

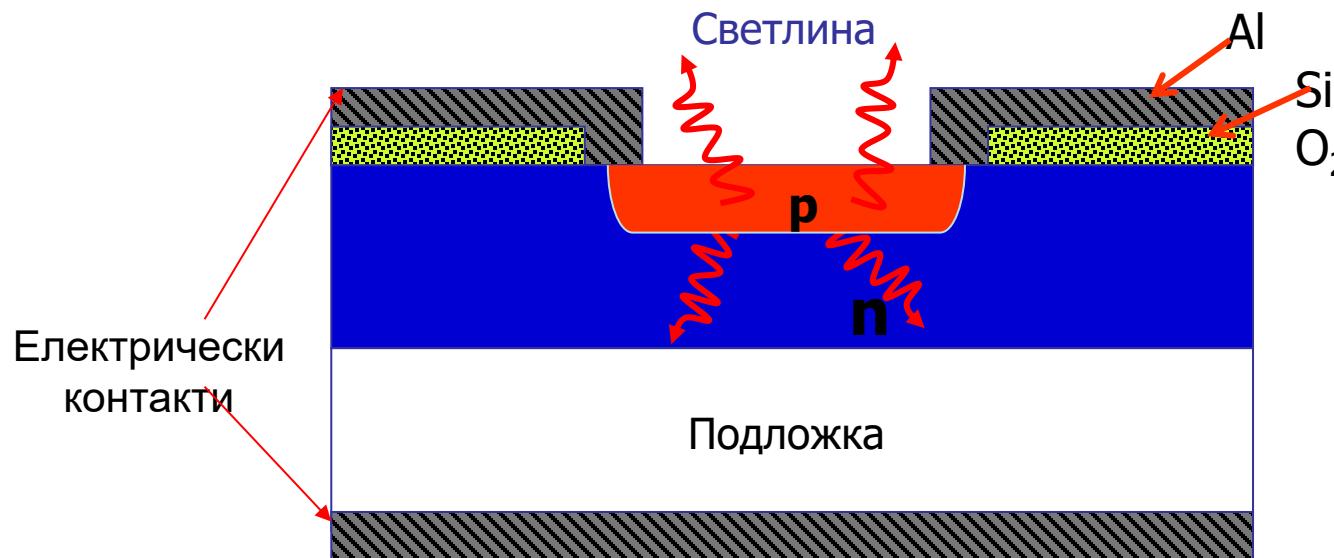
# Светодиоди



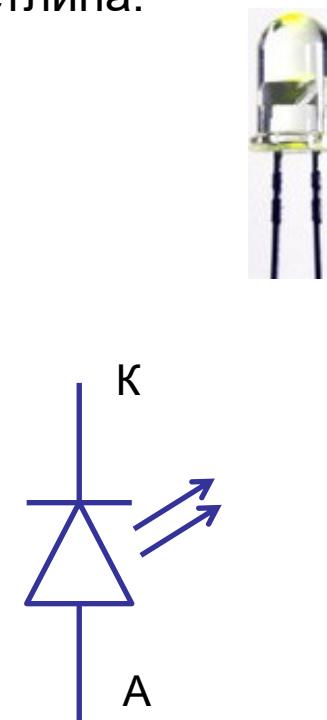
# Светодиод

## Light-emitting diode - LED

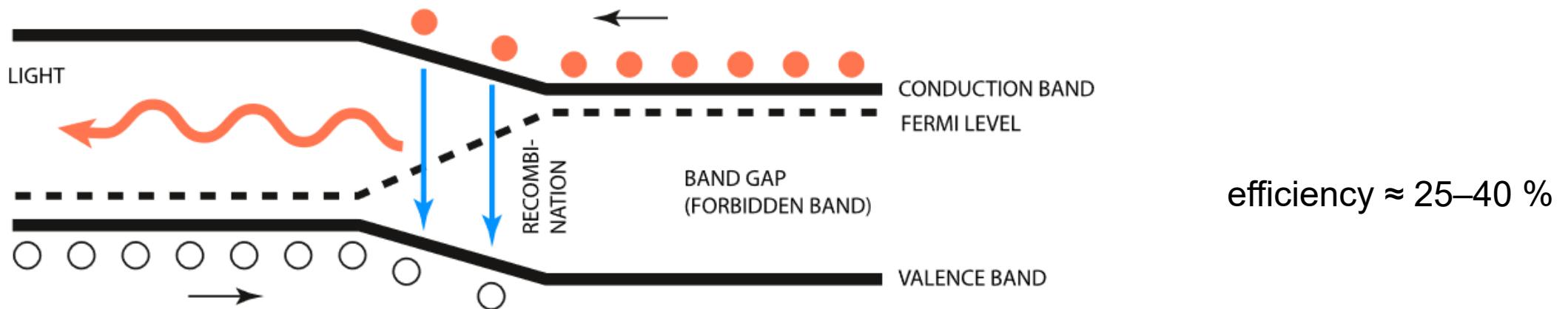
Светодиодите са елементи, които преобразуват електрическата енергия в светлина.  
Те имат един *PN* преход.



Структура на светодиод



# Принцип на действие



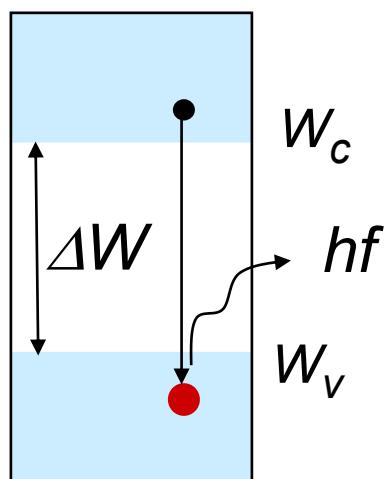
Принципът им на действие се основава на процесите на рекомбинация, протичащи в право включен  $PN$  преход. При право включване започва инжекция на токоносители.

Инжектираният електрон от n-областта рекомбинира 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



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

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

$\lambda = 380 - 760 \text{ nm}$  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 й).

$E$  – енергия [J]

$f$  – честота [Hz]

$h$  – константа на Планк

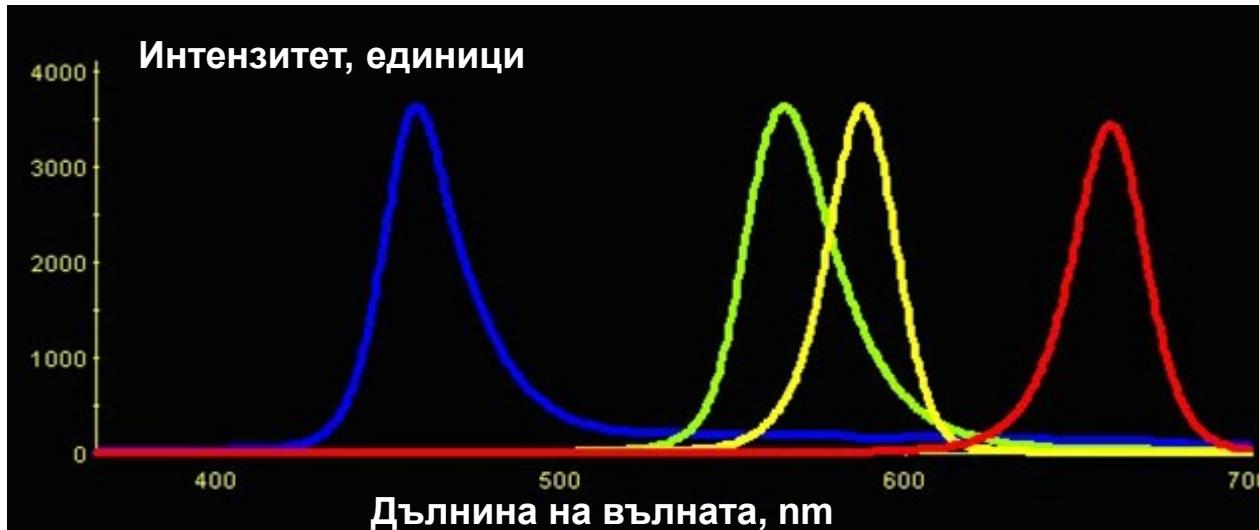
$c$  – скорост на светлината във вакуум



$\Delta W$

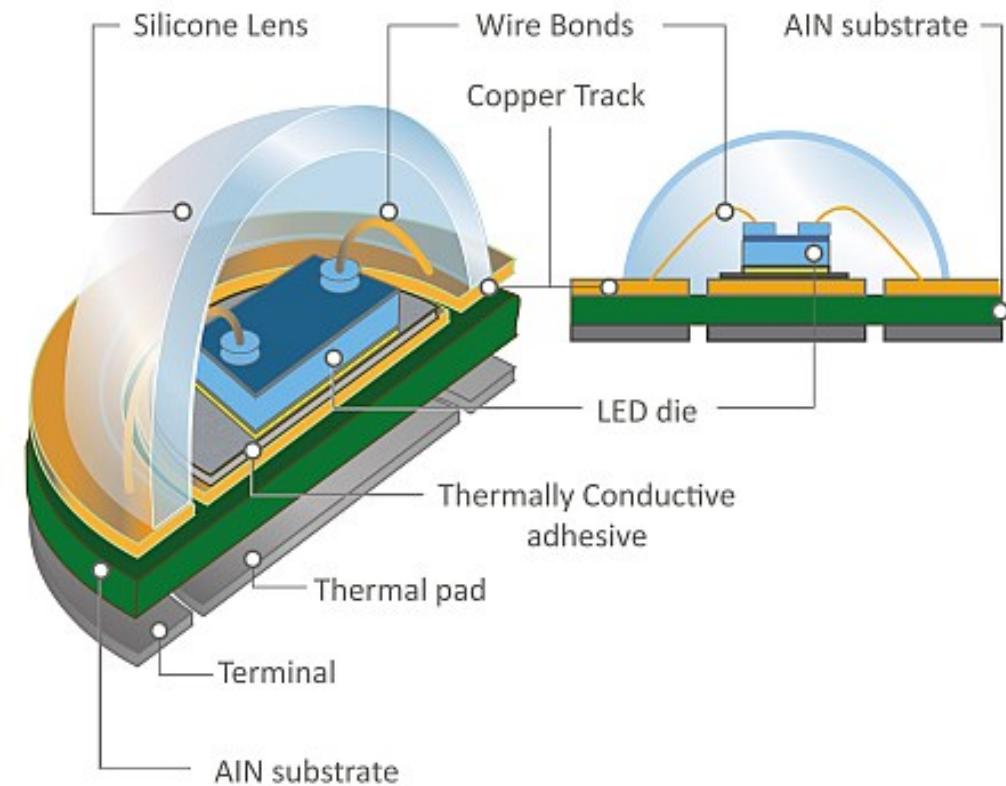
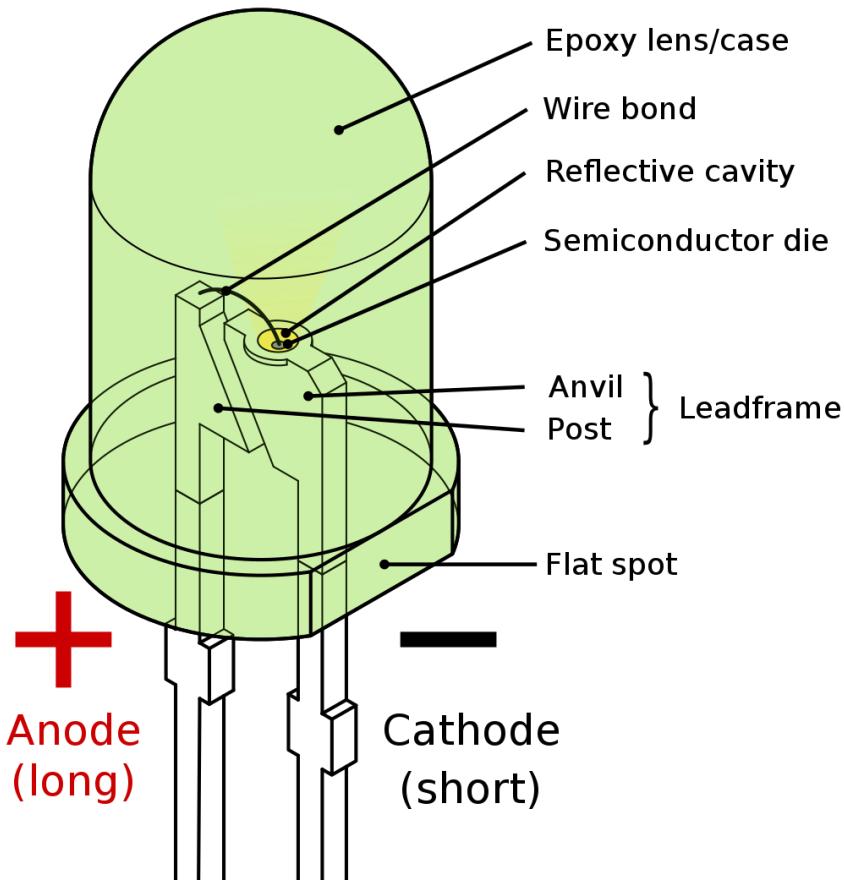
<b>Violet</b>	$\sim 3.17 \text{ eV}$
<b>Blue</b>	$\sim 2.73 \text{ eV}$
<b>Green</b>	$\sim 2.52 \text{ eV}$
<b>Yellow</b>	$\sim 2.15 \text{ eV}$
<b>Orange</b>	$\sim 2.08 \text{ eV}$
<b>Red</b>	$\sim 1.62 \text{ eV}$

## 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

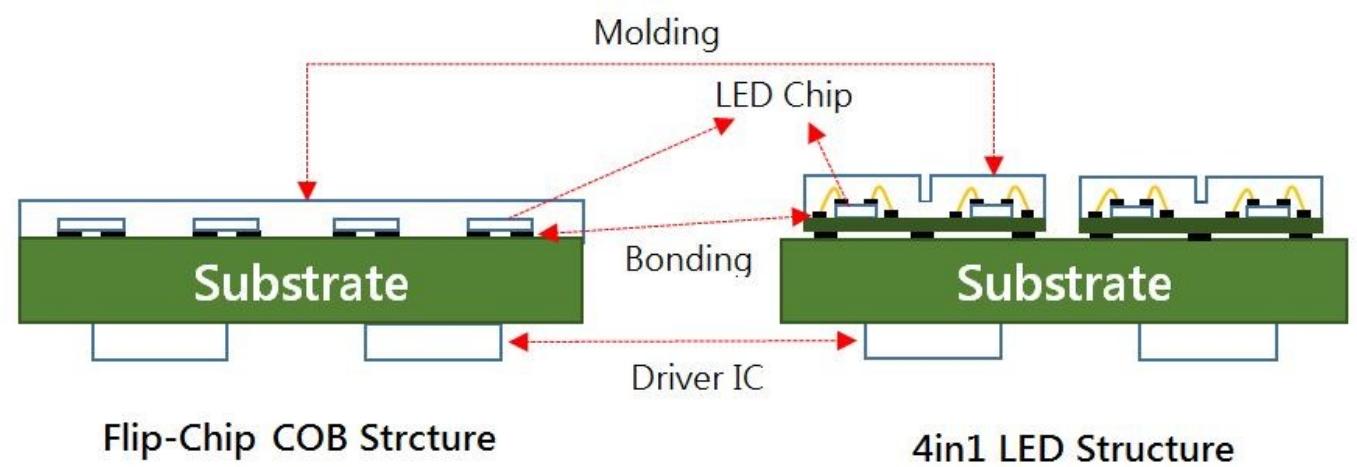


DIP – dual in-line package

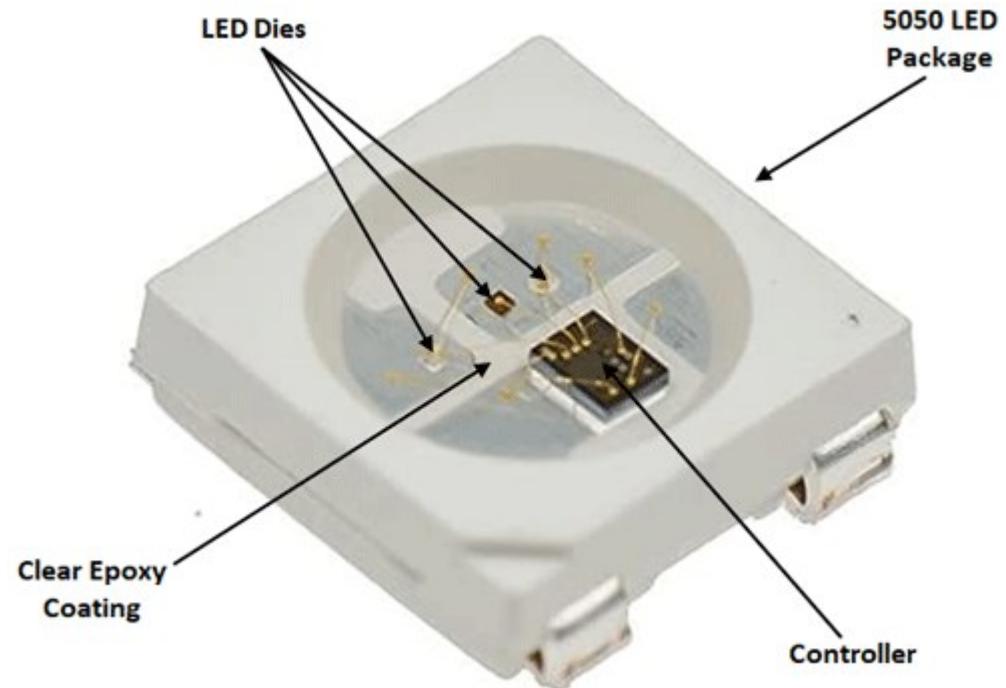
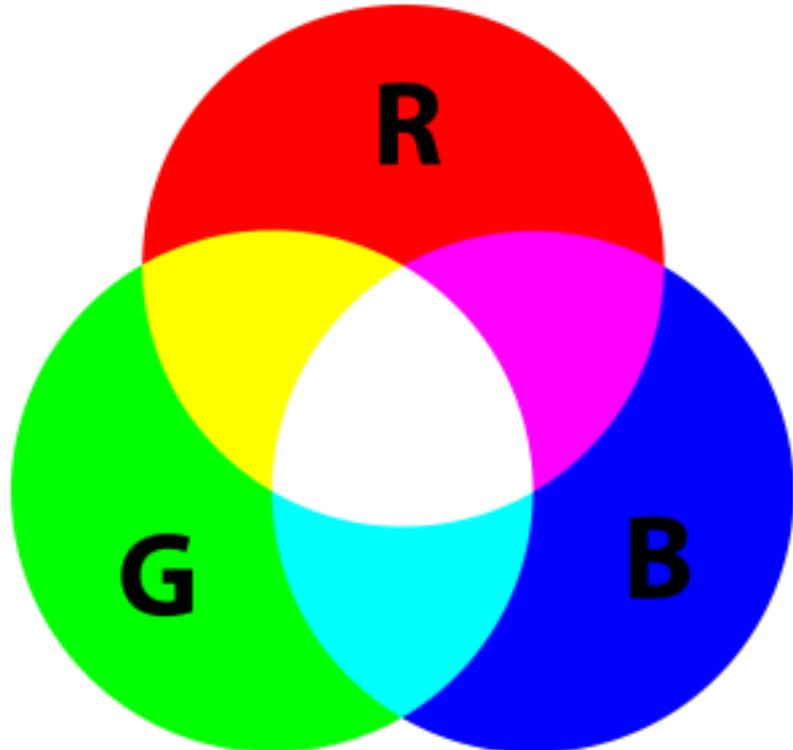


Surface-Mounted Device (SMD)



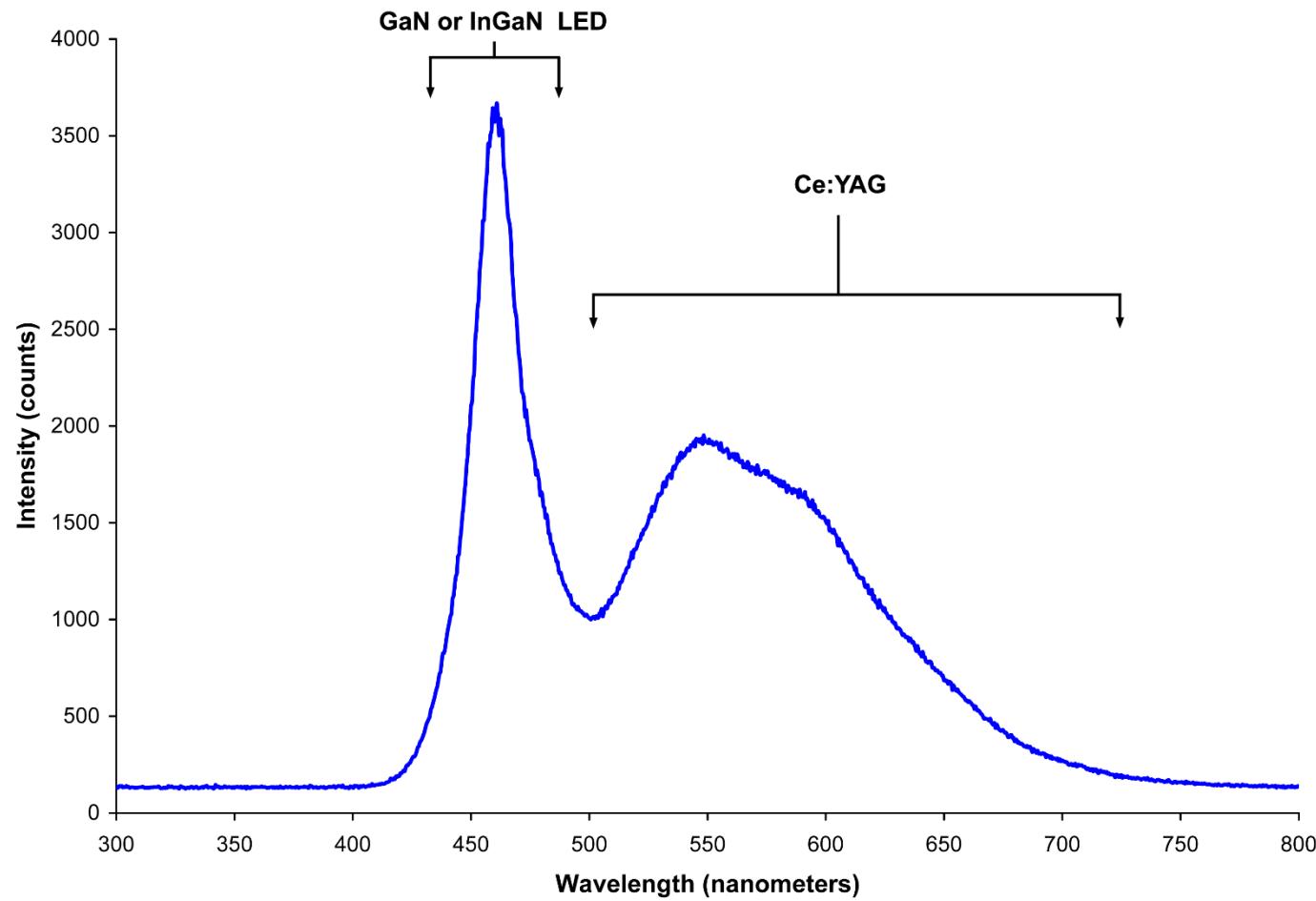


# RGB светодиод



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**



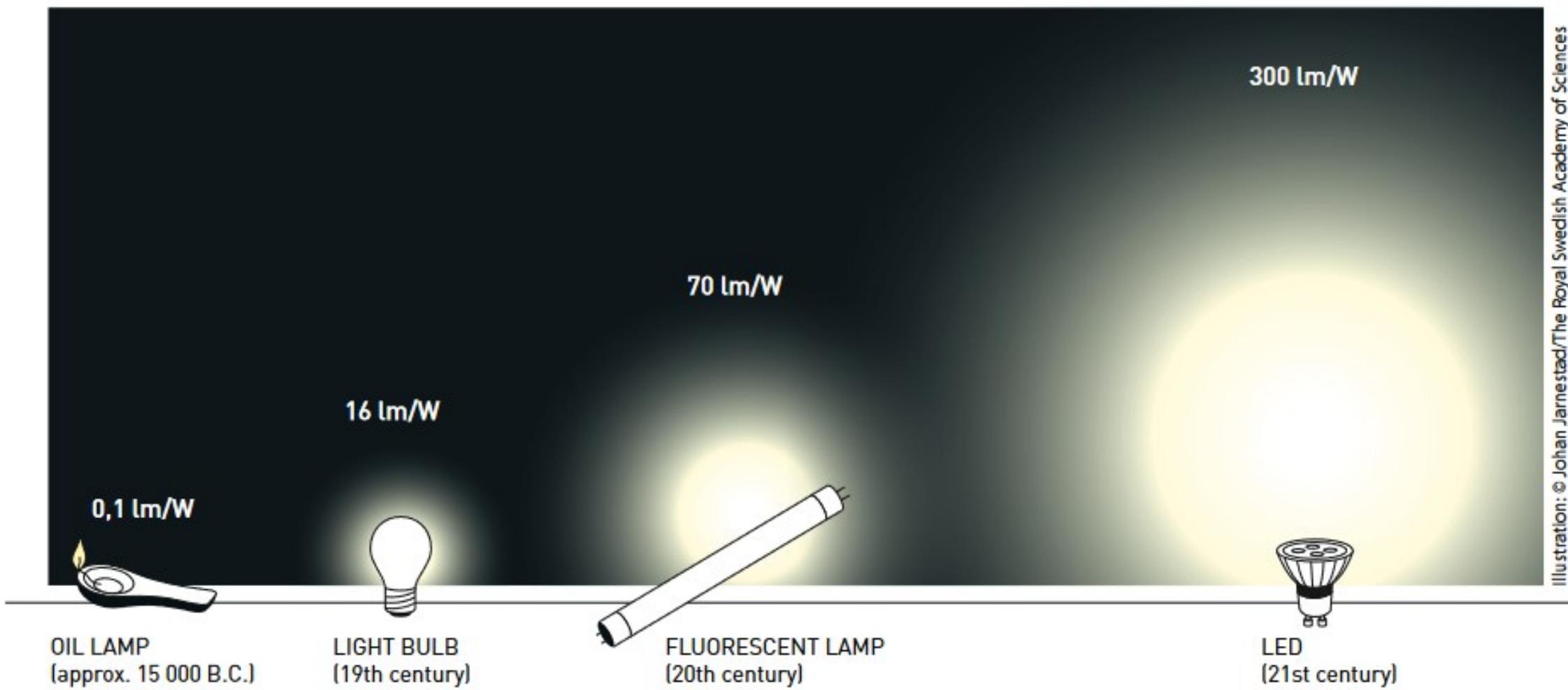
© Nobel Media AB. Photo: A.  
Mahmoud  
**Hiroshi Amano**



© 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

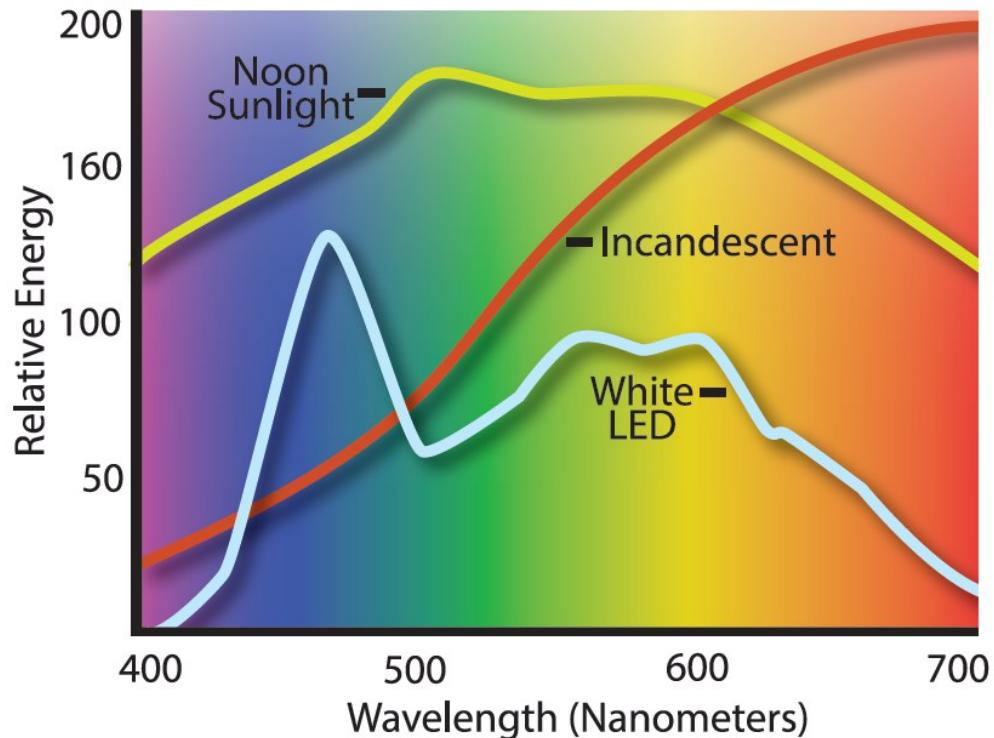


Лumen (символ lm) е единицата за светлинен поток (т.е. количеството светлина, излъчвана от точков източник на светлина за единица време и измервано в един пространствен ъгъл от един стердиан.).

# Качество на бялата светлина

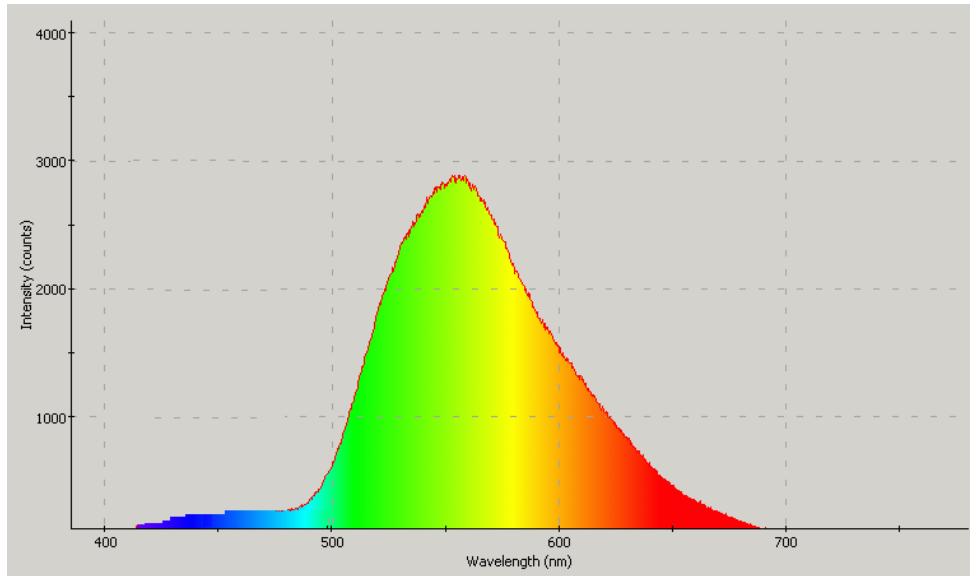
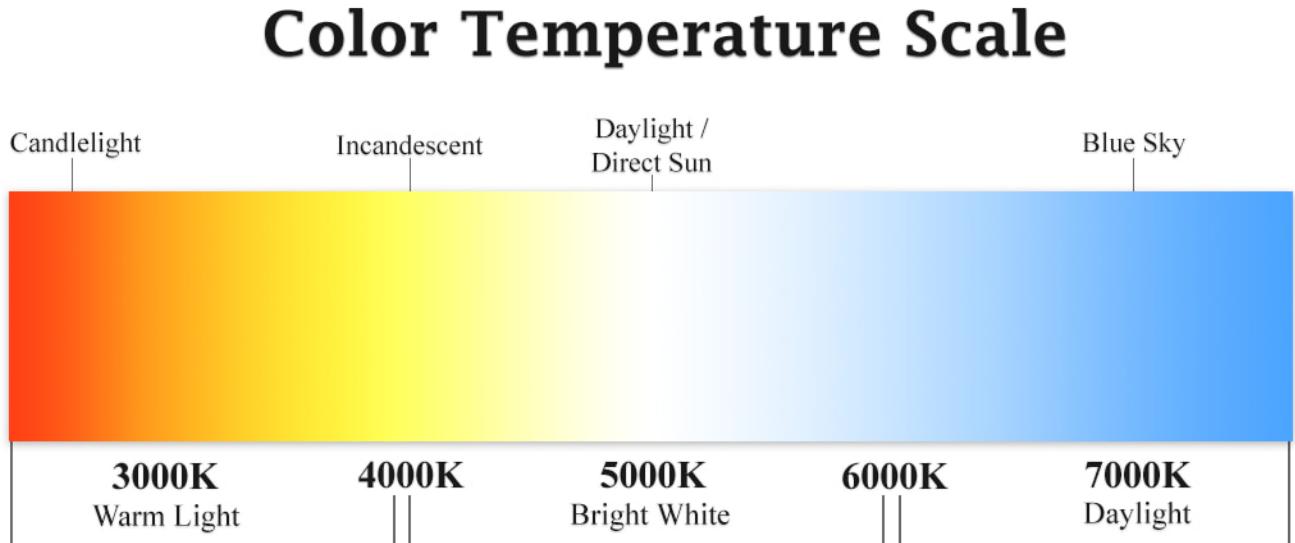
color rendering index (CRI)

Spectra From Common Sources of Visible Light



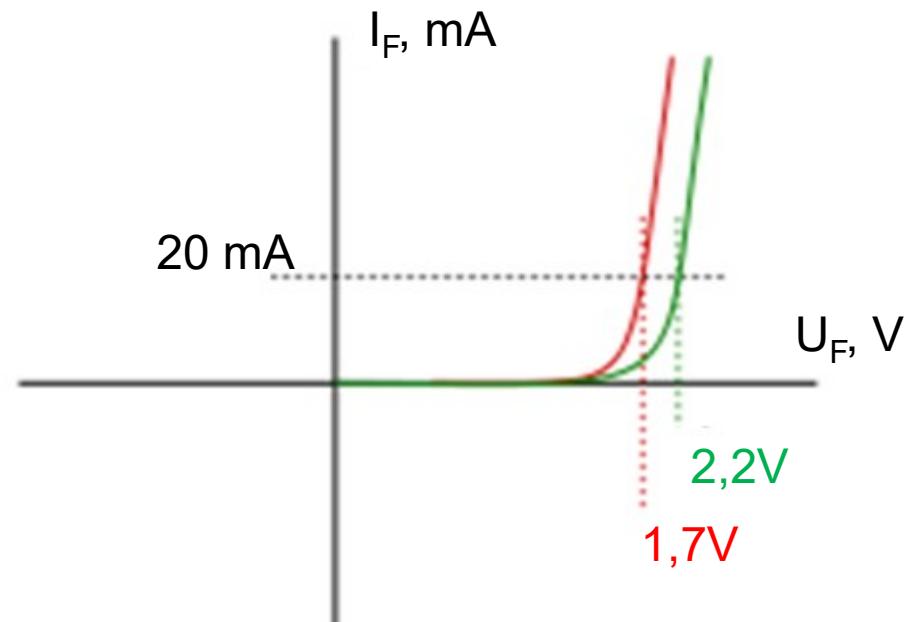
Light source	CCT (K)	CRI
Low-pressure sodium (LPS/SOX)	1800	-44
High-pressure sodium (HPS/SON)	2100	24
Halophosphate warm-white fluorescent	2940	51
Halophosphate cool-white fluorescent	4230	64
Halophosphate cool-daylight fluorescent	6430	76
<b>Standard LED Lamp</b>	<b>2700–5000</b>	<b>83</b>
High-CRI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

# Цветна температура



Чувствителност на човешкото око към  
цвета на светлината

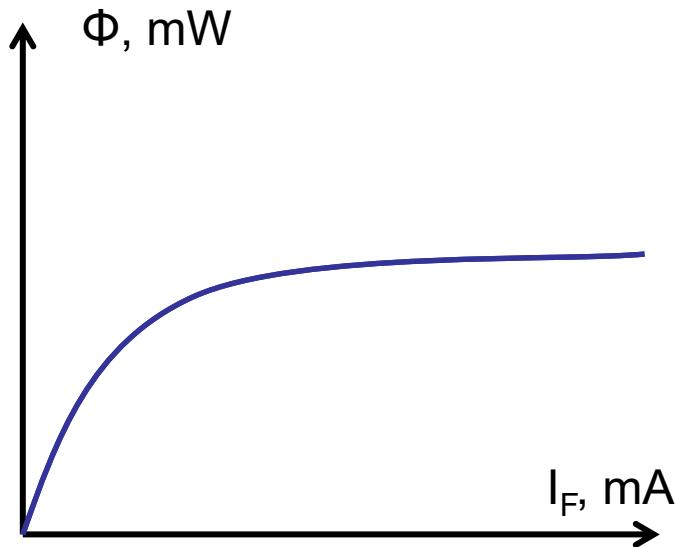
## VA характеристика



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

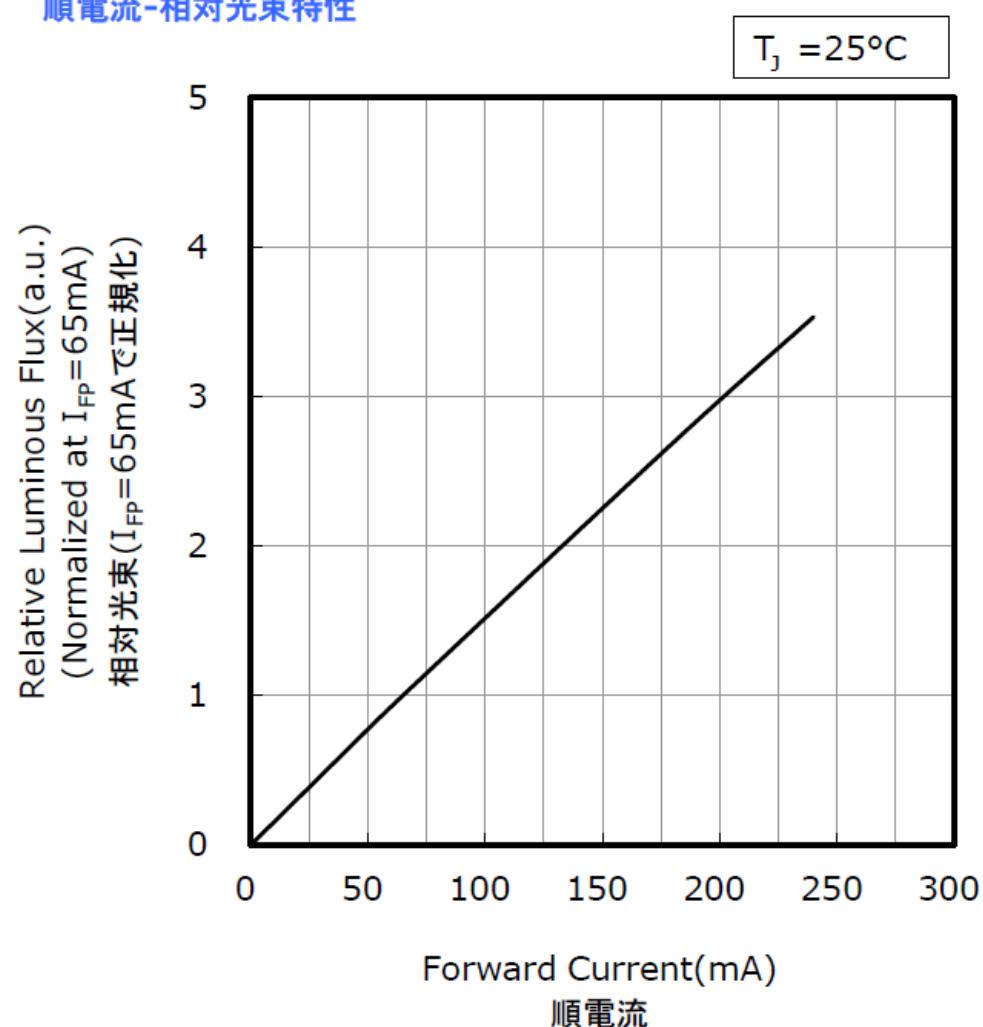
## Светлинна характеристика



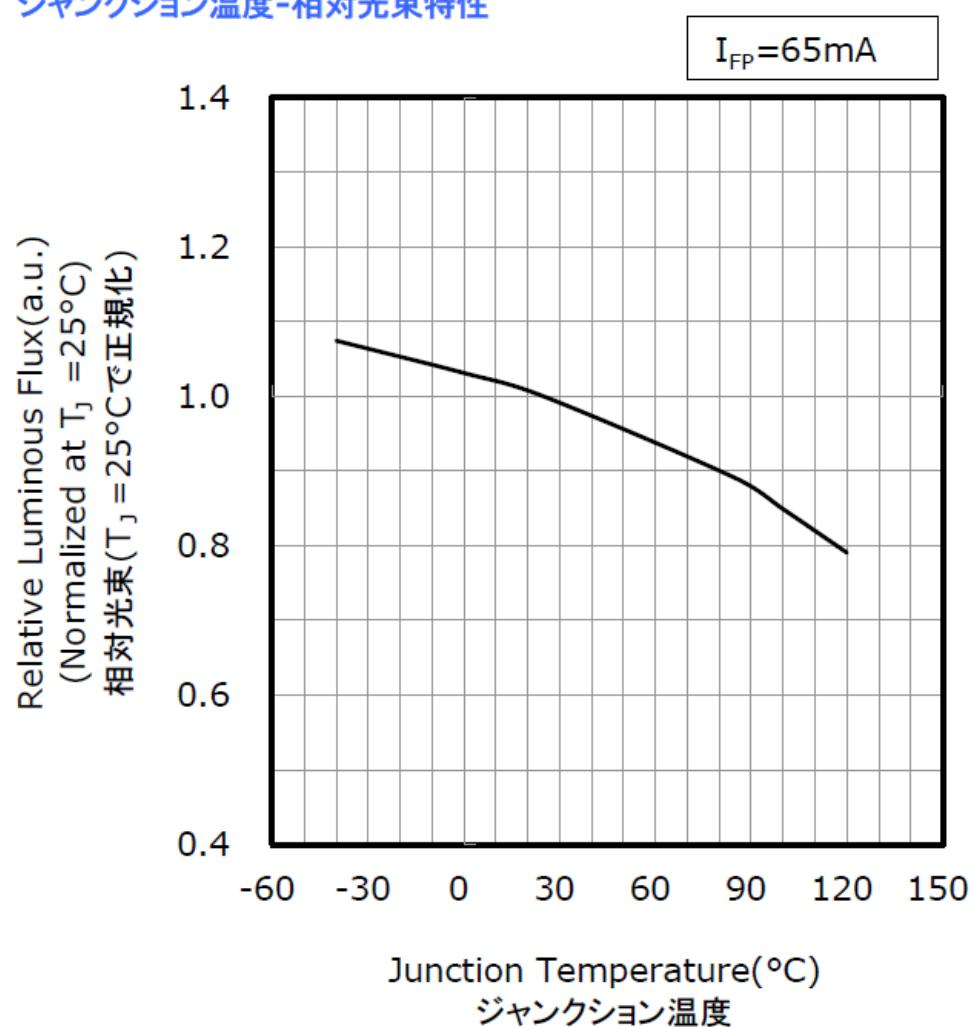
Представлява зависимостта на излъчения светлинен поток  $\Phi$  от тока  $I_F$ , протичащ през диода.

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** светодиод.
- 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 светодиод.
- Оразмерете схемата

Намерете каталожни данни и изберете конкретен модел светодиод.

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 <small>Note 1</small>	$I_{FP}$	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°C for 3 sec. max. (3 mm from the base of the epoxy body)	

### Note:

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

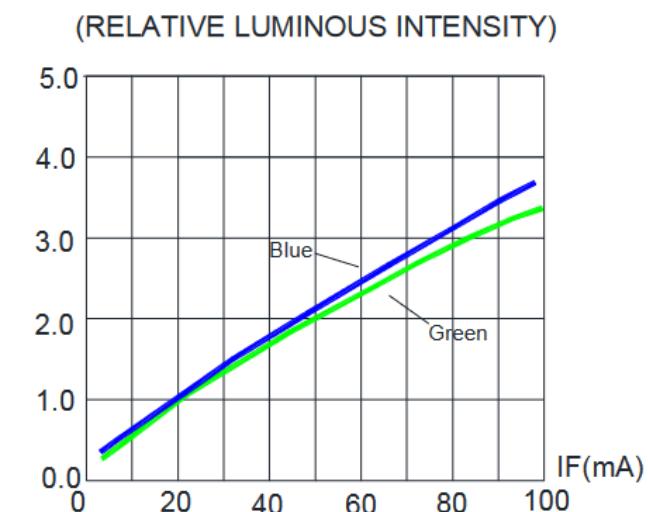


FIG.2 RELATIVE LUMINOUS INTENSITY VS.  
FORWARD CURRENT

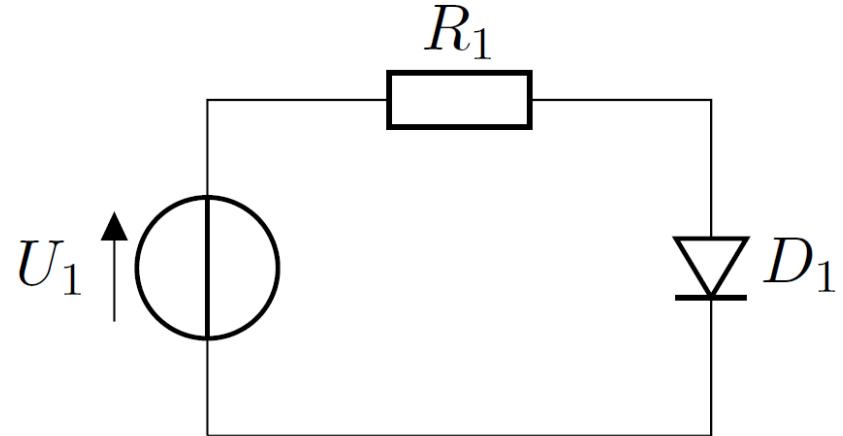
Добра идея е да изберете стойноста на  $I_F$  за която са дадени типични стойности на  $U_F$ .

### TYPICAL ELECTRICAL & OPTICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ C$ )

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		$I_R$	$V_R = 5 \text{ V}$	$\mu\text{A}$			100
Dominant Wavelength	Blue		$\lambda_D$	$I_F = 20 \text{ mA}$	nm	465	470	480
	Green		$\lambda_D$	$I_F = 20 \text{ mA}$	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  $R_1$



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

означения

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

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

$$R_1 = U_{R1} / I_{R1} \text{ -- закон на Ом}$$

$$U_1 = U_{R1} + U_{D1} \text{ -- закон на Кирхоф}$$

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

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

$$R_1 = 8.8\text{V} / 20\text{mA} = 0.44 \text{ kOhm} = 440 \text{ Ohm}$$

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

## Избор на стандартна стойност на резистора

$R_1 = 440\Omega$  (изчислена стойност) => избираме стандартна стойност от ред E24     $R_1 = 430\Omega, 5\%$

### 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

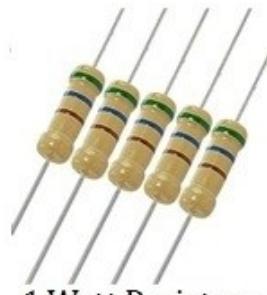
### E96 values (1% tolerance)

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  $4.3\Omega$ ,  $43\Omega$ ,  $430\Omega$ ,  $4.3k\Omega$ ,  $43k\Omega$ ,  $430k\Omega$  и т.н.



1/8 Watt Resistors



1 Watt Resistors



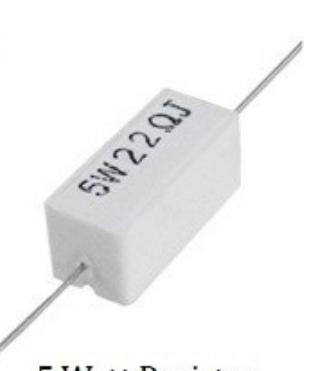
1/4 Watt Resistors



2 Watt Resistors



1/2 Watt Resistors



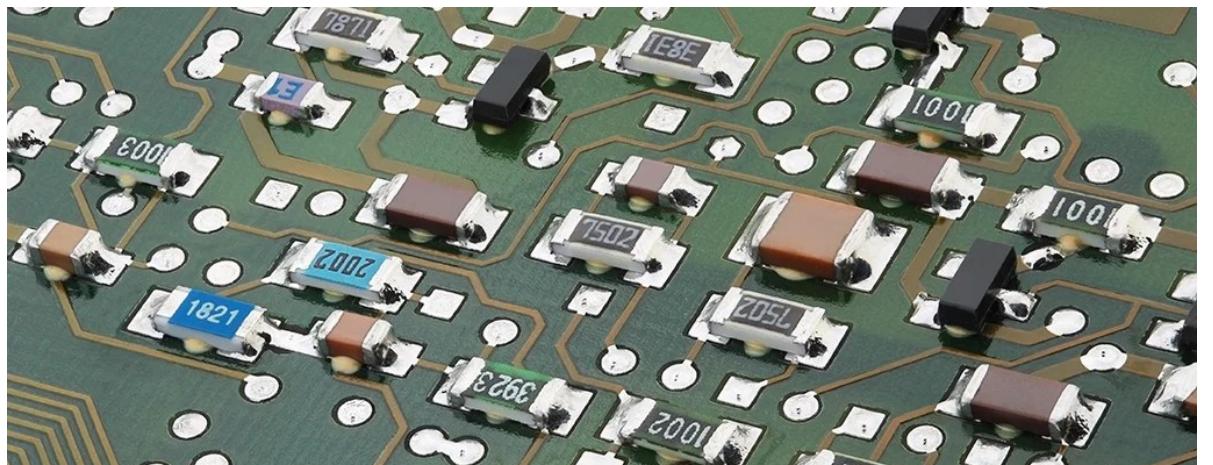
5 Watt Resistor



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

Избираме 1/4W резистор

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



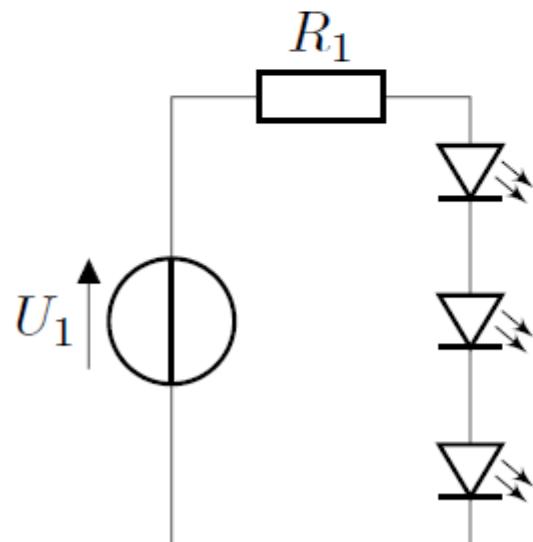
Задача: Да се оразмери схемата, така че през диодите да тече ток 20mA.

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

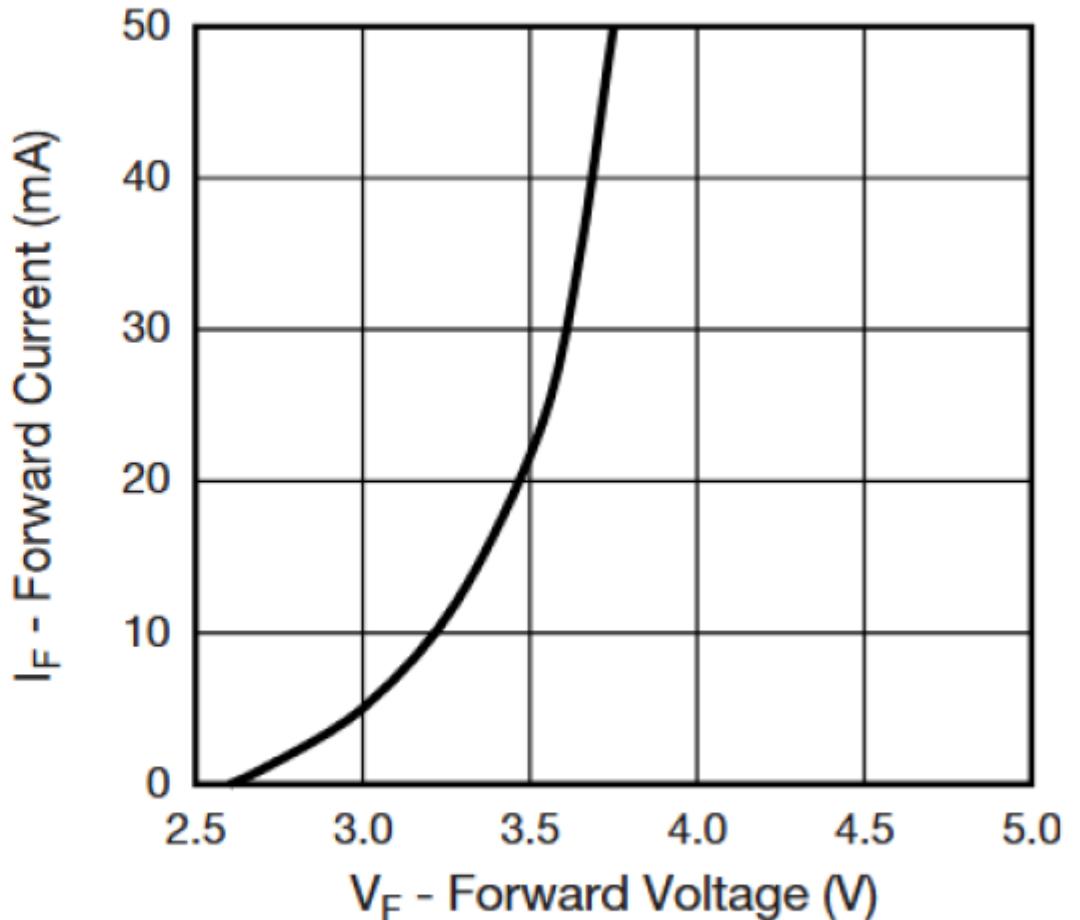
$$U_{R1} = U_1 - 3 \cdot U_f = 12 - 10.5 = 1.5\text{V}$$

$$R_1 = U_{R1} / I_{R1} = U_{R1} / I_f = 1.5\text{V} / 20\text{mA} = 0.075 \text{ kOhm} = 75 \text{ Ohm}$$

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



(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=O8M2z2hlbag>
- 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>