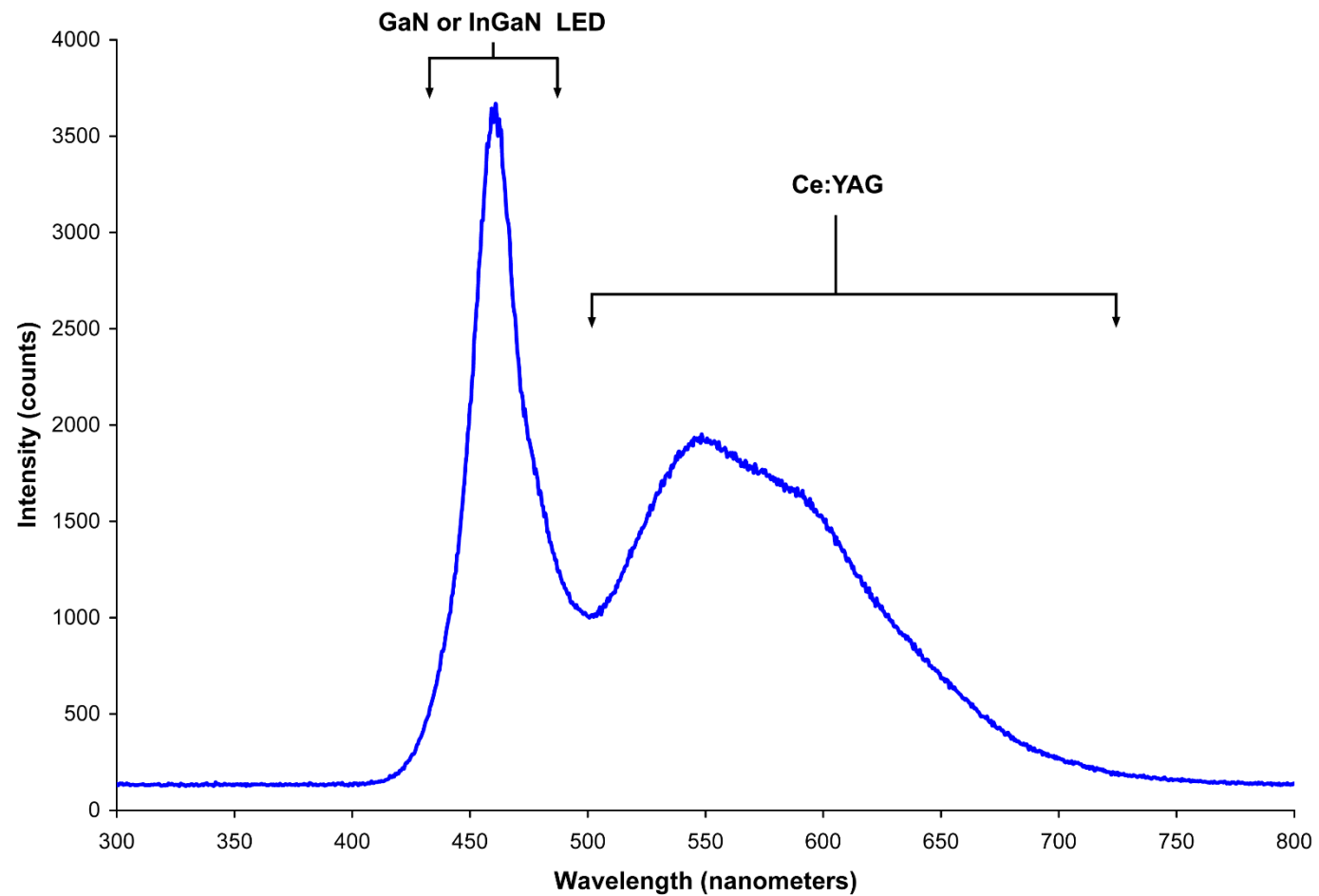


RGB светодиод



Не е практичен за масови осветителни тела поради висока цена

Бял светодиод – син LED + “фосфор”



Бял светодиод – LED + “фосфор”



Син LED + жълт фосфор



UV-LED + RGB фосфор

Нобелова награда за физика - 2014

“for the invention of **efficient** blue light-emitting diodes which has enabled bright and energy-saving white light sources”



© Nobel Media AB. Photo: A.
Mahmoud
Isamu Akasaki



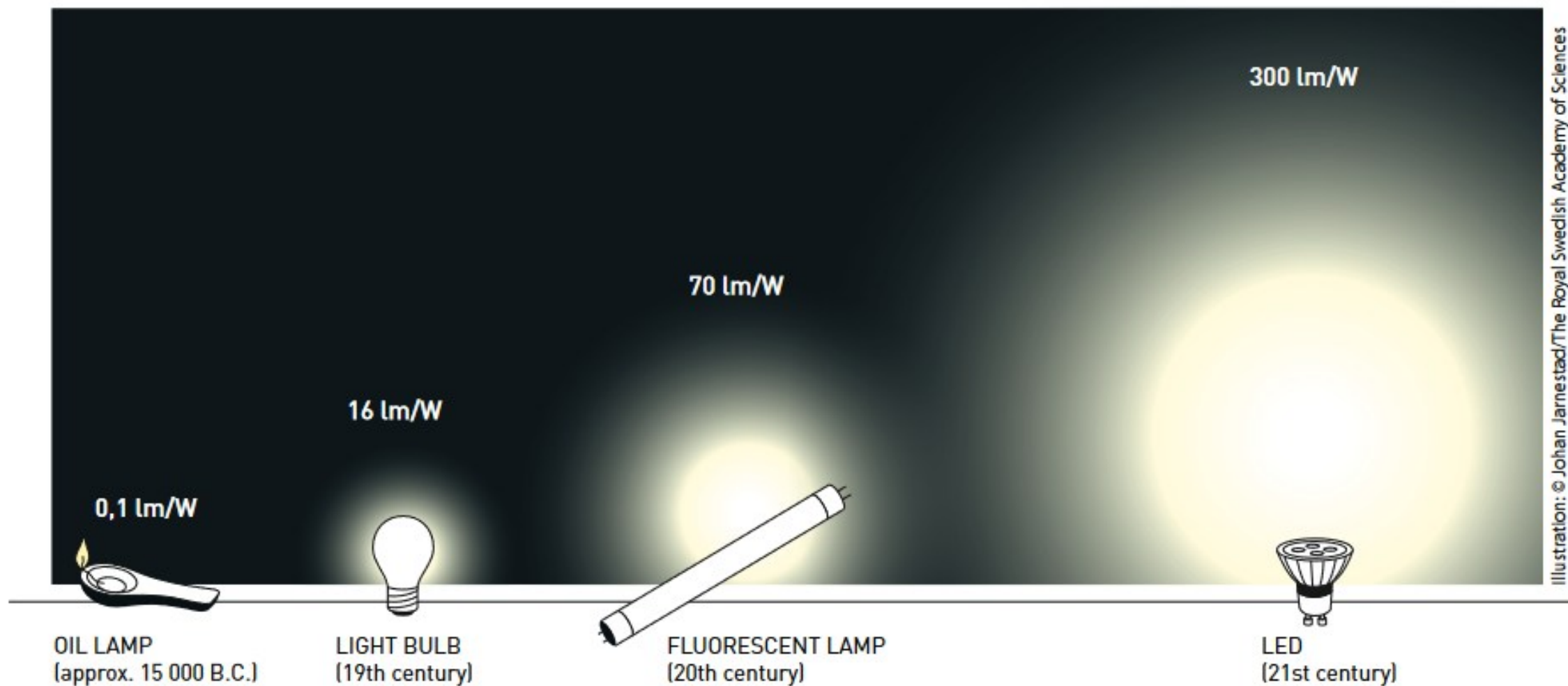
© Nobel Media AB. Photo: A.
Mahmoud
Hiroshi Amano



© Nobel Media AB. Photo: A.
Mahmoud
Shuji Nakamura

Why It Was Almost Impossible to Make the Blue LED <https://www.youtube.com/watch?v=AF8d72mA41M>

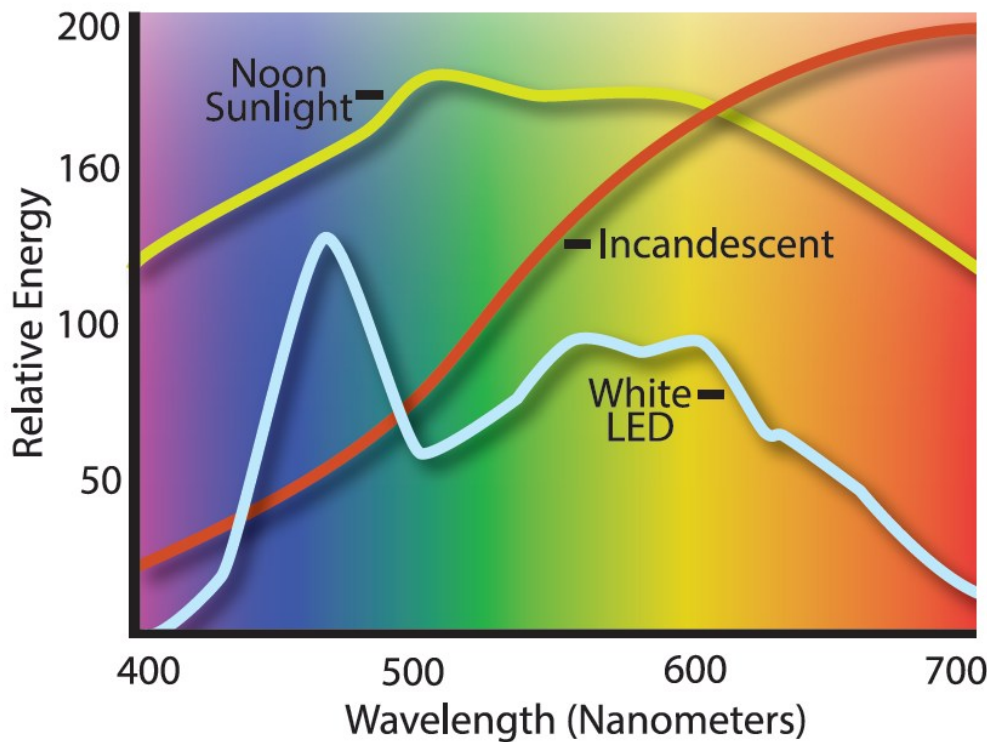
Ефективност на светлинните източници



Лумен (символ lm) е единицата за светлинен поток (т.е. количеството светлина, излъчвана от точков източник на светлина за единица време и измервано в един пространствен ъгъл от един стерadian.).

Качество на бялата светлина

Spectra From Common Sources of Visible Light

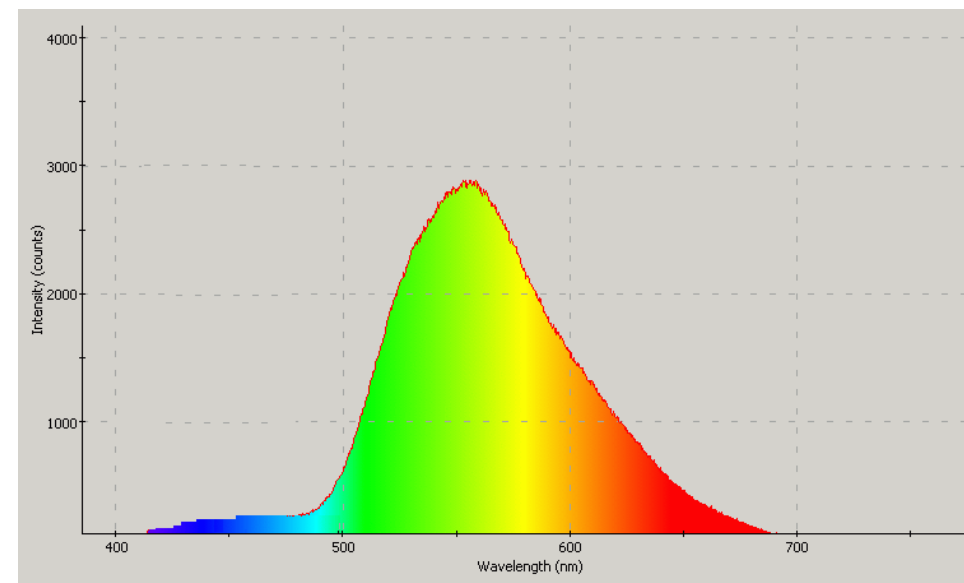
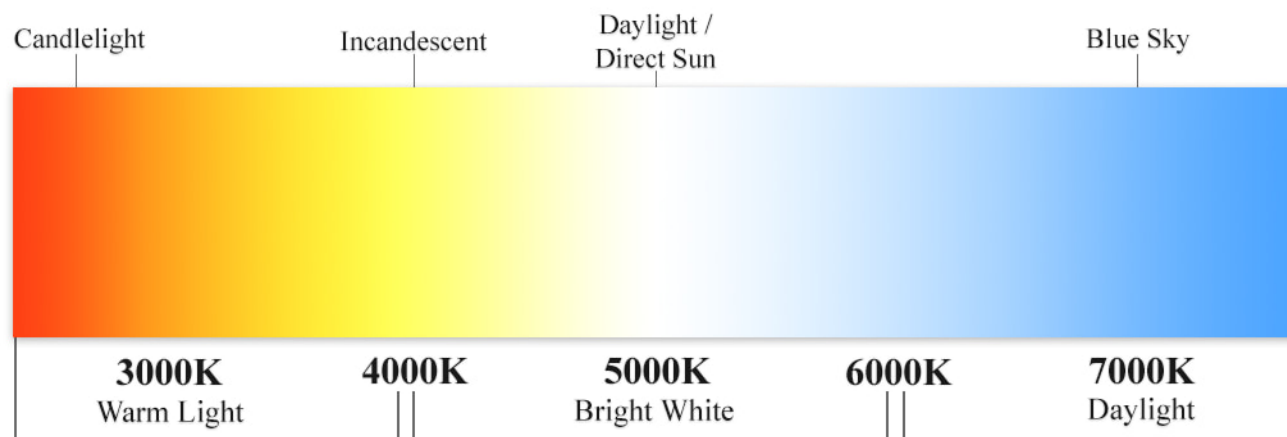


color rendering index (CRI)

Light source	CCT (K)	CRI
Low-pressure sodium (LPS/SOX)	1800	-44
High-pressure sodium (HPS/SON)	2100	24
Halophosphate warm-white fluorescent	2940	51
Halophosphate cool-white fluorescent	4230	64
Halophosphate cool-daylight fluorescent	6430	76
Standard LED Lamp	2700–5000	83
High-CRI LED lamp (blue LED)	2700–5000	95
Ceramic discharge metal-halide lamp	5400	96
Ultra-high-CRI LED lamp (violet LED)	2700–5000	99
Incandescent/halogen bulb	3200	100

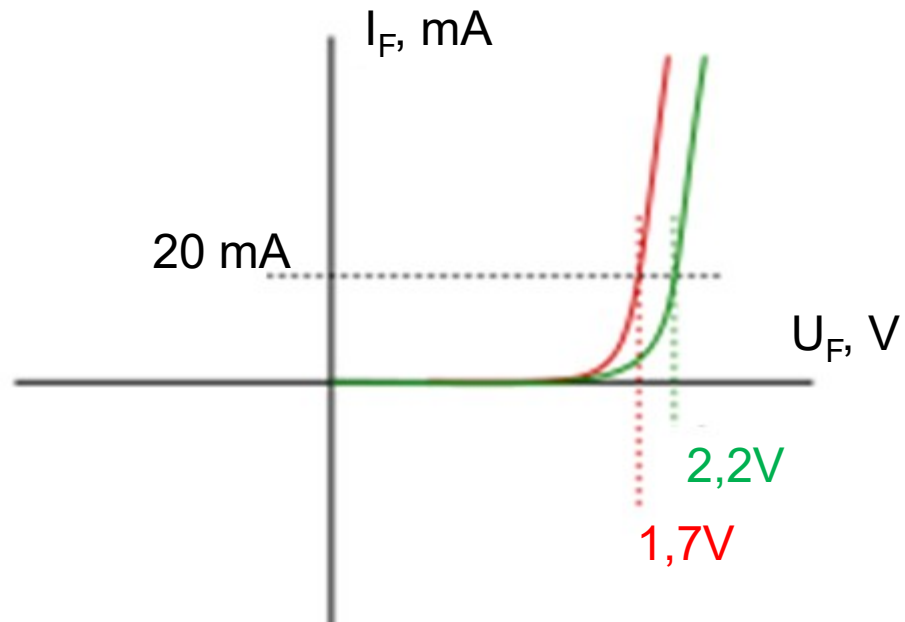
Цветна температура

Color Temperature Scale



Чувствителност на човешкото око към
цвета на светлината

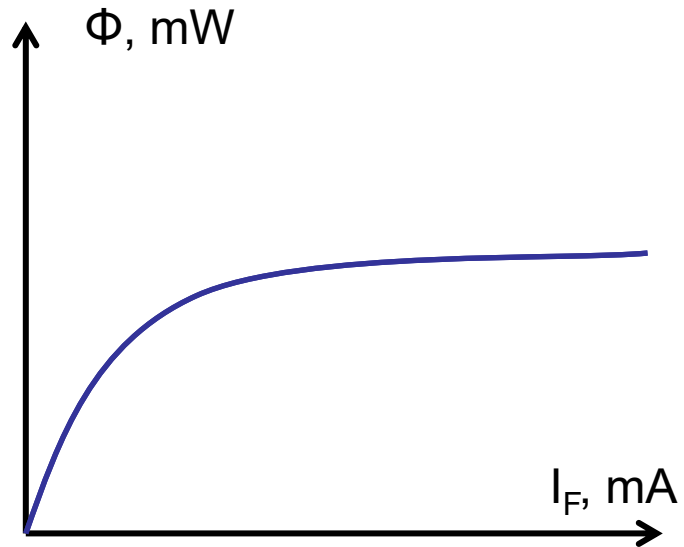
VA характеристика



Поради по-широката забранена зона на материалите, светодиодите имат значително по-голям пад в права посока от Ge и Si изправителни диоди.

VA характеристика на червен и зелен светодиод

Светлинна характеристика

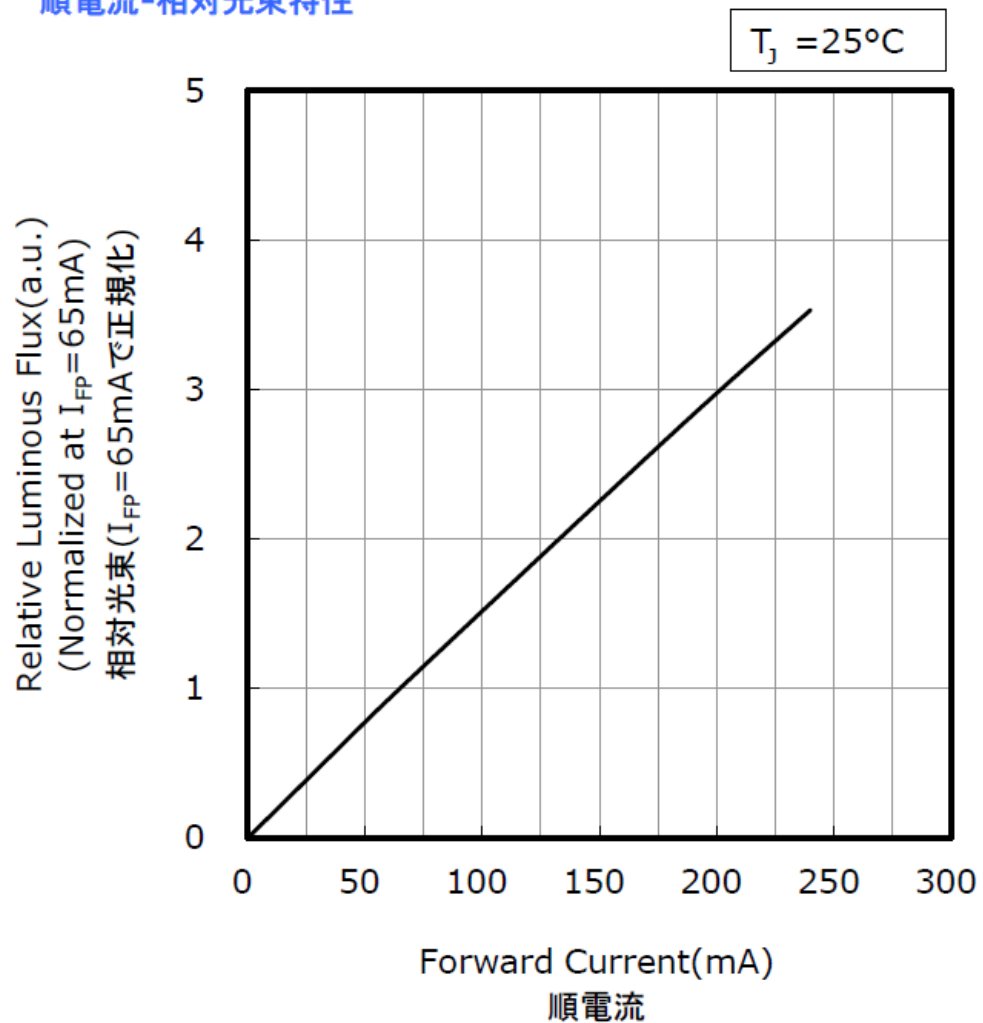


Представява зависимостта на излъчения светлинен поток Φ от тока I_F , протичащ през диода.

Областта на насищане при големи стойности на тока се дължи на нарастване на относителния дял на безизлъчвателната рекомбинация при загряване на прехода.

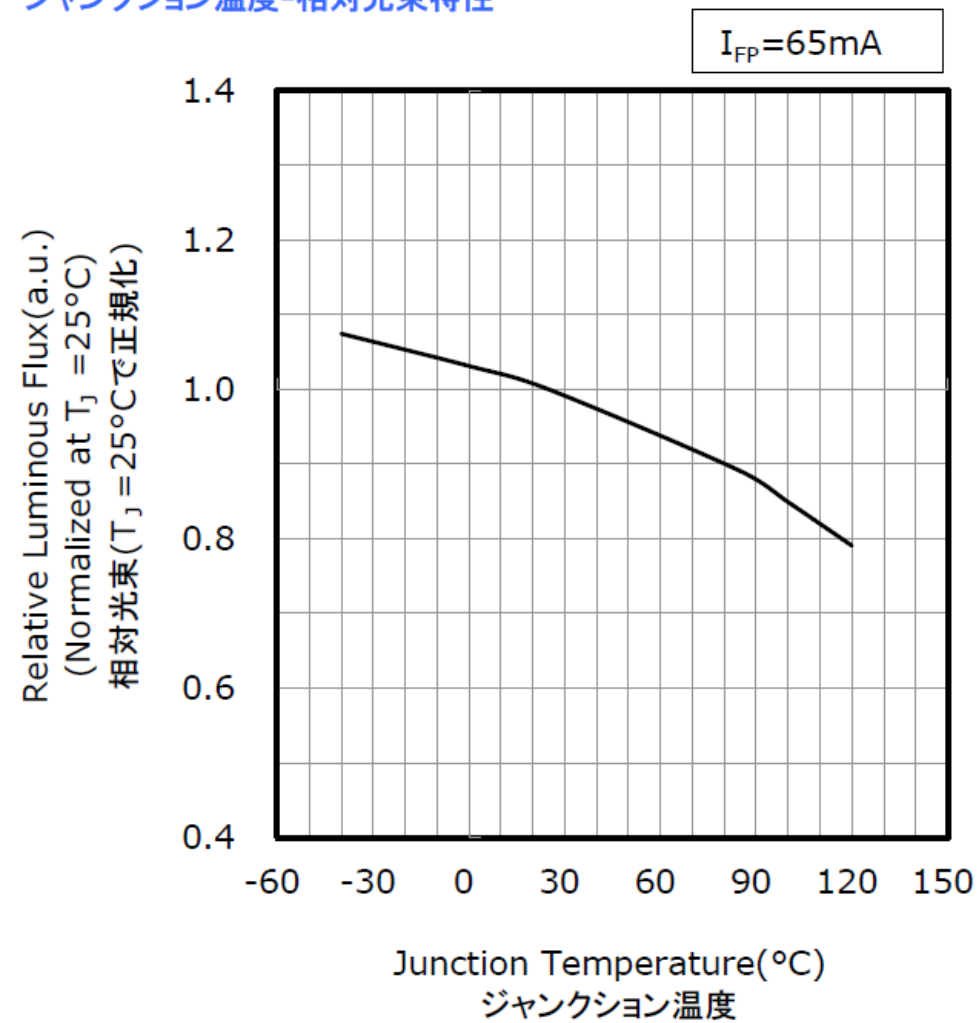
Forward Current vs Relative Luminous Flux

順電流-相対光束特性



Junction Temperature vs Relative Luminous Flux

ジャンクション温度-相対光束特性



Оразмеряване на схема със светодиод

Задача: Проектирайте схема на захранване на син (бял, червен,...) светодиод. Захранващото напрежение е 12V.

- Намерете каталожни данни и изберете **конкретен модел** светодиода.
- От каталожните данни изберете **подходящ ток през диода**. Той не трябва да надхвърля указаната максимална стойност, но и не трябва да е твърде малък защото излъчването ще е слабо.
- Скицирайте схема на свързване на светодиода.
- Оразмерете схемата

Намерете каталожни данни и изберете конкретен модел светодиода.

Google search: blue led datasheet (white led datasheet, ...)

<https://cree-led.com/media/documents/C503B-BCS-BCN-GCS-GCN-1094.pdf>

<https://www.vishay.com/docs/81159/vlhw5100.pdf>

От каталожните данни изберете подходящ ток през диода. Той не трябва да надхвърля указаната максимална стойност, но и не трябва да е твърде малък защото излъчването ще е слабо.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Items	Symbol	Absolute Maximum Rating	Unit
		Blue/Green	
Forward Current	I_F	30	mA
Peak Forward Current ^{Note1}	I_{FP}	100	mA
Reverse Voltage	V_R	5	V
Power Dissipation	P_D	120	mW
Operation Temperature	T_{opr}	-40 ~ +95	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	T_{stg}	-40 ~ +100	
Lead Soldering Temperature	T_{sol}	Max. 260 $^\circ\text{C}$ for 3 sec. max. (3 mm from the base of the epoxy body)	

Note:

1. Pulse width ≤ 0.1 msec, duty $\leq 1/10$.

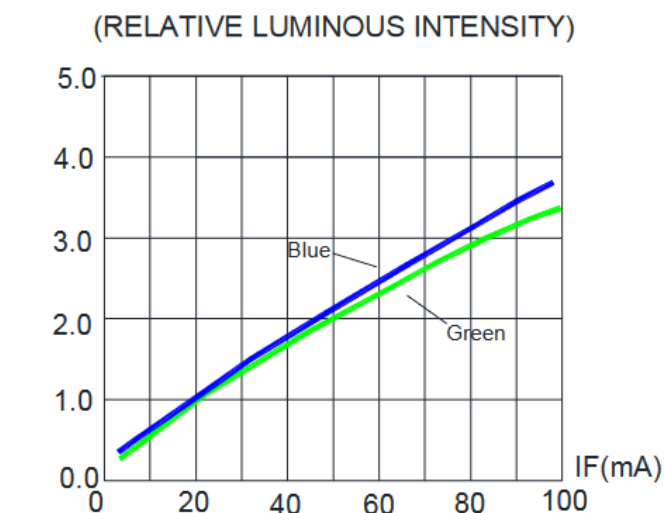


FIG.2 RELATIVE LUMINOUS INTENSITY VS. FORWARD CURRENT

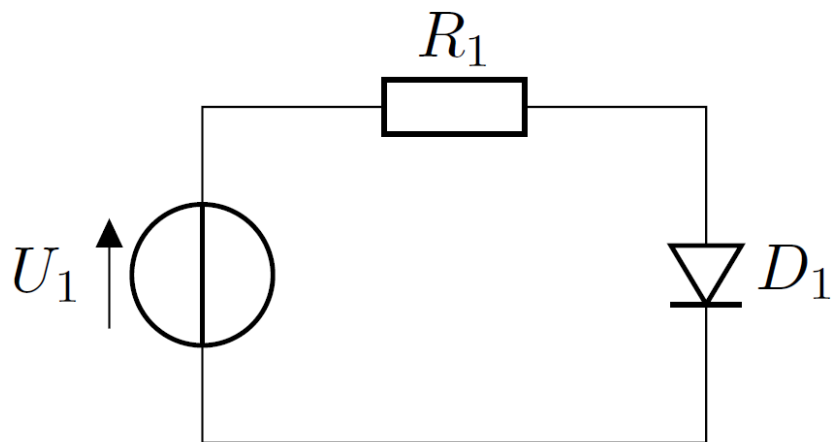
Добра идея е да изберете стойността на I_f за която са дадени типични стойност на U_f .

TYPICAL ELECTRICAL & OPTICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^{\circ}\text{C}$)

Characteristics	Color		Symbol	Condition	Unit	Minimum	Typical	Maximum
Forward Voltage	Blue/Green		V_F	$I_F = 20\text{ mA}$	V		3.2	3.6
Reverse Current	Blue/Green		I_R	$V_R = 5\text{ V}$	μA			100
Dominant Wavelength	Blue		λ_D	$I_F = 20\text{ mA}$	nm	465	470	480
	Green		λ_D	$I_F = 20\text{ mA}$	nm	520	527	535
Luminous Intensity	Blue	C503B-BCS/BCN-030	I_V	$I_F = 20\text{ mA}$	mcd	1520	4100	
	Green	C503B-GCS/GCN-030	I_V	$I_F = 20\text{ mA}$	mcd	5860	12500	
50% Power Angle	C503B-BCS/BCN/GCS/GCN-030		$2\theta_{1/2}$	$I_F = 20\text{ mA}$	deg	30		

Избираме $I_f = 20\text{mA}$, при което $U_f = 3.2\text{V}$

- Скицирайте схема на свързване на светодиод.
- Оразмерете схемата – т.е. изчислете стойността на R_1



D_1 : $I_{D1} = 20\text{mA}$, $U_{D1} = 3.2\text{V}$
 $U_1 = 12\text{V}$

означения

$I_{D1} \Rightarrow I_{D1}$

$U_{D1} \Rightarrow U_{D1}$

$R_1 = U_{R1} / I_{R1}$ – закон на Ом

$U_1 = U_{R1} + U_{D1}$ – закон на Кирхоф

$U_{R1} = U_1 - U_{D1} = 12\text{V} - 3.2\text{V} = 8.8\text{V}$

$I_{R1} = I_{D1} = 20\text{mA}$

$R_1 = 8.8\text{V} / 20\text{mA} = 0.44 \text{ k}\Omega = 440 \Omega$

$P_{R1} = U_{R1} * I_{R1} = 8.8\text{V} * 0.02\text{A} = 0.176\text{W}$

Избор на стандартна стойност на резистора

$R1 = 440\Omega$ (изчислена стойност) => избираме стандартна стойност от ред E24 $R1 = 430\Omega$, 5%

E24 values (5% tolerance)

1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.7, 3.0, 3.3, 3.6, 3.9, 4.3, 4.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2, 9.1

E48 values (2% tolerance)

1.00, 1.05, 1.10, 1.15, 1.21, 1.27, 1.33, 1.40, 1.47, 1.54, 1.62, 1.69, 1.78, 1.87, 1.96, 2.05, 2.15, 2.26, 2.37, 2.49, 2.61, 2.74, 2.87, 3.01, 3.16, 3.32, 3.48, 3.65, 3.83, 4.02, 4.22, 4.42, 4.64, 4.87, 5.11, 5.36, 5.62, 5.90, 6.19, 6.49, 6.81, 7.15, 7.50, 7.87, 8.25, 8.66, 9.09, 9.53

E96 values (1% tolerance)

1.00, 1.02, 1.05, 1.07, 1.10, 1.13, 1.15, 1.18, 1.21, 1.24, 1.27, 1.30, 1.33, 1.37, 1.40, 1.43, 1.47, 1.50, 1.54, 1.58, 1.62, 1.65, 1.69, 1.74, 1.78, 1.82, 1.87, 1.91, 1.96, 2.00, 2.05, 2.10, 2.15, 2.21, 2.26, 2.32, 2.37, 2.43, 2.49, 2.55, 2.61, 2.67, 2.74, 2.80, 2.87, 2.94, 3.01, 3.09, 3.16, 3.24, 3.32, 3.40, 3.48, 3.57, 3.65, 3.74, 3.83, 3.92, 4.02, 4.12, 4.22, 4.32, 4.42, 4.53, 4.64, 4.75, 4.87, 4.99, 5.11, 5.23, 5.36, 5.49, 5.62, 5.76, 5.90, 6.04, 6.19, 6.34, 6.49, 6.65, 6.81, 6.98, 7.15, 7.32, 7.50, 7.68, 7.87, 8.06, 8.25, 8.45, 8.66, 8.87, 9.09, 9.31, 9.53, 9.76

Числата от тези редове се умножават по степени на 10 за да се получат стойностите на съпротивленията. Например 4.3 съответства на 4.3Ω , 43Ω , 430Ω , $4.3k\Omega$, $43k\Omega$, $430k\Omega$ и т.н.



1/8 Watt Resistors



1/4 Watt Resistors



1/2 Watt Resistors



1 Watt Resistors



2 Watt Resistors



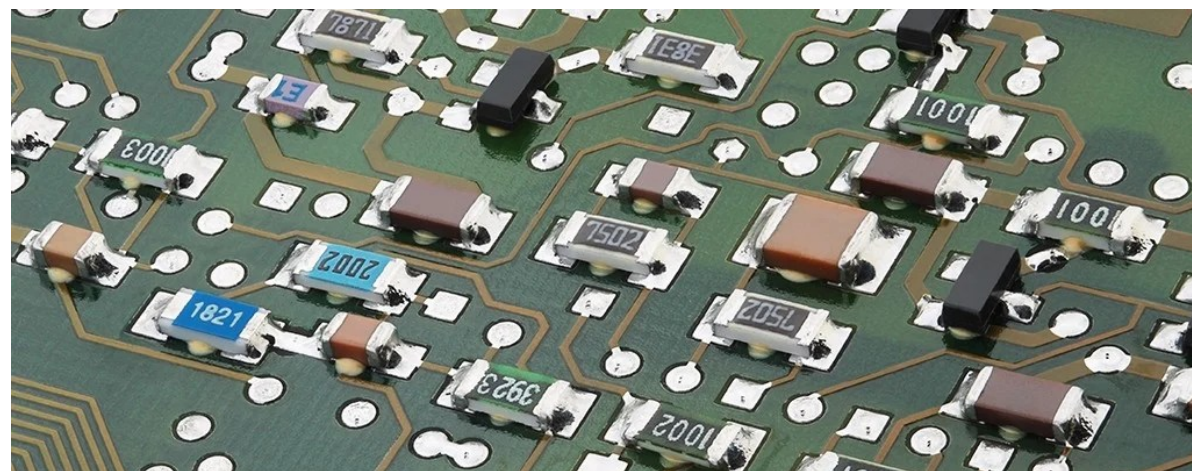
5 Watt Resistor



Code		Length (l)		Width (w)		Height (h)		Power
Imperial	Metric	inch	mm	inch	mm	inch	mm	Watt
0201	0603	0.024	0.6	0.012	0.3	0.01	0.25	1/20 (0.05)
0402	1005	0.04	1.0	0.02	0.5	0.014	0.35	1/16 (0.062)
0603	1608	0.06	1.55	0.03	0.85	0.018	0.45	1/10 (0.10)
0805	2012	0.08	2.0	0.05	1.2	0.018	0.45	1/8 (0.125)
1206	3216	0.12	3.2	0.06	1.6	0.022	0.55	1/4 (0.25)
1210	3225	0.12	3.2	0.10	2.5	0.022	0.55	1/2 (0.50)
1812	3246	0.12	3.2	0.18	4.6	0.022	0.55	1
2010	5025	0.20	5.0	0.10	2.5	0.024	0.6	3/4 (0.75)
2512	6332	0.25	6.3	0.12	3.2	0.024	0.6	1

$$P_R = U_R \cdot I_R = 8.8V \cdot 0.02A = 0.176W$$

Избираме 1/4W резистор



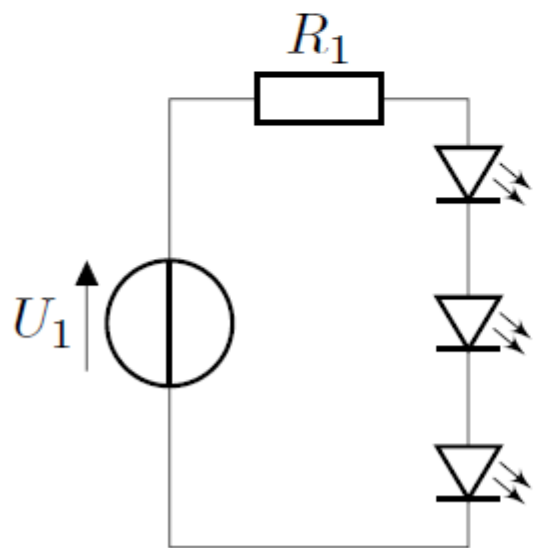
Задача: Да се оразмери схемата, така че през диодите да тече ток 20mA.

От графиката: $I_f = 20\text{mA} \rightarrow U_f = 3.5\text{V}$

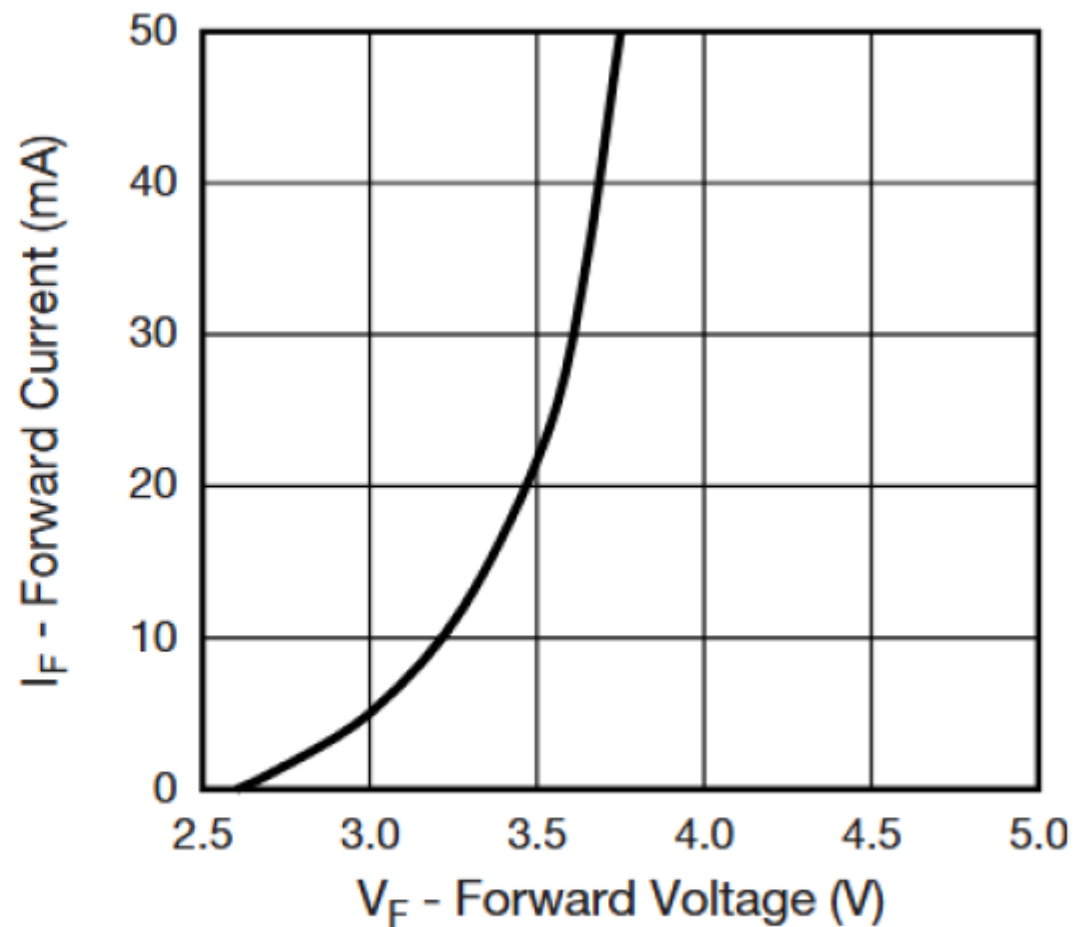
$$U_{R1} = U_1 - 3 \cdot U_f = 12 - 10.5 = 1.5\text{V}$$

$$R1 = U_{R1} / I_{R1} = U_{R1} / I_f = 1.5\text{V} / 20\text{mA} = 0.075\text{ k}\Omega = 75\text{ }\Omega$$

$$P_{R1} = U_{R1} \cdot I = 1.5\text{V} \cdot 20\text{mA} = 30\text{mW}$$



(a) $U_1 = 12\text{V}$, $R_1 = ?$



(б) Волт-амперна характеристика на светодиод

Допълнителни ресурси

- How Resistor Work <https://www.youtube.com/watch?v=DYcLFHgVCn0>
- How LED Works <https://www.youtube.com/watch?v=O8M2z2hIbag>
- Why It Was Almost Impossible to Make the Blue LED <https://www.youtube.com/watch?v=AF8d72mA41M>
- How Blue LEDs Were Invented <https://www.youtube.com/watch?v=yoTALRhAqWc&t=0s>