

OPTOELEKTRONIKA

Seweryn Lipiński

A209 WNT

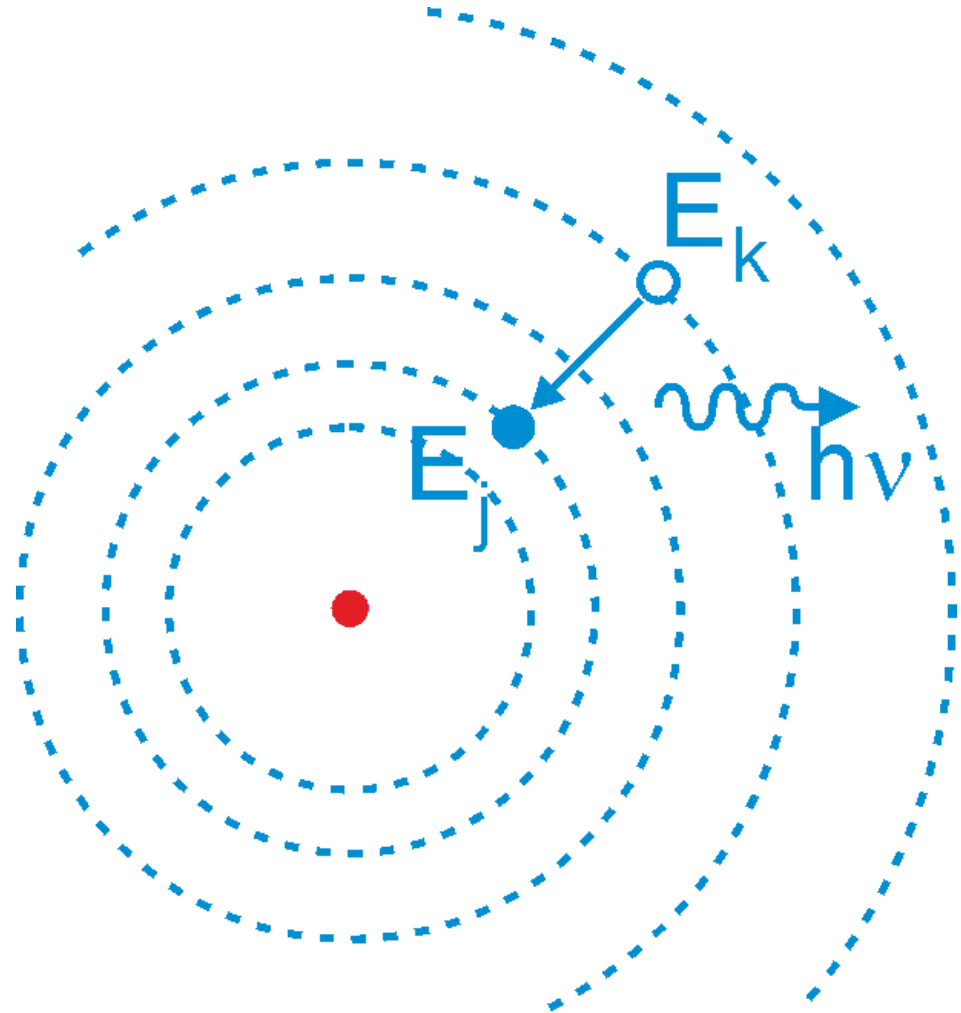
seweryn.lipinski@uwm.edu.pl

Diody elektroluminescencyjne

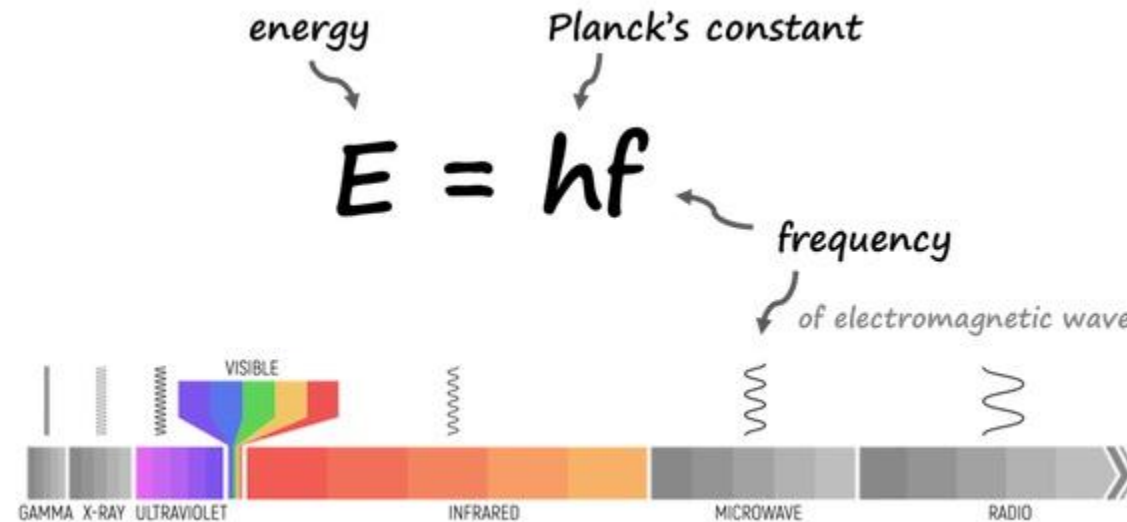
Skąd bierze się światło w półprzewodniku?

W półprzewodniku światło może powstać w wyniku rekombinacji elektronu i dziury:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$



Energia fotonu zależy od struktury pasmowej materiału, więc wybór materiału wpływa bezpośrednio na długość fali emisji:



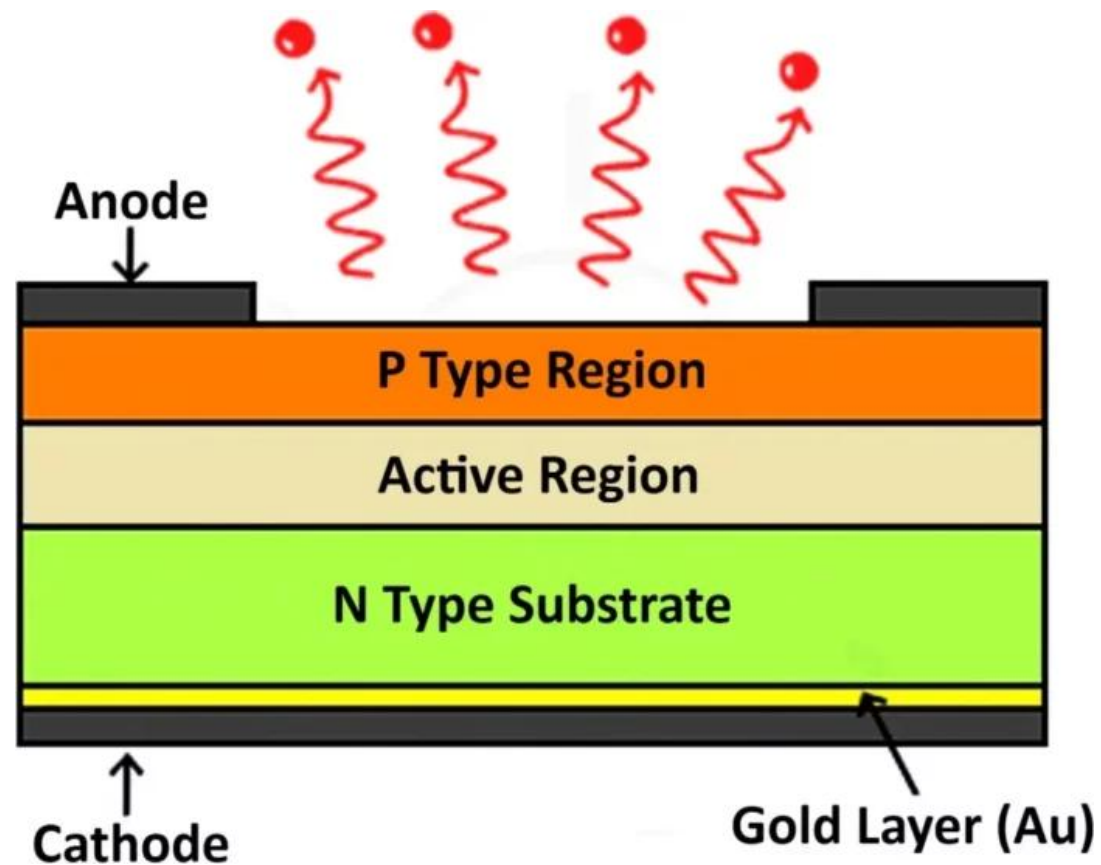
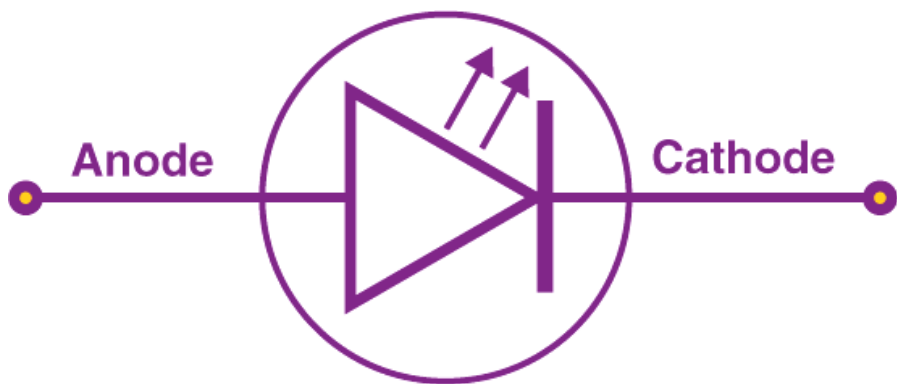
Elektroluminescencja, czyli...

Emisja promieniowania wywołana przepływem prądu przez odpowiednio zaprojektowaną strukturę półprzewodnikową.

To zjawisko jest podstawą działania większości półprzewodnikowych źródeł światła.

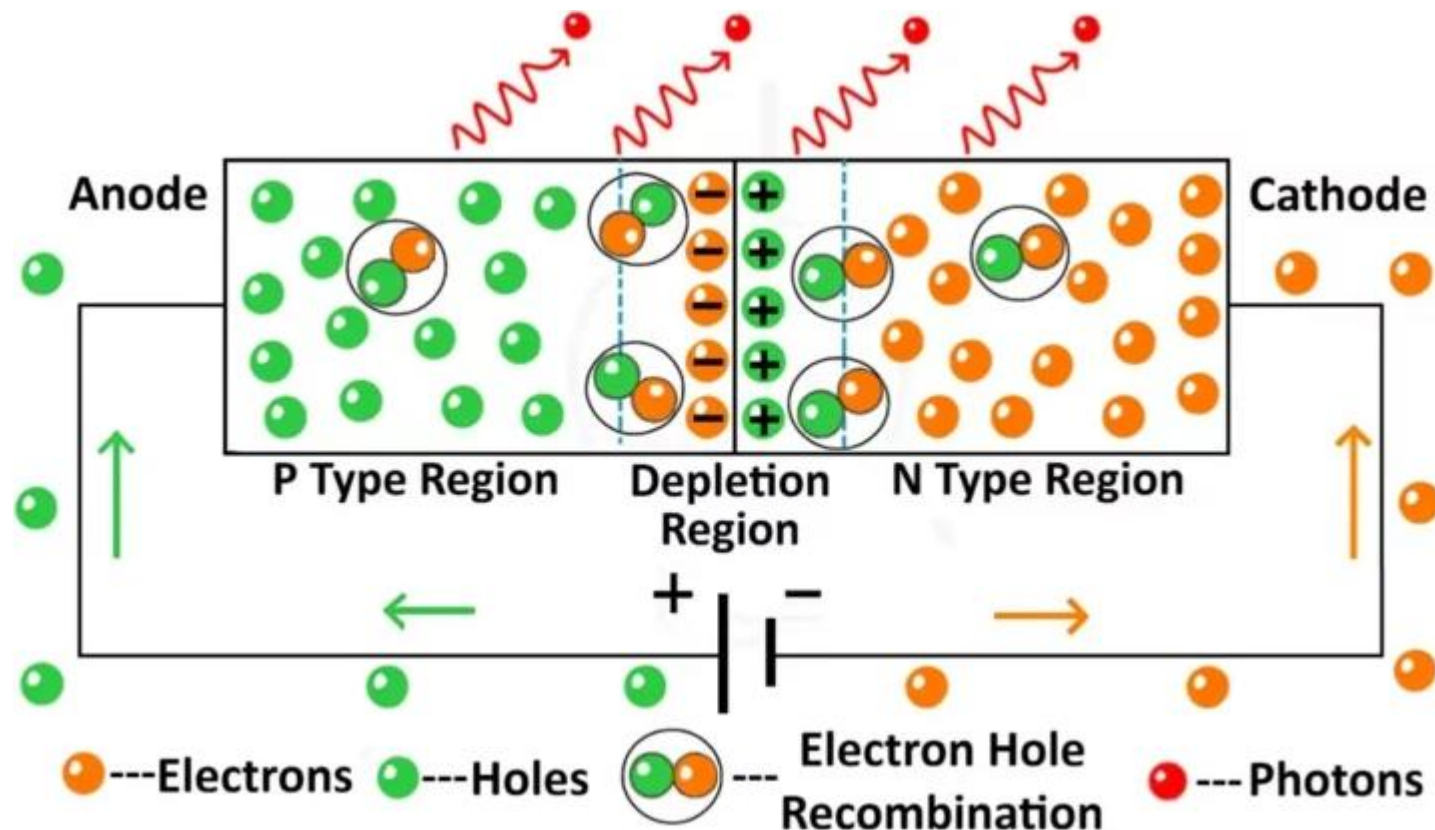
Na tym etapie interesują nas przede wszystkim diody elektroluminescencyjne (ang. LED - light-emitting diode), gdzie dominuje tzw. emisja spontaniczna.

Konstrukcja i symbol LED



Złącze p-n jako obszar emisji

- Gdy elektrony przekraczają warstwę zaporową, rekombinują z dziurami w obszarze aktywnym.
- W trakcie tego procesu przechodzą ze stanu o wyższej energii (w paśmie przewodnictwa) do stanu o niższej energii (w paśmie walencyjnym).
- Różnica energii pomiędzy tymi pasmami jest uwalniana w postaci fotonów.



Tylko wybrane materiały są elektroluminescencyjne i mogą efektywnie emitować światło.

Natomiast najbardziej typowe półprzewodniki takie jak krzem (Si) i german (Ge) nie emitują światła widzialnego w sposób efektywny.

Energia uwalniana podczas rekombinacji elektronów i dziur jest w ich przypadku tracona głównie w postaci ciepła, a nie fotonów. Wynika to ze specyficznej struktury ich pasm energetycznych, a dokładniej — z charakteru przerwy energetycznej.

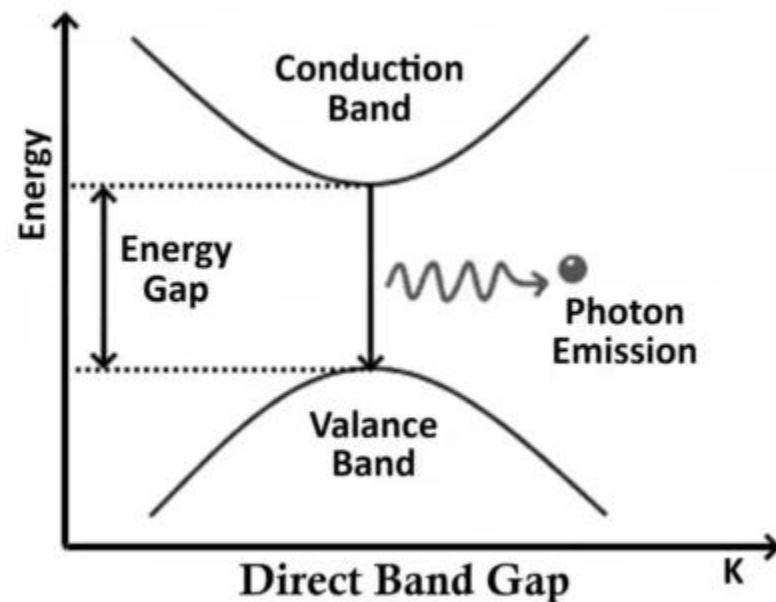
Rekombinacja promienista i niepromienista to dwa główne procesy znoszenia się nośników ładunku (elektronów i dziur) w półprzewodnikach.

- Rekombinacja promienista emituje energię jako foton (światło), kluczowa w LED.
- Rekombinacja niepromienista przekazuje energię sieci krystalicznej jako ciepło, obniżając wydajność.

Półprzewodniki emitujące światło posiadają tzw. bezpośrednią przerwę energetyczną.

W półprzewodnikach z przerwą bezpośrednią elektrony i dziury „spotykają się” w tym samym miejscu przestrzeni pędu. Oznacza to, że gdy elektron spada z pasma przewodnictwa do pasma walencyjnego, może od razu oddać energię w postaci fotonu.

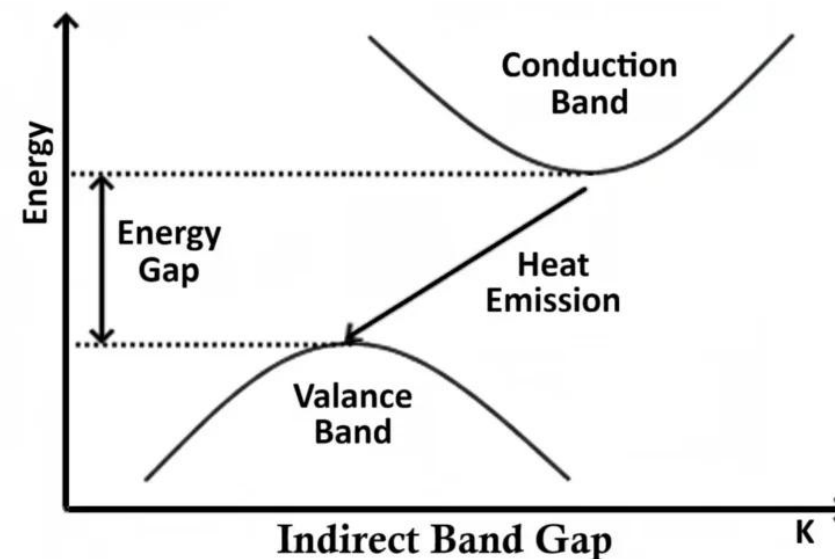
Cała energia przejścia odpowiada wtedy energii przerwy wzbronionej, więc taki półprzewodnik świeci bardzo efektywnie.



Z kolei krzem oraz german mają pośrednią przerwę energetyczną.

By elektron i dziura mogły się tu zrekombinować, nie wystarczy samo wyemitowanie fotonu. Do rekombinacji musi dołączyć fonon, czyli kwant drgań sieci krystalicznej. Fonon może dostarczyć brakującego pędu, ale sprawia, że proces staje się dużo mniej prawdopodobny.

Z tego powodu np. krzem praktycznie nie świeci, a energia rekombinacji zamienia się głównie w ciepło.



Dlatego właśnie materiał półprzewodnikowy ma znaczenie. Różnice są w:

- przerwie energetycznej,
- długość fali emisji,
- sprawności emisji.

Materiał nie tylko decyduje o kolorze lub zakresie widmowym, ale też o sprawności, dynamice i zastosowaniach elementu.

Zatem - różne LEDy nie różnią się tylko barwą, lecz również parametrami użytkowymi.

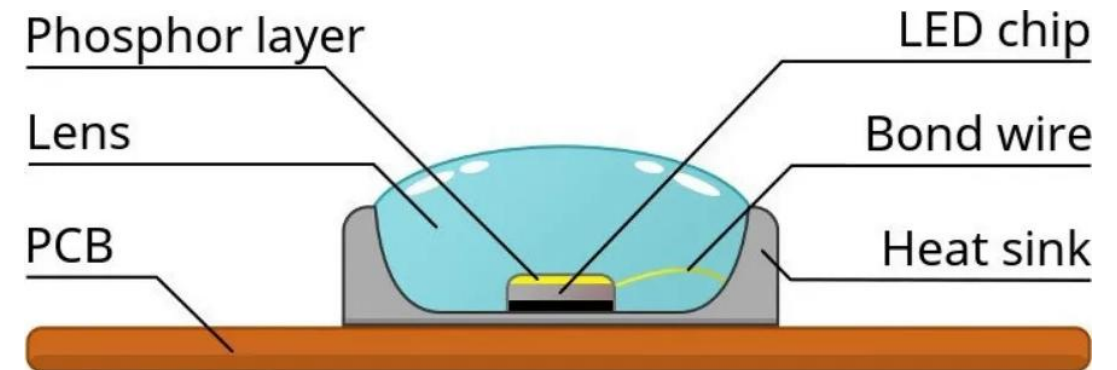
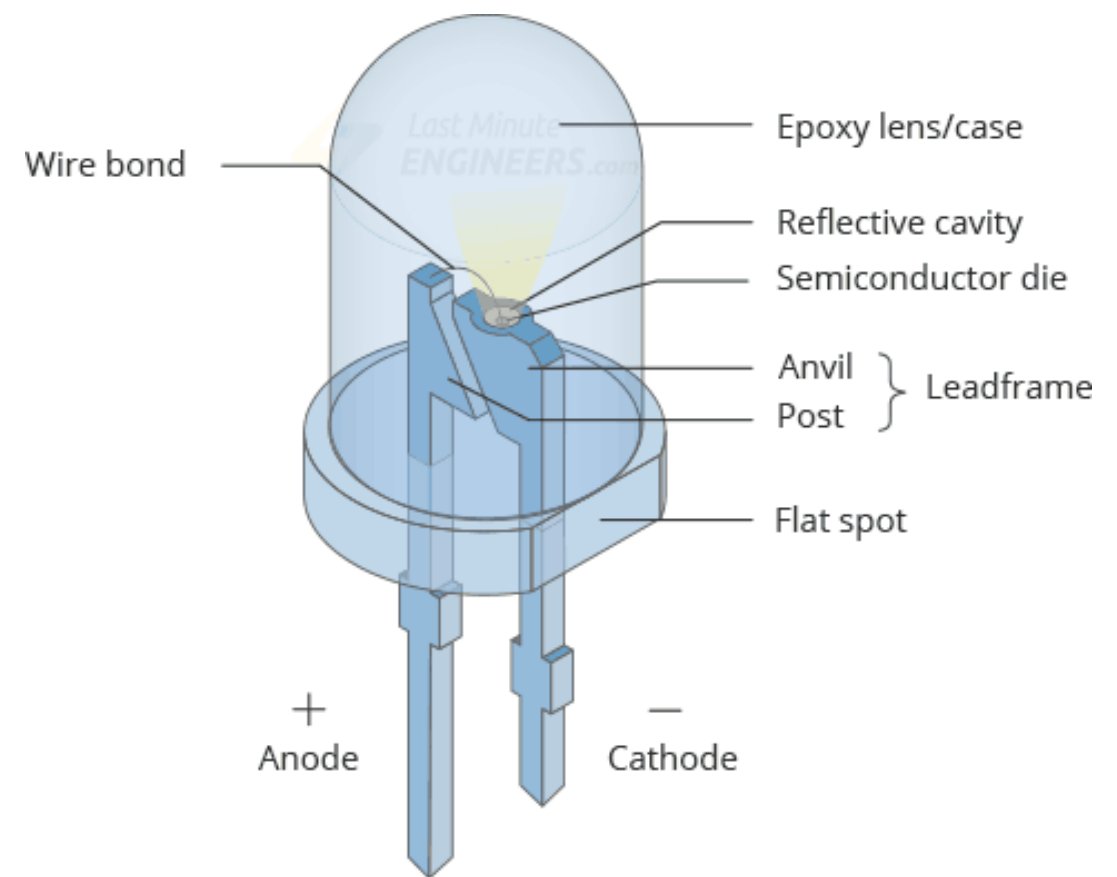
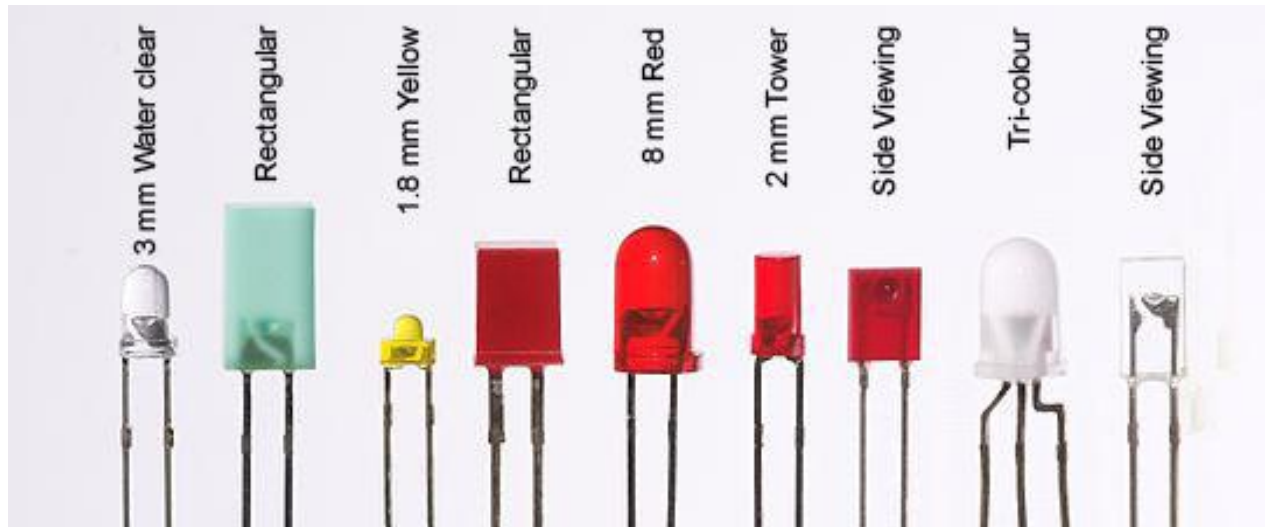
Color	Wavelength (nm)	Forward Voltage (V)	Semiconductor Material(s)
White	395 – 530	3.0 – 5.0	Gallium Indium Nitride (GaInN), Zinc Selenide (ZnSe)
Ultraviolet (UV)	< 400	3.1 – 4.4	Aluminum Nitride (AlN), Aluminum Gallium Nitride (AlGaN), Aluminum Gallium Indium Nitride (AlGaInN)
Violet	400 – 450	2.8 – 4.0	Indium Gallium Nitride (InGaN)
Blue	450 – 500	2.5 – 3.7	Indium Gallium Nitride (InGaN), Silicon Carbide (SiC)
Green	500 – 570	1.9 – 4.0	Gallium Phosphide (GaP), Aluminum Gallium Indium Phosphide (AlGaInP), Aluminum Gallium Phosphide (AlGaP)
Yellow	570 – 590	2.1 – 2.2	Gallium Arsenide Phosphide (GaAsP), AlGaInP, GaP
Orange	590 – 610	2.0 – 2.1	Gallium Arsenide Phosphide (GaAsP), AlGaInP, GaP
Red	610 – 760	1.6 – 2.0	Aluminum Gallium Arsenide (AlGaAs), GaAsP, AlGaInP, GaP
Infrared (IR)	> 760	< 1.9	Gallium Arsenide (GaAs), Aluminum Gallium Arsenide (AlGaAs)

Dobór materiału determinuje zakres emisji i w dużej mierze obszar zastosowań LED

Zakres	Przykładowe materiały	Typowe zastosowania
UV	GaN i pokrewne	czujniki, utwardzanie, specjalistyczne źródła
VIS	GaN / InGaN / AlGaInP	sygnalizacja, oświetlenie, wskaźniki
IR	GaAs / AlGaAs / GaAsP	czujniki, transoptory, piloty, proste tory optyczne

Budowa LED

Na parametry LED wpływa nie tylko sam materiał półprzewodnikowy, ale również obudowa i geometria. Soczewka czy kształt obudowy mogą znacząco wpływać na rozsyłanie promieniowania.



Typowe rodzaje LED

LED widzialne

LED IR

LED UV

LED mocy

LED SMD

LED do transmisji czujników



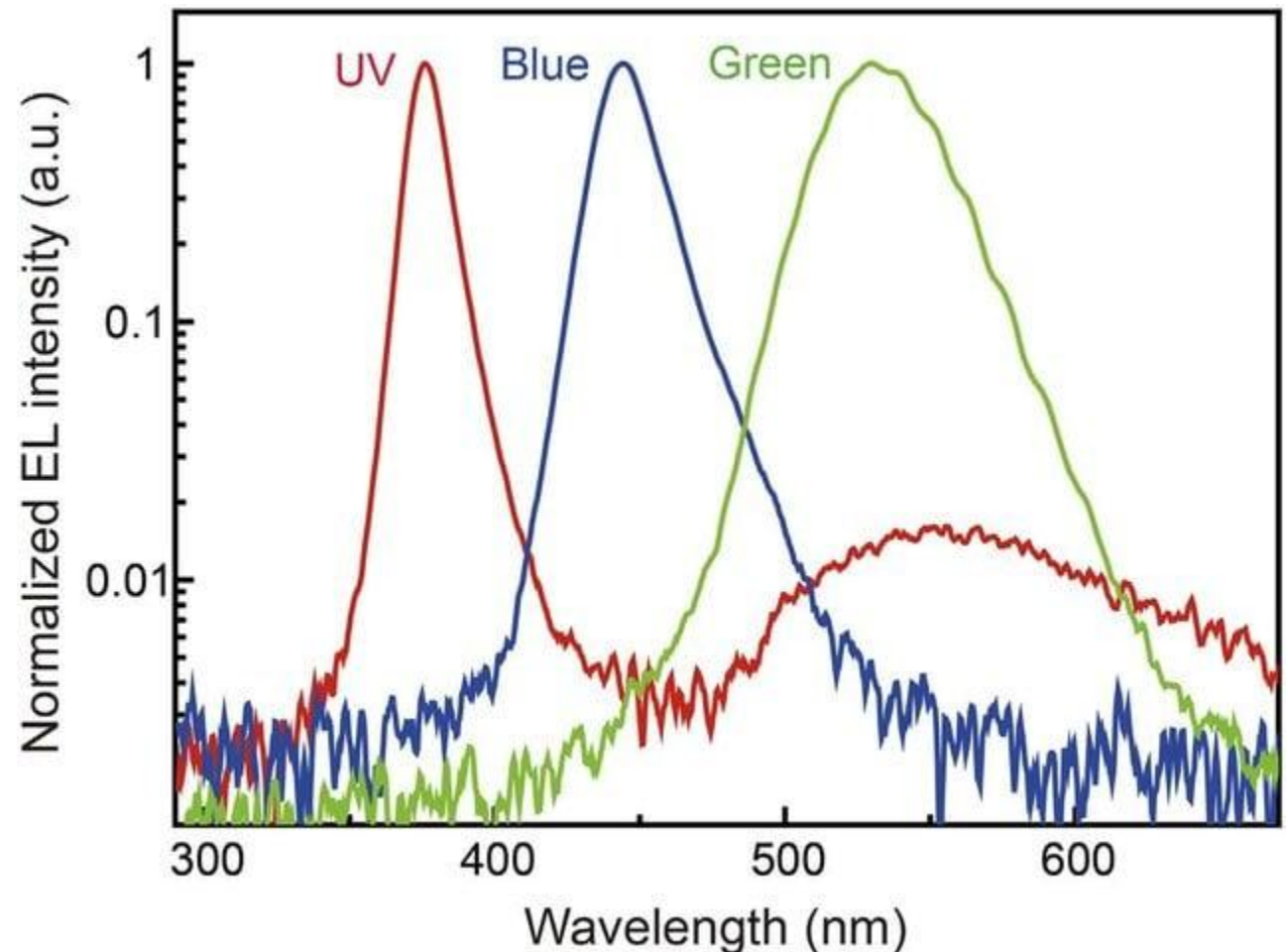
Pod nazwą LED kryje się bardzo szeroka grupa elementów.

Nie można zakładać, że każda dioda LED ma podobne właściwości - w praktyce różnice bywają bardzo duże.

Widmo emisji LED

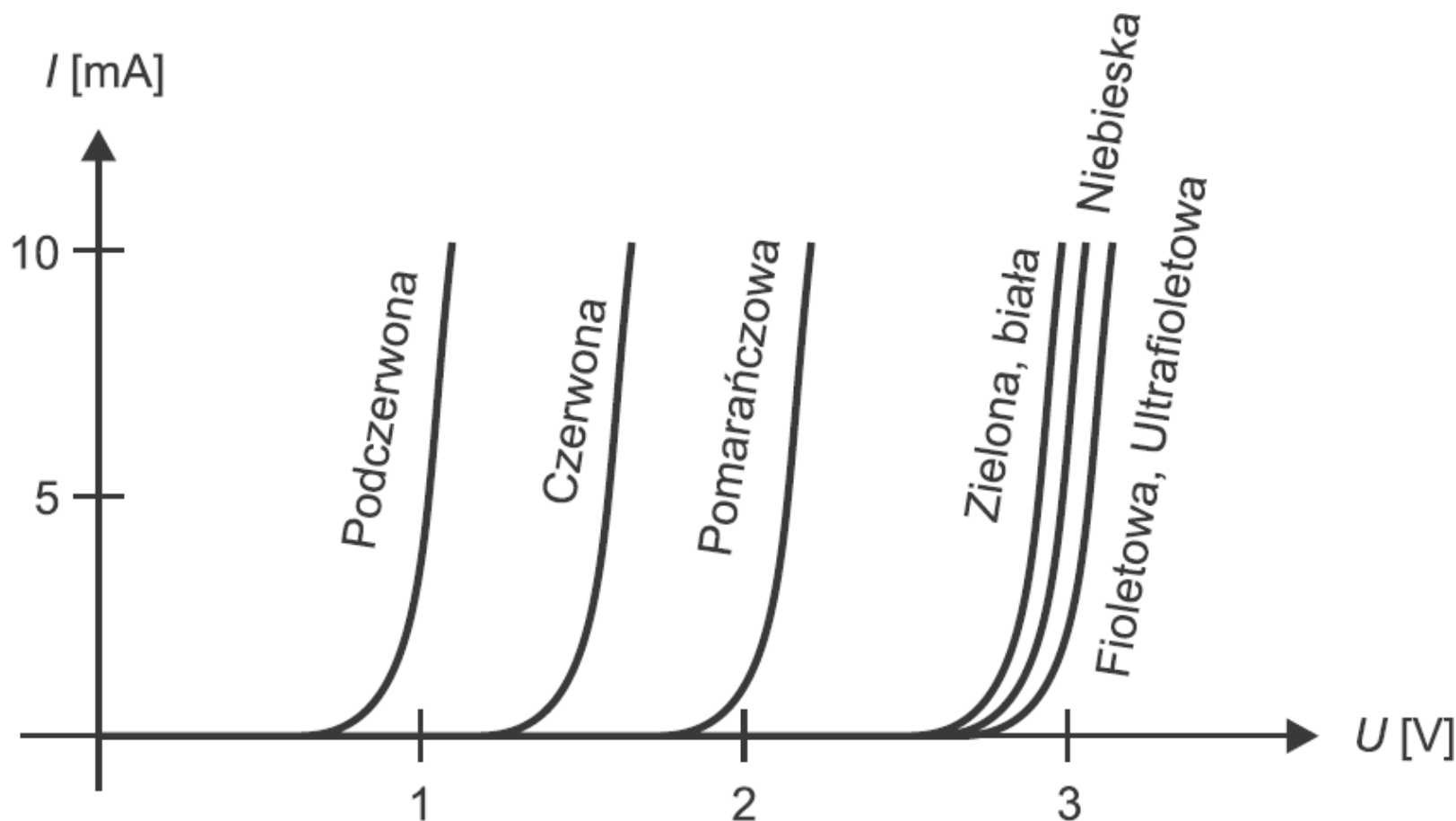
LED nie jest źródłem monochromatycznym. To jedna z jego najważniejszych cech i jednocześnie jedno z ograniczeń.

W systemach transmisyjnych i pomiarowych szerokość widma może wpływać na selektywność, dyspersję i dopasowanie do detektora.

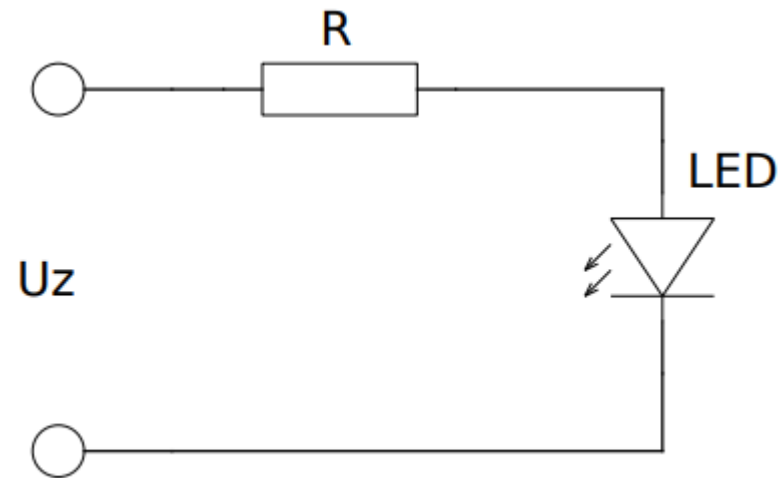


Dioda elektroluminescencyjna ma teoretyczną charakterystykę prądowo-napięciową opisywaną tym samym wzorem co dioda prostownicza.

Kluczowe w używaniu LEDa jest to, by nie zasilać go „na sztywne napięcie”, tzn. bez ograniczenia prądu.



Ograniczenie prądu LED



$$R = \frac{U_Z - U_P}{I_D}$$

Barwa	Napięcie przewodzenia
podczerwień	poniżej 1,6 V
czerwona	1,6 V do 2,0 V
pomarańczowa	2,0 V do 2,1 V
żółta	2,1 V do 2,2 V
zielona	1,9 V do 3,7 V
niebieska	2,5 V do 4,0 V
fioletowa	2,7 V do 4,0 V
ultrafiolet	3,0 V do 4,1 V
biała	3,0 V do 3,6 V

Narzucenie prądu LED

ŹRÓDŁO PRĄDOWE

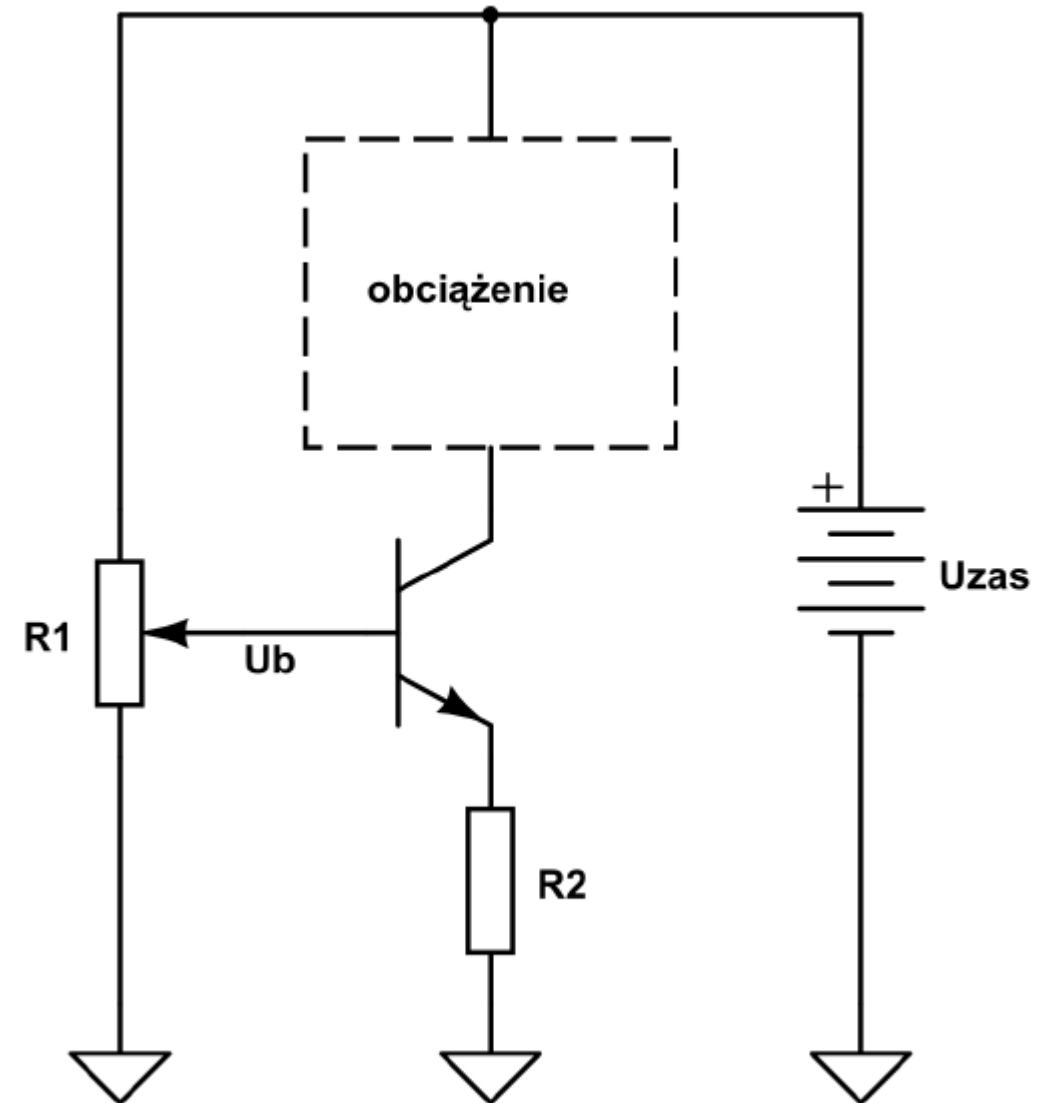
- Bardzo prosty układ, który pozwala ustawić pożądane natężenie prądu obciążenia.
- Przydaje się w przypadku sterowania elementami, dla których należy stabilizować nie napięcie ale natężenie prądu. Przykładem takiego obciążenia są np. diody LED.

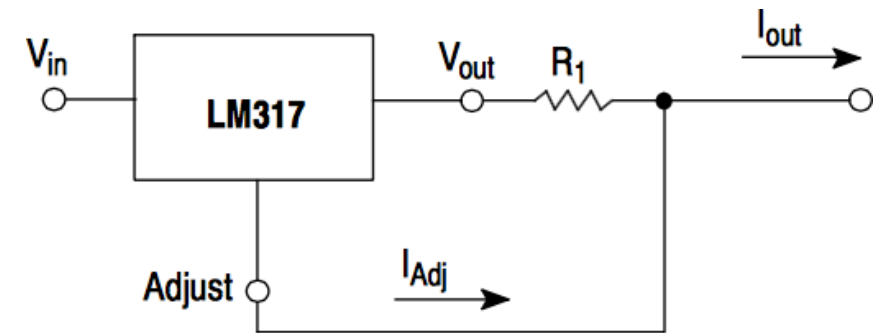
Zasada działania:

Ustawiając odpowiednie napięcie na bazie tranzystora za pomocą potencjometru R_1 i wartość rezystora R_2 możemy ustalić odpowiednią wartość natężenia prądu obciążenia zgodnie ze wzorem:

$$I_L = (U_b - 0,6 \text{ V}) / R_2$$

I_L - prąd obciążenia

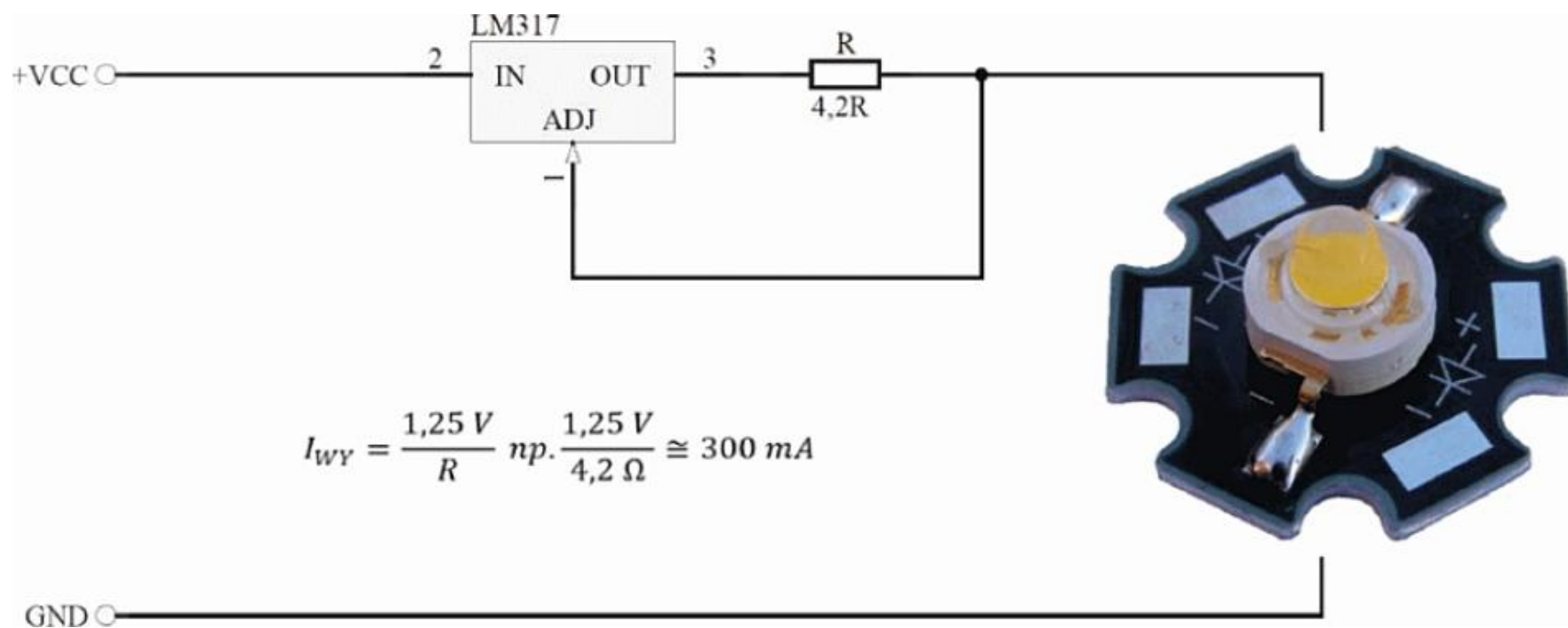




$$I_{out} = \left(\frac{V_{ref}}{R_1} \right) + I_{Adj}$$

$$= \frac{1.25 \text{ V}}{R_1}$$

$$10 \text{ mA} \leq I_{out} \leq 1.5 \text{ A}$$

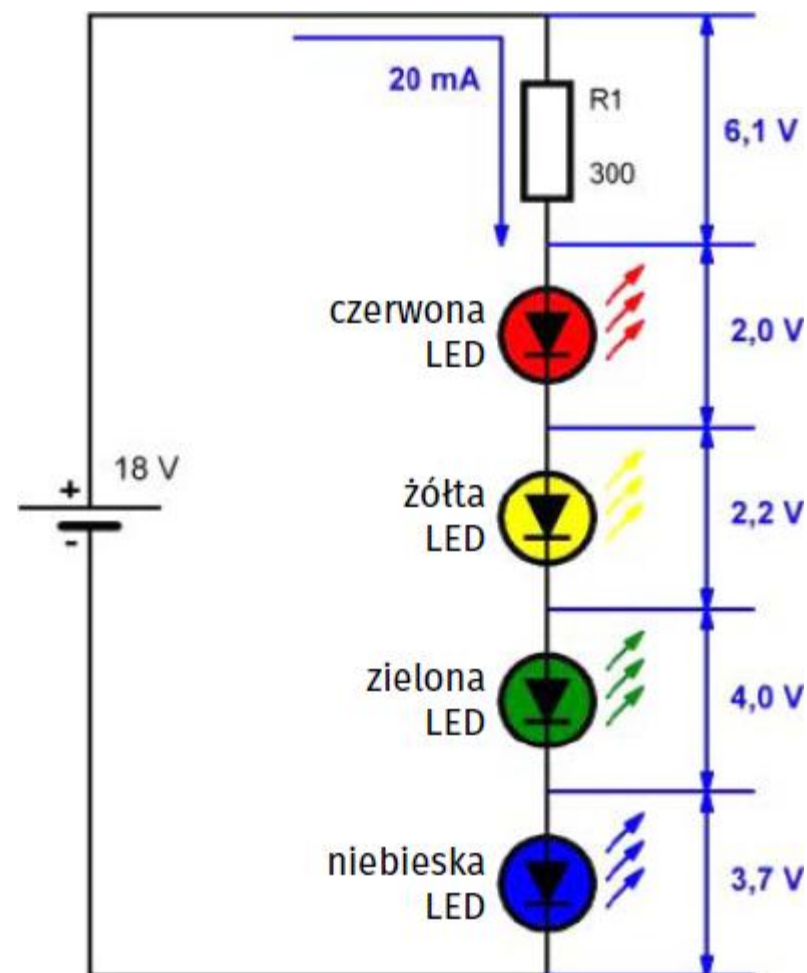


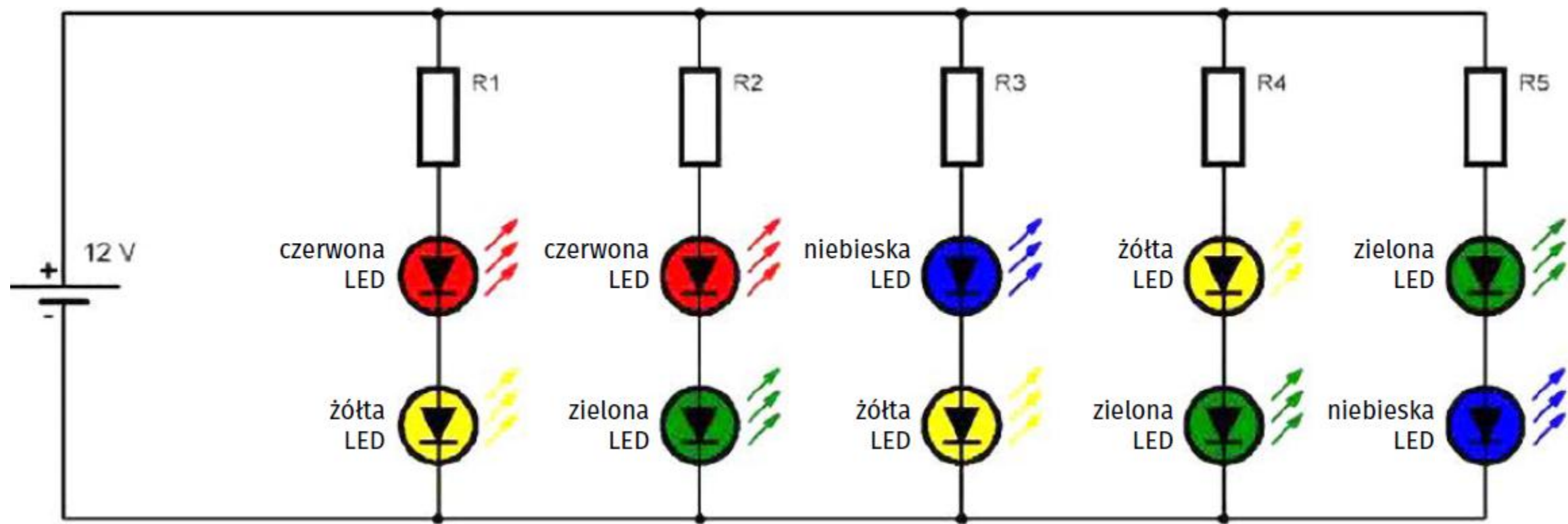
$$I_{WY} = \frac{1,25 \text{ V}}{R} \text{ np. } \frac{1,25 \text{ V}}{4,2 \Omega} \cong 300 \text{ mA}$$

Diody LED można łączyć **szeregowo** bez ograniczeń.

Nigdy nie należy po prostu łączyć **równolegle** diod LED, nawet diod tego samego typu.

Napięcie przewodzenia diod LED nigdy nie jest całkowicie identyczne, jedna dioda LED będzie miała nieco wyższe napięcie robocze niż druga.



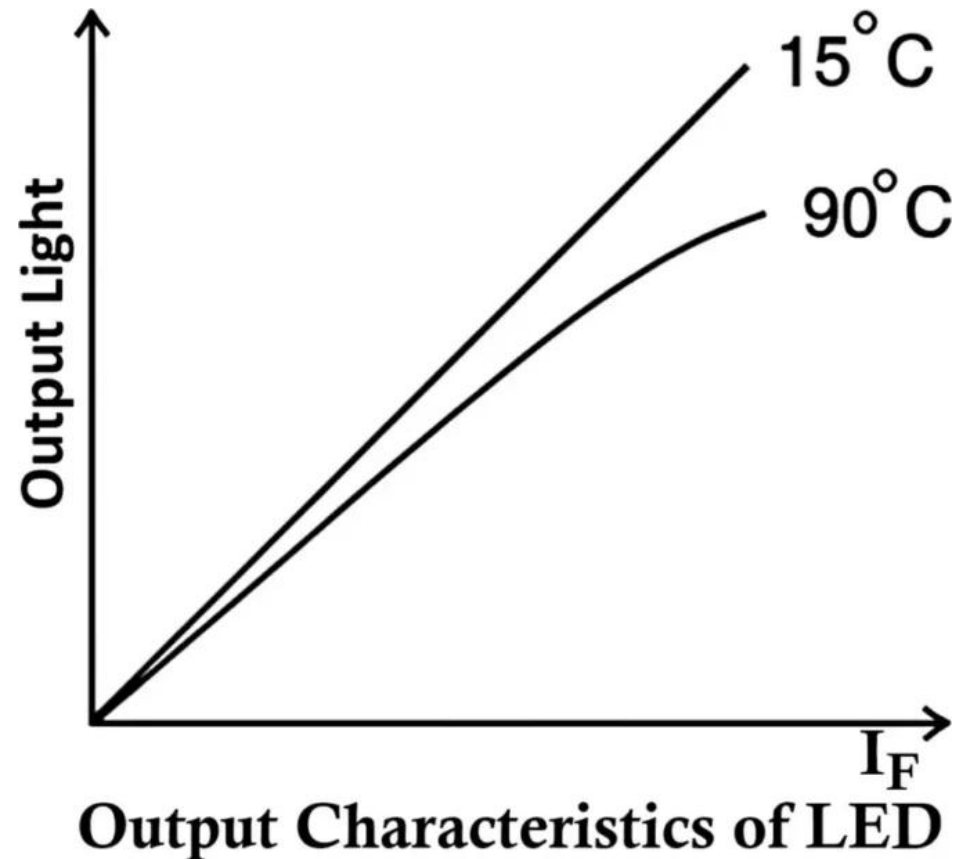


Charakterystyka optyczna LED – moc a prąd

W uproszczeniu większy prąd daje większą moc optyczną, ale zależność nie jest idealna i dodatkowo silnie zależy od temperatury.

W praktyce trzeba uważać na kompromis między mocą, sprawnością i nagrzewaniem.

Generalnie, strumień świetlny diody LED jest dość niezależny od temperatury elementu. Jednak w temperaturze powyżej 25°C strumień świetlny stopniowo maleje.

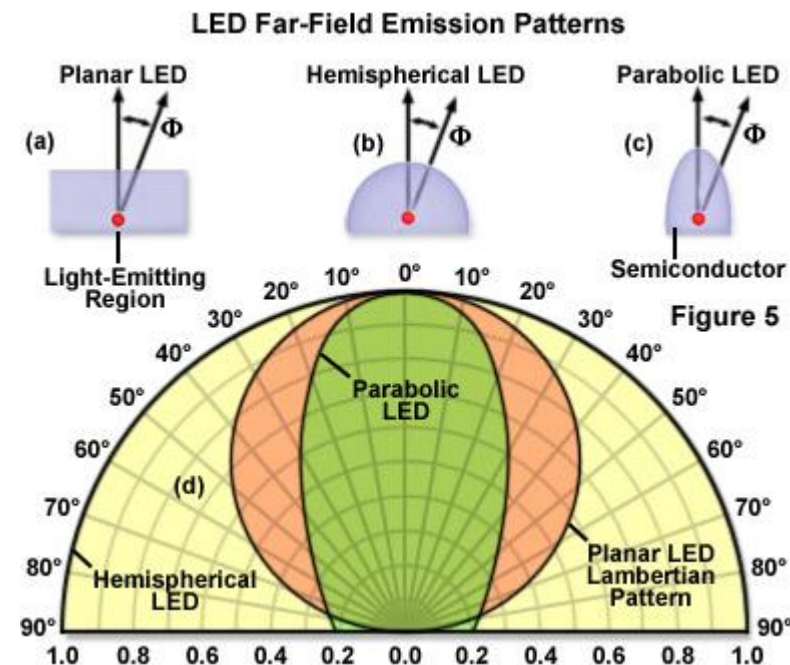
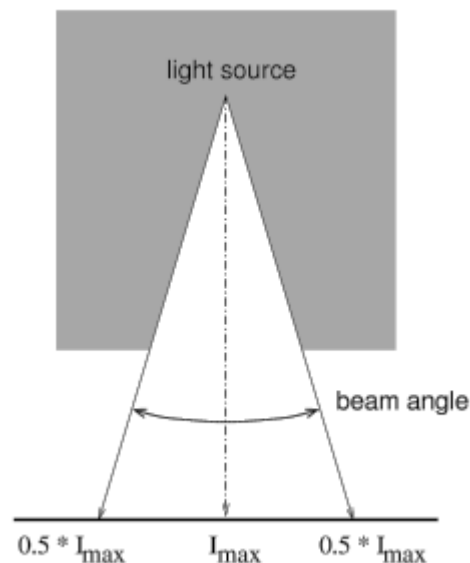


Czas życia diody LED

- Czas życia diody LED w dużym stopniu zależy od czynników zewnętrznych, takich jak prąd i temperatura.
- Przyjmuje się jednak standardową wartość na poziomie 50 000 godzin.
- Większość producentów twierdzi, że strumień świetlny zmniejsza się wtedy średnio o 30% w stosunku do wartości początkowej.
- Ta żywotność jest często podawana w specyfikacjach jako „L70”, tj. czas pracy do momentu zmniejszenia strumienia świetlnego do 70% wartości początkowej.

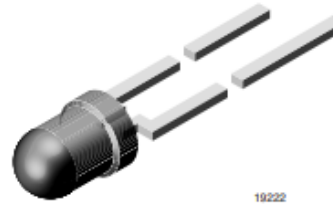
Kąt emisji i geometria promieniowania

Kąt świecenia światła – wyrażona w stopniach szerokość wiązki emitowanej przez źródło światła. Oblicza się ją poprzez wyznaczenie na osi rozsyłu światła dwóch przeciwległych punktów o wartości 50% maksymalnej światłości źródła. Nazywa się go również kątem rozwarcia wiązki.



Ta sama moc optyczna może dawać zupełnie inny efekt w układzie, jeśli zmienia się rozsył promieniowania. W czujnikach i układach sprzęganych optycznie geometria emisji bywa równie ważna jak sama moc.

High Intensity LED in Ø 3 mm Clear Package



DESCRIPTION

This device series has been designed to meet the increasing demand for AlInGaP technology.

It is housed in a 3 mm clear plastic package. The small viewing angle of these devices provides a high brightness.

All packing units are categorized in luminous intensity and color groups. That allows users to assemble LEDs with uniform appearance.

PRODUCT GROUP AND PACKAGE DATA

- Product group: LED
- Package: 3 mm
- Product series: standard
- Angle of half intensity: $\pm 16^\circ$

FEATURES

- AlInGaP technology
- Standard Ø 3 mm (T-1) package
- Small mechanical tolerances
- Suitable for DC and high peak current
- Very small viewing angle
- Very high intensity
- Luminous intensity and color categorized
- Material categorization:
for definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912

APPLICATIONS

- Status lights
- Off / on indicator
- Background illumination
- Readout lights
- Maintenance lights
- Legend light



RoHS
COMPLIANT
HALOGEN
FREE
GREEN
(S-2008)

Parametry katalogowe – co jest ważne?

- długość fali / barwa dominująca
- prąd nominalny
- napięcie przewodzenia
- moc optyczna lub światłość
- kąt emisji
- temperatura pracy
- dopuszczalny prąd impulsowy
- czas narastania / opadania

PARTS TABLE

PART	COLOR	LUMINOUS INTENSITY (mcd)			at I _F (mA)	WAVELENGTH (nm)			at I _F (mA)	FORWARD VOLTAGE (V)			at I _F (mA)	TECHNOLOGY
		MIN.	TYP.	MAX.		MIN.	TYP.	MAX.		MIN.	TYP.	MAX.		
TLHF4900	Soft orange	63	300	-	10	598	605	611	10	-	1.9	2.6	20	AlInGaP on GaAs

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T_{amb} = 25 °C unless otherwise specified) TLHF4900

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Reverse voltage		V _R	5	V
DC forward current	T _{amb} ≤ 60 °C	I _F	30	mA
Surge forward current	t _p ≤ 10 μs	I _{FSM}	0.1	A
Power dissipation	T _{amb} ≤ 60 °C	P _V	80	mW
Junction temperature		T _j	100	°C
Operating temperature range		T _{amb}	-40 to +100	°C
Storage temperature range		T _{stg}	-55 to +100	°C
Soldering temperature	t ≤ 5 s, 2 mm from body	T _{sd}	260	°C
Thermal resistance junction-to-ambient		R _{thJA}	400	K/W



TELUX



0603



PLCC-2



MiniLED



PLCC-4

Reverse
Gullwing

TELUX

Part Number	Color	Dominant Wavelength (nm) or Color Coordinate (x, y)			Luminous Flux IV			I _F for I _V (mA)	Forward Voltage V _F (V)		Angle of Half Intensity (± °)
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		Typ.	Max.	
STANDARD											
TLWR7600	Red	611	618	634	1500	2800		70	2.2	2.67	30
TLWR7900	Red	611	618	634	1500	2800		70	2.2	2.67	45
TLWY7600	Yellow	585	592	597	1000	2800		70	2.1	2.67	30
TLWY7900	Yellow	585	592	597	1000	2800		70	2.1	2.67	45
POWER											
TLWR8600	Red	611	616	634	2000	3700		70	2.2	2.67	30
TLWR8900	Red	611	616	634	2000	3700		70	2.2	2.67	45
TLWR8901	Red	611	616	634	2000	3700	4800	70	2.2	2.67	45
TLWR8902	Red	611	616	634	3000	3900	4800	70	2.2	2.67	45
TLWY8600	Yellow	585	591	597	2000	3200		70	2.1	2.67	30
TLWY8900	Yellow	585	591	597	2000	3200		70	2.1	2.67	45
VLWR9630	Red	611	616	634	4000	8500	12 200	70	2.2	3.03	30
VLWR9930	Red	611	616	634	4000	8500	12 200	70	2.2	3.03	45
VLWR9931	Red	611	616	634	5000	8500	12 200	70	2.2	3.03	45
VLWR9932	Red	611	616	634	6000	9000	12 200	70	2.2	2.67	45
VLWR9933	Red	611	616	634	7000	9500	12 200	70	2.2	2.67	45
VLWY9930	Yellow	585	592	597	4000	8500	12 200	70	2.2	3.03	45
VLWY9932	Yellow	587	592	597	6000	9000	12 200	70	2.2	2.67	45



The DNA of tech.®

AUTOMOTIVE GRADE OPTOELECTRONICS

Vishay Automotive Grade and AEC-Qualified Parts

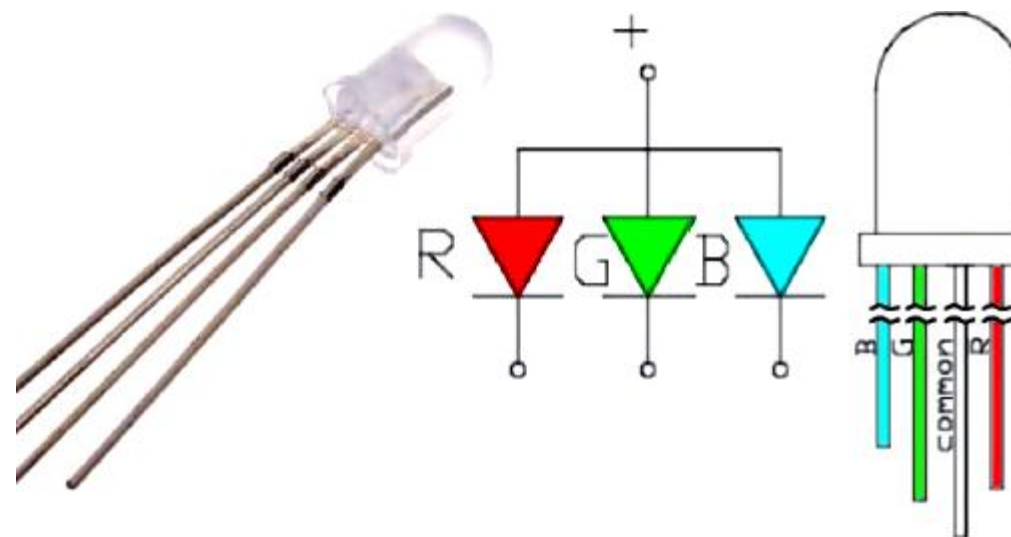
SMD LEDs 0603

Part Number	Color	Dominant Wavelength (nm) or Color Coordinate (x, y)			Luminous Flux I _v			I _F for I _v (mA)	Forward Voltage V _F (V)		Angle of Half Intensity (± °)
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		Typ.	Max.	
STANDARD											
TLMB1100	Blue		466		4	5		10	3.9	4.5	80
TLMG1100	Green	564	570	575	12.5	35		20	2.1	3	80
TLMO1100	Orange	600	606	609	50	80		20	2.1	3	80
TLMP1100	Pure green	551	561	566	6.3	15		20	2.1	3	80
TLMS1100	Red	627	633	639	32	63		20	2.1	3	80
TLMY1100	Yellow	580	589	595	50	80		20	2.1	3	80
LOW CURRENT											
TLMO1000	Soft orange	600	605	609	3.55	7.5		2	1.8	2.6	80
TLMS1000	Red	624	628	636	1.8	4		2	1.8	2.6	80
TLMY1000	Yellow	580	588	595	3.55	7.5		2	1.8	2.6	80
VLMY10J2K2-4	Yellow	585	588	590	5.6		11.25	2	1.8	2.6	80

LED RGB

Z trzech podstawowych barw, czyli czerwonej, zielonej i niebieskiej można złożyć wszystkie kolory tęczy. LED RGB składają się z trzech diod w tych trzech kolorach, które znajdują się w jednej obudowie i mogą być sterowane oddzielnie. Te trzy diody mają wspólną anodę (CA) lub wspólną katodę (CC).

Do sterowania taką diodą potrzebne są trzy modulatory PWM, z których każdy generuje impuls mocy o regulowanym stosunku czasu włączenia do wyłączenia. W ten sposób można kontrolować intensywność każdej z diod w zakresie od 0% do 100% i uzyskać dowolny, mieszany kolor.



Inne mniej i bardziej ważne sprawy...

Regulacja intensywności

Diody LED mogą być ściemniane tylko w ograniczonym zakresie poprzez obniżenie napięcia zasilania. Przy obniżeniu napięcia zasilania strumień świetlny nieznacznie maleje, a następnie dioda LED nagle gaśnie. Jednak diody LED są idealnymi komponentami do ściemniania poprzez modulację PWM. Przy dobrym układzie sterującym można regulować natężenie światła niemal liniowo od 0% do 100%.

Mały ślad ekologiczny

Diody LED mają najmniejszy ślad ekologiczny spośród wszystkich źródeł światła. Oznacza to, że ich produkcja jest najbardziej przyjazna dla środowiska. Ponadto, lampa LED nie potrzebuje rtęci lub innych substancji szkodliwych dla zdrowia lub środowiska, aby emitować światło, czego nie można powiedzieć o wielu innych źródłach światła.

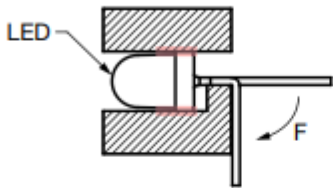
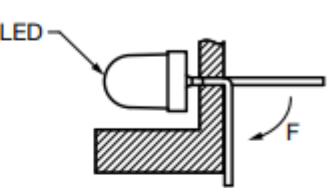
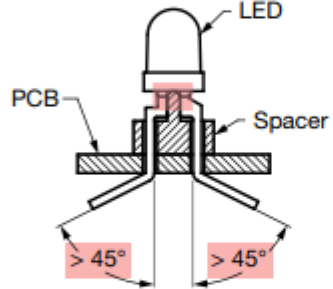
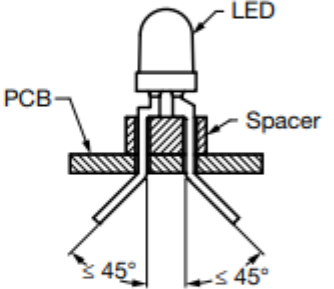
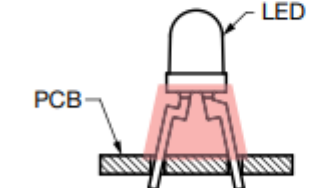
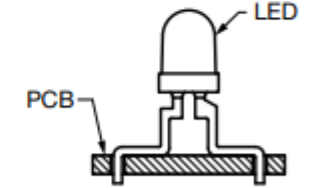
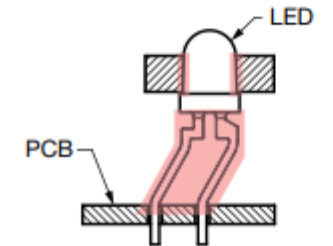
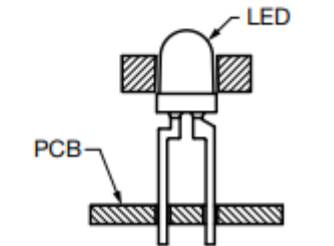
Brak promieniowania UV i IR

Ponieważ diody LED przeznaczone do pracy w świetle widzialnym są monochromatycznymi źródłami światła, to nie emitują promieniowania ultrafioletowego ani podczerwonego.

Dzięki temu komponenty te nadają się do środowisk, w których takie promieniowanie jest niepożądane, np. w muzeach.

Szybka reakcja

Diody LED emitują światło niemal natychmiast w momencie podania napięcia zasilającego na diodę z rezystorem szeregowym. Wyłączanie jest również całkowicie bezzwłocznie. Czasy narastania i opadania są rzędu mikrosekund, nawet do nanosekund.

TABLE 1 - RECOMMENDATIONS FOR LED FORMING AND MOUNTING		
REF.		
a)		
b)		
c)		
d)		

Bezpieczeństwo fotobiologiczne

LED IR są „niewidzialne, ale mocne” - oko dobrze transmituje i ogniskuje NIR na siatkówce, stąd wynika ryzyko termicznego uszkodzenia, bo...

brak odruchu awersyjnego, wynikający z braku bodźca widzialnego.

LED IR stosowane w monitoringu (kamery nocne) czy pilotach są na ogół bezpieczne, ale długotrwała ekspozycja z bliskiej odległości (np. bezpośrednie patrzenie w mocną diodę IR z kilku centymetrów) może być niebezpieczna.

Wady i zalety LED

Zalety:

- niski koszt,
- prostota,
- trwałość,
- małe gabaryty,
- duża dostępność,
- łatwa integracja,
- względne bezpieczeństwo.

Ograniczenia:

- szerokie widmo,
- mniejsza moc niż lasery,
- większa rozbieżność,
- ograniczona szybkość,
- gorsze sprzęganie do włókien jednomodowych.

Widoczne zalety sprawiły, że LEDy stały się najpowszechniejszym źródłem promieniowania w praktycznej optoelektronice.

LED są zatem źródłem pierwszego wyboru tam, gdzie liczy się prostota i niski koszt.

Gdzie LED sprawdza się najlepiej:

- wskaźniki i sygnalizacja,
- transoptory,
- czujniki refleksyjne i transmisyjne,
- oświetlenie pomocnicze,
- piloty IR,
- enkodery optyczne,
- proste łącza optyczne,
- źródła do włókien wielomodowych.

Lasery wybiera się tam, gdzie potrzebne są lepsze parametry transmisyjne i geometryczne.

Kiedy LED nie wystarcza:

- potrzebna większa moc,
- potrzebne węższe widmo,
- potrzebna mniejsza rozbieżność wiązki,
- potrzebna większa szybkość modulacji,
- potrzebne lepsze sprzężanie do włókna jednomodowego.

I właśnie w takich zastosowaniach przechodzi się do diod laserowych i VCSEL.

Dziękuję za uwagę