

Wykład X

Dioda elektroluminescencyjna
Laser półprzewodnikowy

Rekombinacja spontaniczna

- bezpromienista

elektron + dziura → *fonyony*

- promienista

elektron + dziura → *foton*

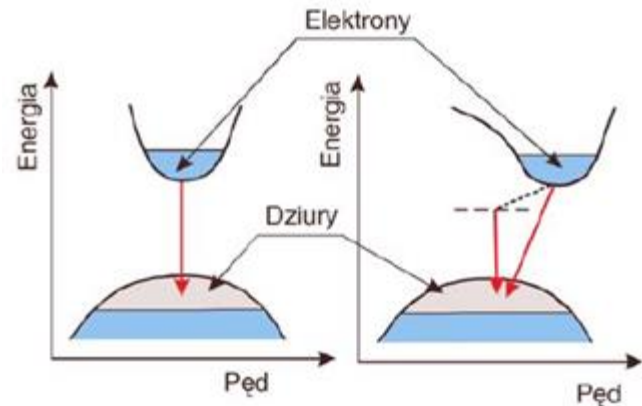
Przy przejściach prostych

$$\Delta \hbar \vec{k} = \hbar \vec{k}_p^e - \hbar \vec{k}_k^e \approx 0$$

Szybkość rekombinacji

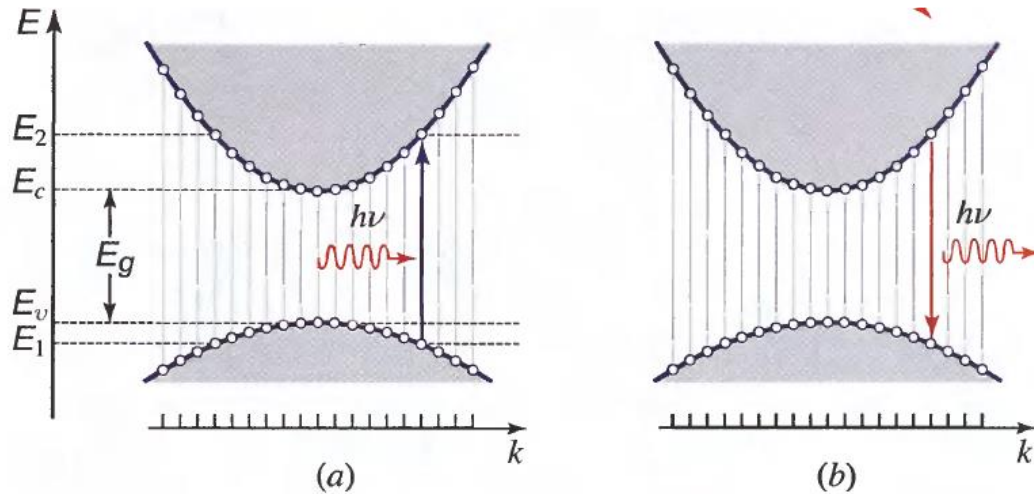
$$R = r np$$

r – stała rekombinacji



Rekombinacja promienista pary elektron-dziura

Półprzewodnik z prostą przerwą



Prawdopodobieństwo rekombinacji promienistej zależy od:

1. Prawdopodobieństwa odpowiedniego obsadzenia stanów w pasmie przewodnictwa i w pasmie walencyjnym $f_e(\nu)$
2. Prawdopodobieństwa przejścia $\frac{1}{\tau_r}$
3. Łącznej gęstości stanów elektronowych i dziurowych $\rho(\nu)$

$$r_{sp} \cong \frac{1}{\tau_r} f_e(\nu) \rho(\nu)$$

Rekombinacja promienista pary elektron-dziura

Wówczas intensywność przejścia będzie proporcjonalna do iloczynu prawdopodobieństwa obsadzenia przez tę cząstkę stanu o energii E i gęstości stanów.

- Prawdopodobieństwo obsadzenia – czynnik Boltzmann $\sim e^{-\frac{h\nu - E_g}{kT}}$
- Gęstość stanów $\sim \sqrt{h\nu - E_g}$

Zatem intensywność przejścia:

$$r_{sp} \sim \sqrt{h\nu - E_g} e^{-\frac{h\nu - E_g}{kT}}$$

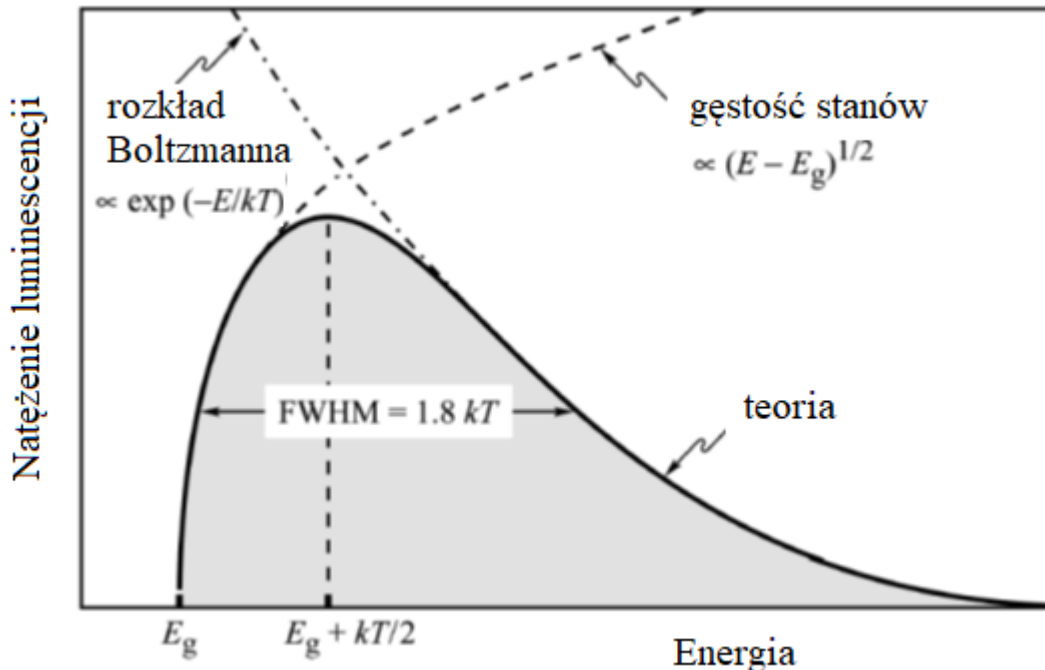
Rekombinacja promienista pary elektron-dziura

$$r_{sp}(\nu) = D \sqrt{h\nu - E_g} \exp\left(-\frac{h\nu - E_g}{kT}\right), \quad h\nu \geq E_g,$$

$$D = \frac{(2m_r)^{3/2}}{\pi \hbar^2 \tau_r} \exp\left(\frac{E_{fc} - E_{fv} - E_g}{kT}\right)$$

τ_r - czas życia na rekombinację promienistą

W stanie równowagi termodynamicznej



$$h\nu_p = E_g + \frac{1}{2}kT$$

$$\Delta\nu \approx 1.8 kT/h$$

$$\Delta\lambda \approx 1.45 \lambda_p^2 kT$$

LED – diagram pasmowy

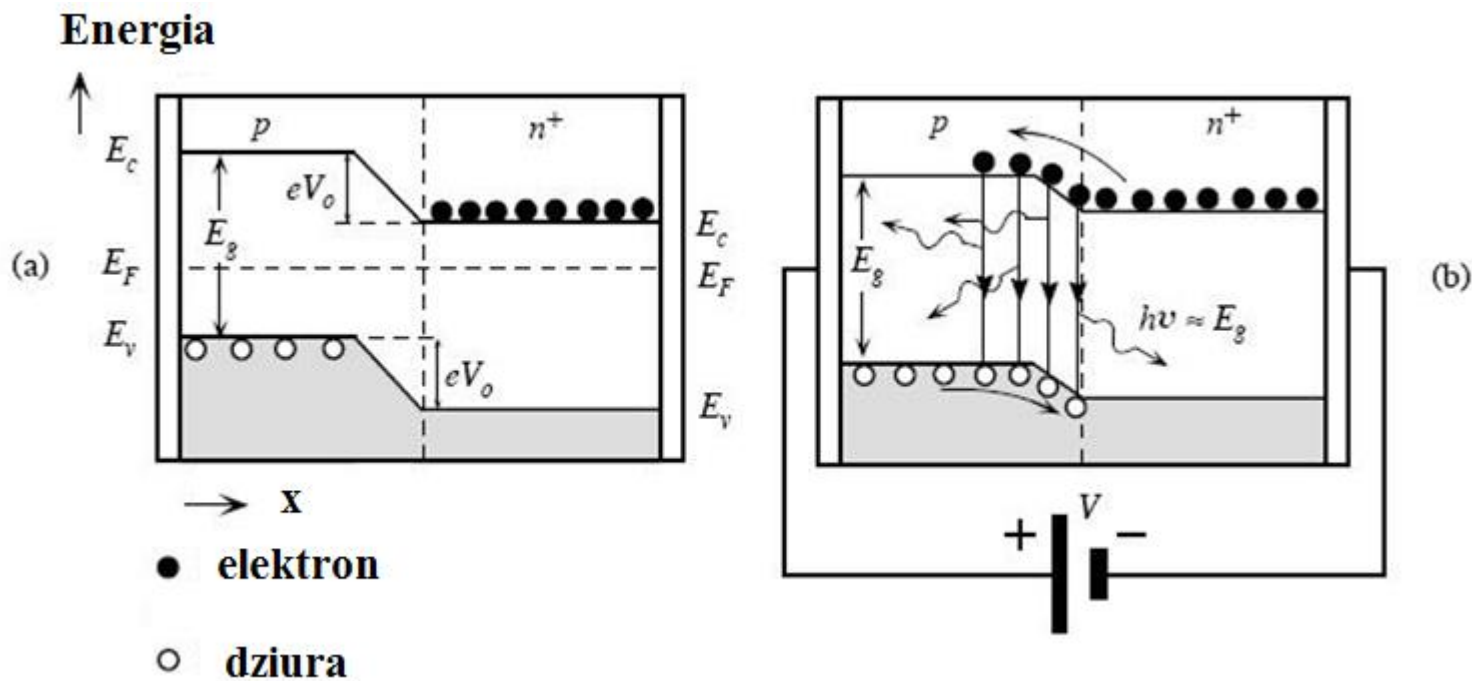
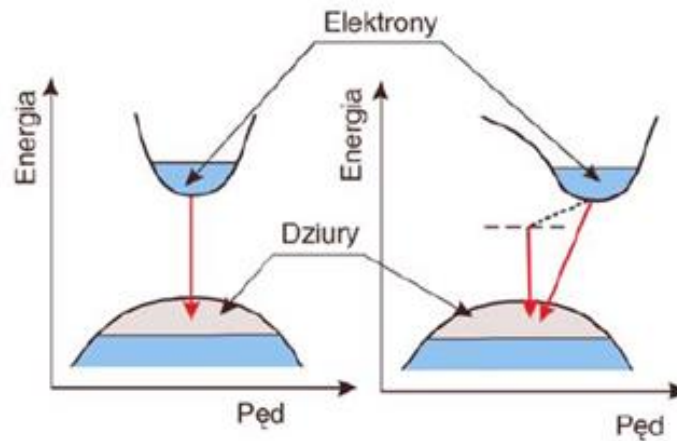


Diagram pasmowy LED bez polaryzacji i po spolaryzowaniu w kierunku przewodzenia. Napięcie polaryzujące diodę zmniejsza barierę potencjału V_0 i nośniki większościowe dyfundują do odpowiednich obszarów złącza, rekombinując w obszarze złącza.

Relacja dyspersji $E(k)$ i rekombinacja promienista

$$E_2 - E_1 = h\nu$$

$$p_{\text{fotonu}} \ll p_{\text{elektronu}}$$



Przerwa prosta:

$$p_2 - p_1 \cong 0$$

Przerwa skośna:

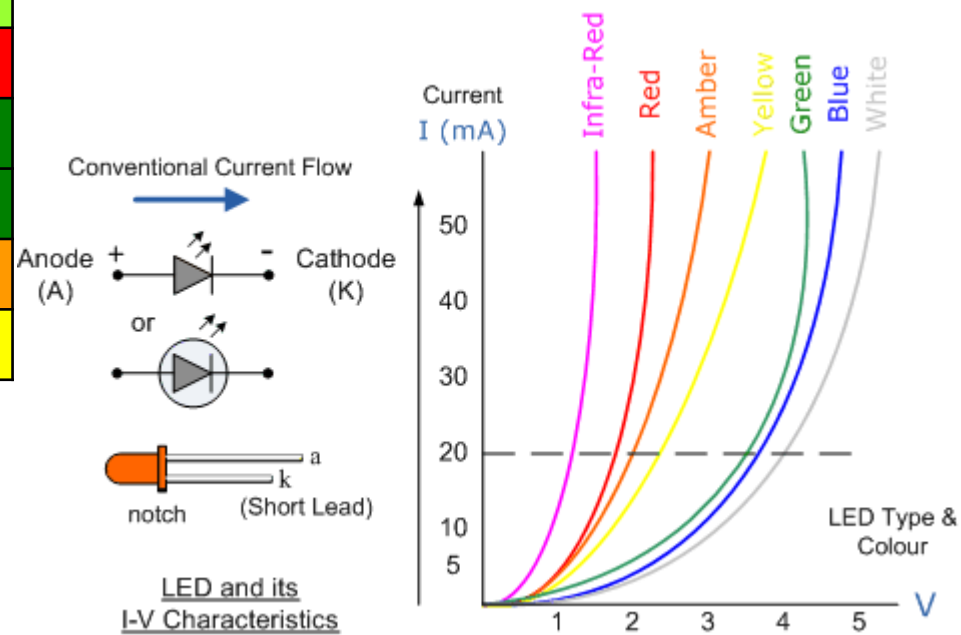
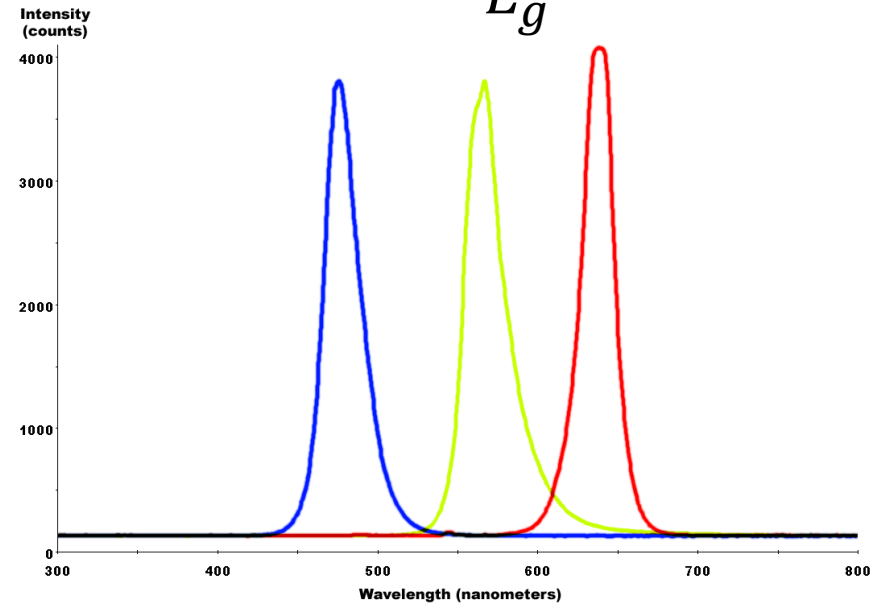
$$p_2 - p_1 \cong p_{\text{fononu}}$$

Aby mogła nastąpić emisja lub absorpcja światła, muszą zostać spełnione zasady zachowania energii i pędu (w kryształach tj. pseudopęd). Pęd fotonu jest do pominięcia w stosunku do pędu elektronu w ciele stałym. Dlatego emisja i absorpcja w półprzewodniku z prostą przerwą wzbronioną są dużo bardziej prawdopodobne niż w przypadku półprzewodnika ze skośną przerwą, gdzie w obydwu procesach musi wziąć udział trzecia cząstka – fonon. Inaczej nie zostanie spełniona zasada zachowania pędu.

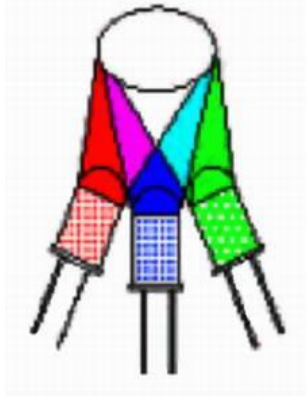
Widmo LED

GaAsP / GaAs 655nm / czerwone
GaP 568nm / żółto-zielone
GaP 700nm / jasno czerwone
GaAsP / GaP 610nm / bursztynowe
GaP 555nm / czysta zieleń
GaAsP / GaP 655nm / czerwone o wysokiej wydajności
GaP 568nm / żółto-zielone
GaAlAs / GaAs 660nm / czerwone
InGaAlP 574nm / zielone
InGaAlP 574nm/zielone
InGaAlP 620nm / pomarańczowe
InGaAlP 595nm / żółte

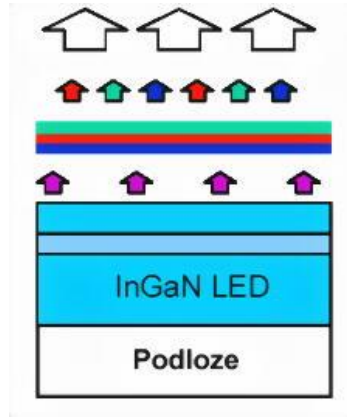
$$\lambda_p = \frac{hc}{E_g}$$



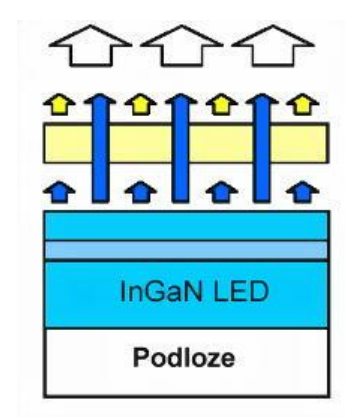
Sposoby otrzymywania białych emiterów LED



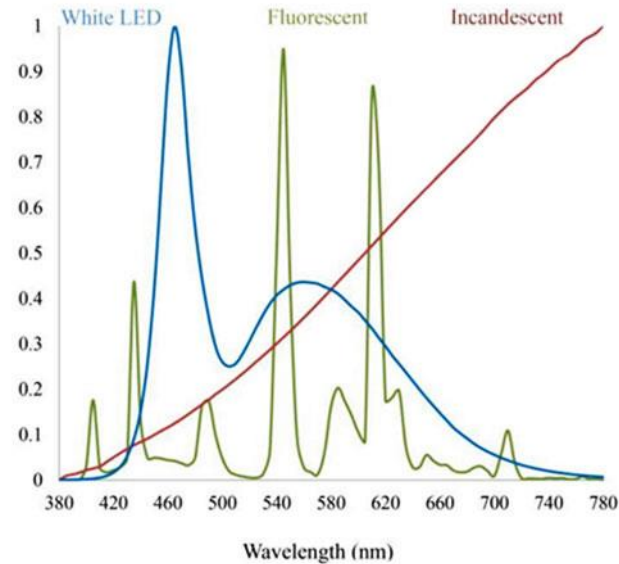
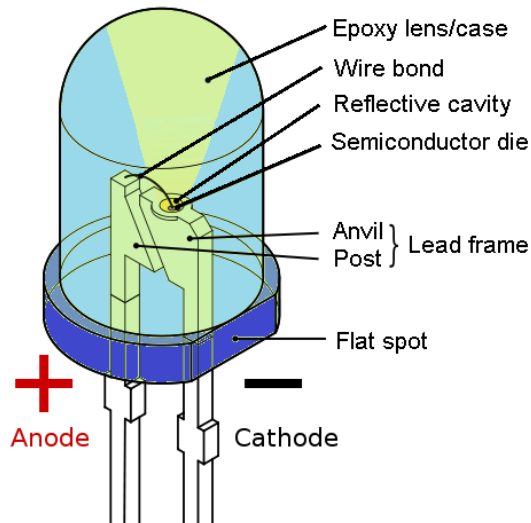
poprzez mieszanie trzech barw podstawowych



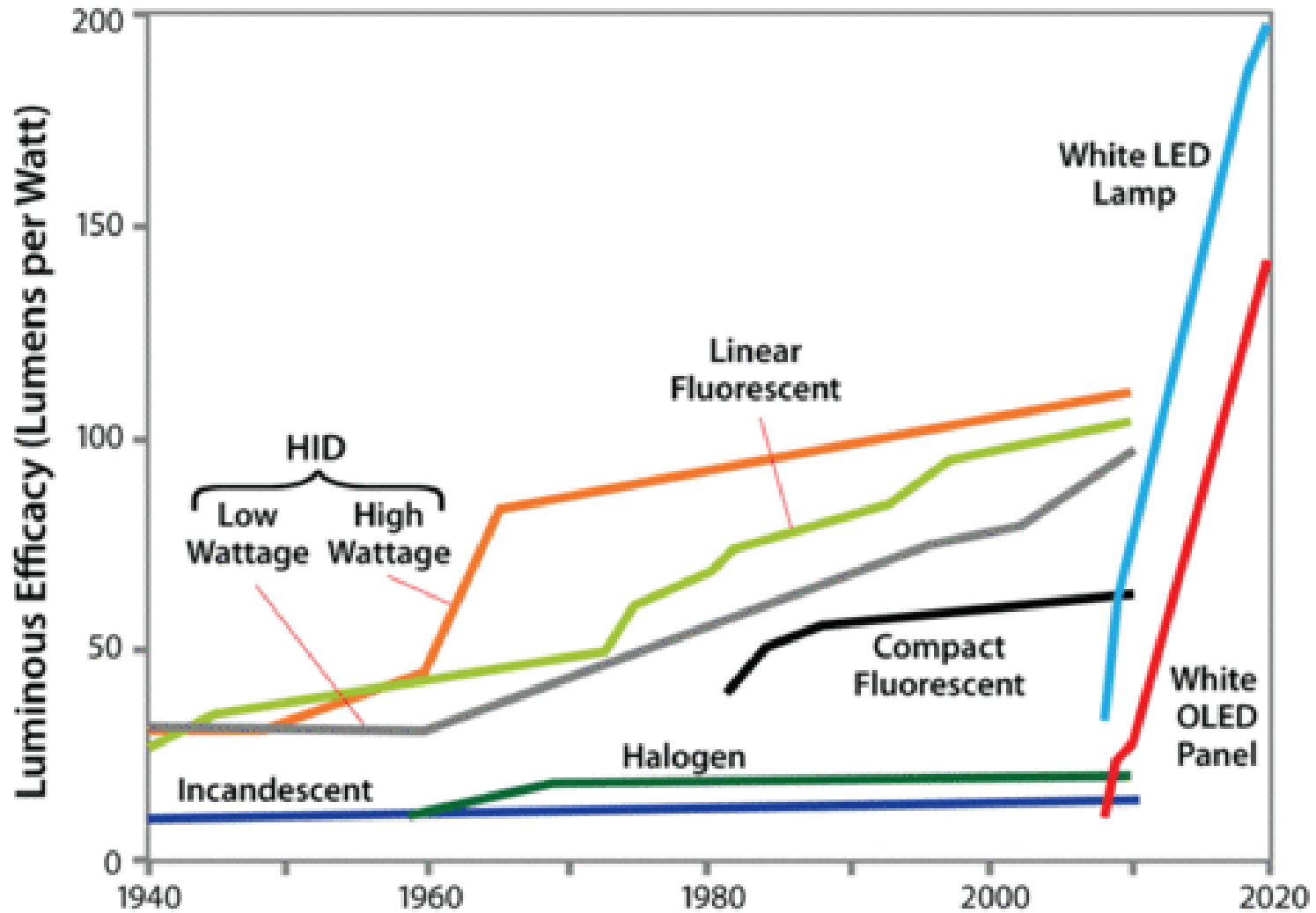
przez konwersję promieni UV w luminoforze RGB



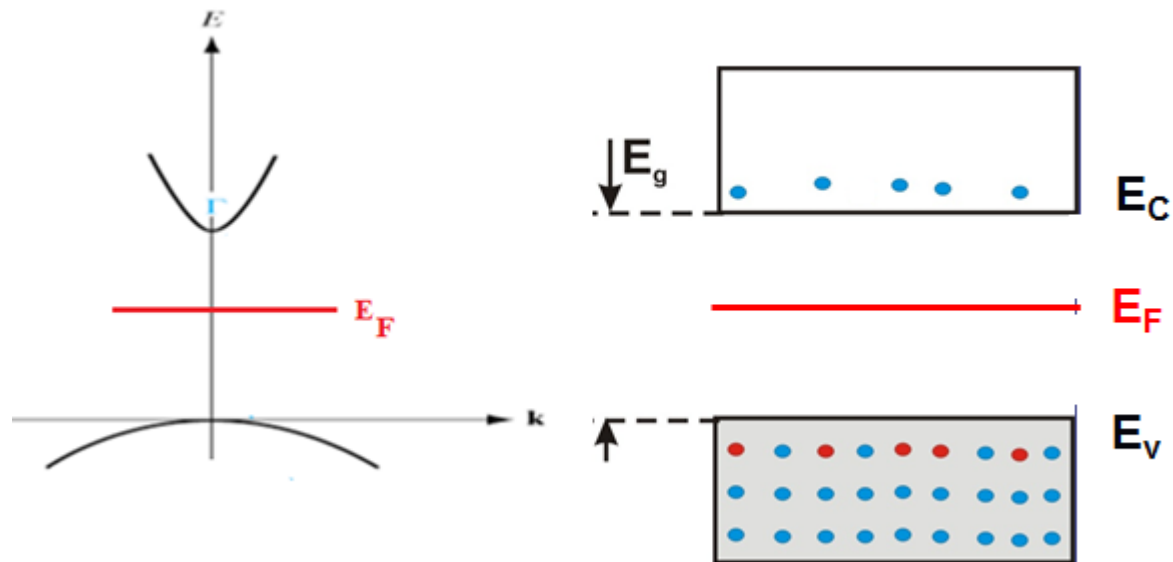
przez częściową konwersję promieni niebieskich w luminoforze żółtym



Wydajność świetlna LED

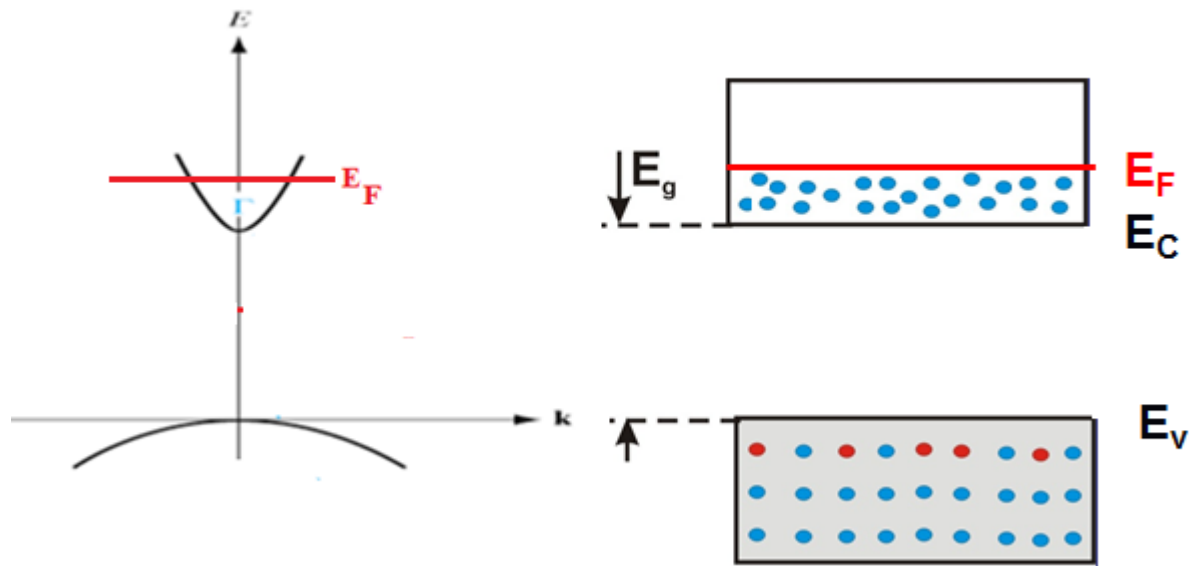


Półprzewodnik niezdegenerowany



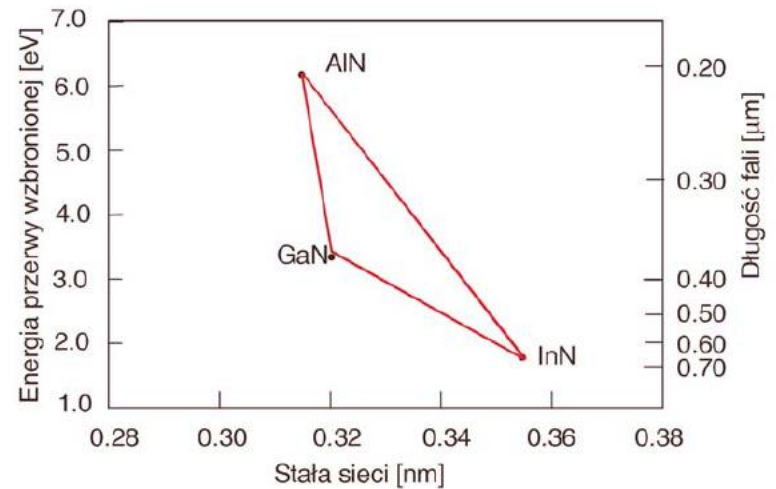
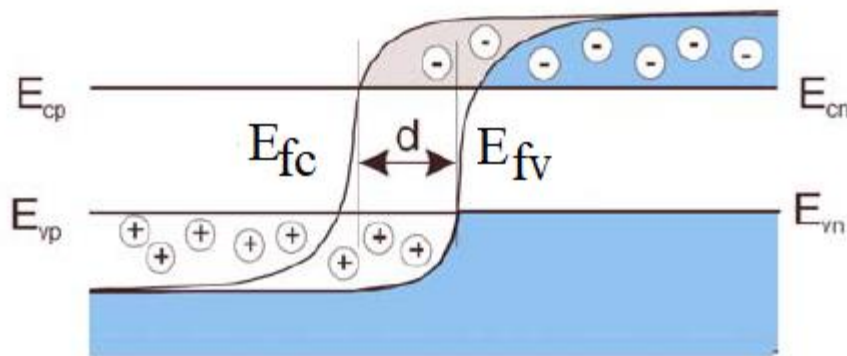
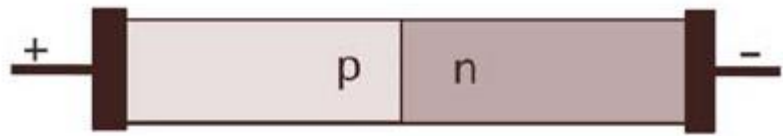
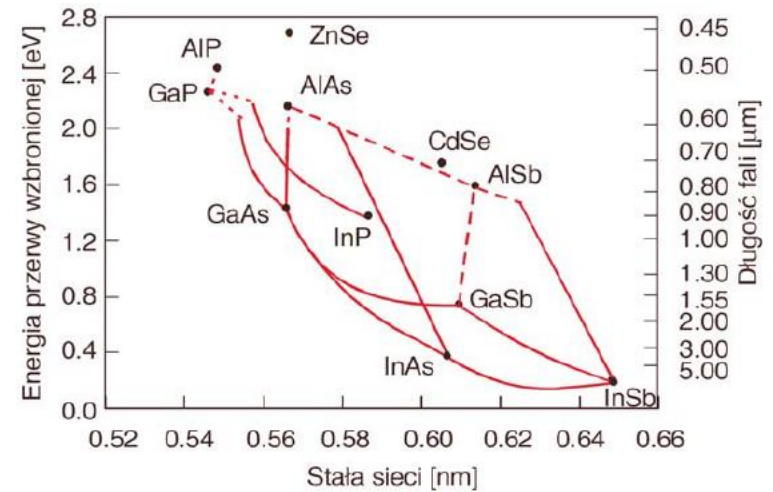
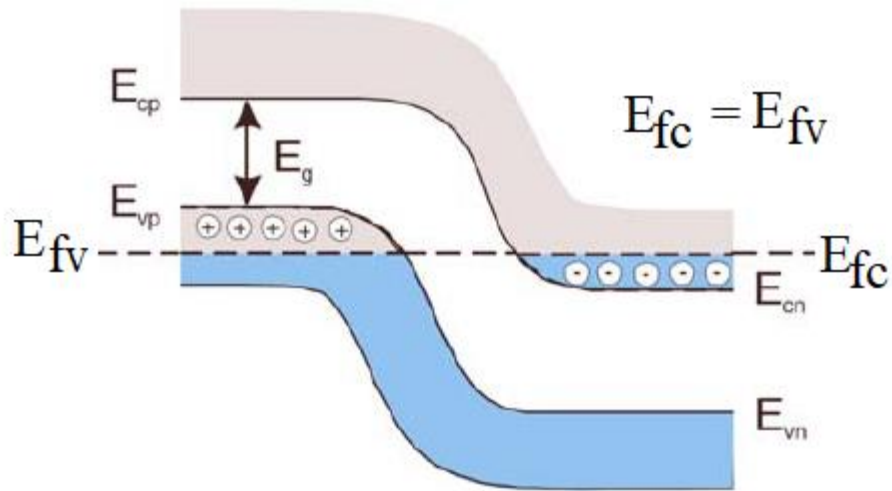
Poziom Fermiego znajduje się w obszarze przerwy wzbronionej

Półprzewodnik zdegenerowany typu n

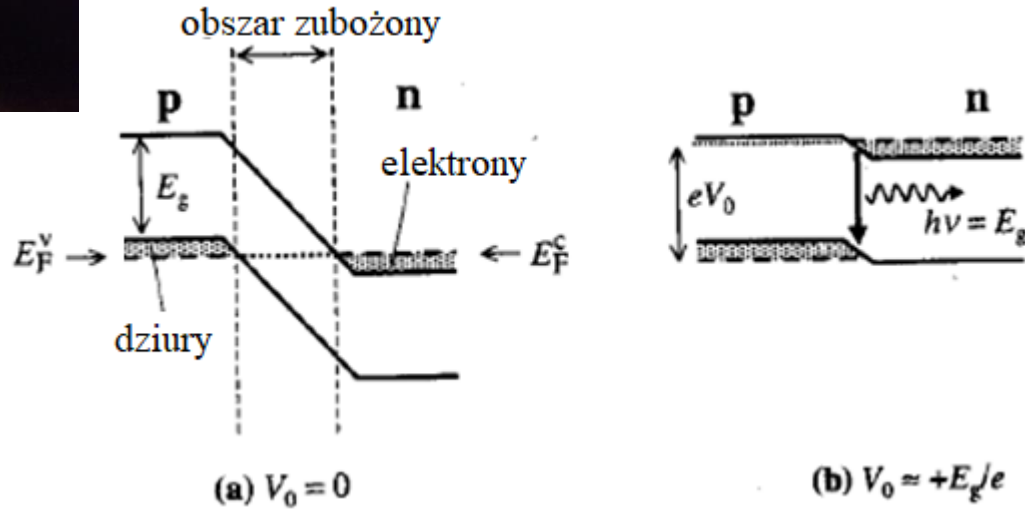
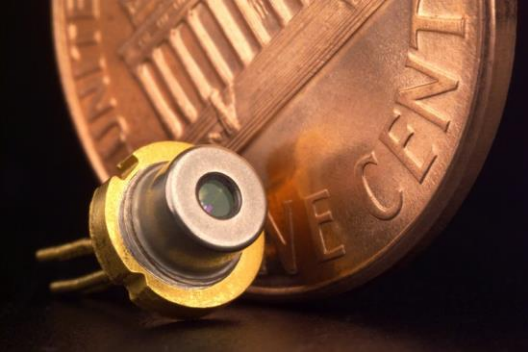


Poziom Fermiego znajduje się w obszarze pasma przewodnictwa

Laser homozłączowy



Laser półprzewodnikowy



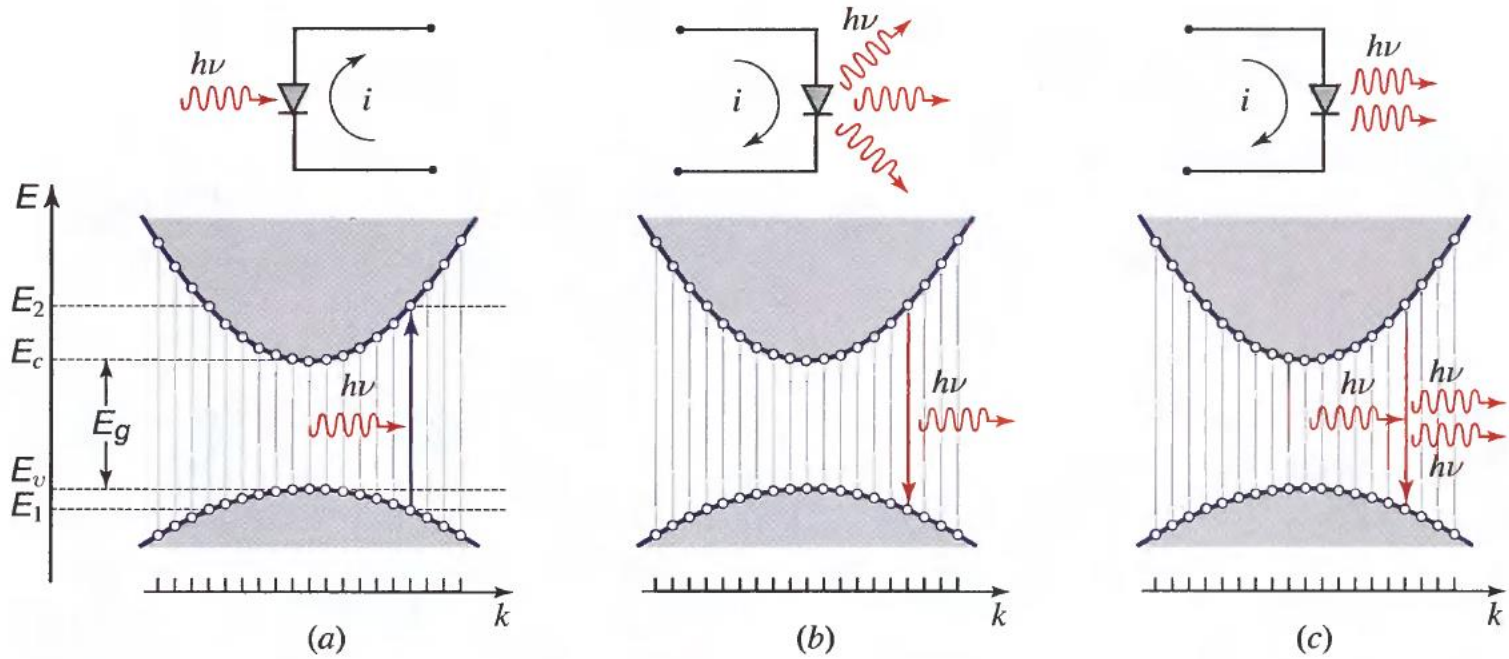
a) dioda bez polaryzacji

b) dioda spolaryzowana napięciem równym energii wzbronionej półprzewodnika.

Warunek wystąpienia akcji laserowej: $E_{fc} - E_{fv} > E_g$

- półprzewodniki zdegenerowane
- napięcie polaryzujące równe \sim przerwie wzbronionej (pompowanie)

Złącze p-n w optoelektronice



fotodioda

LED

laser