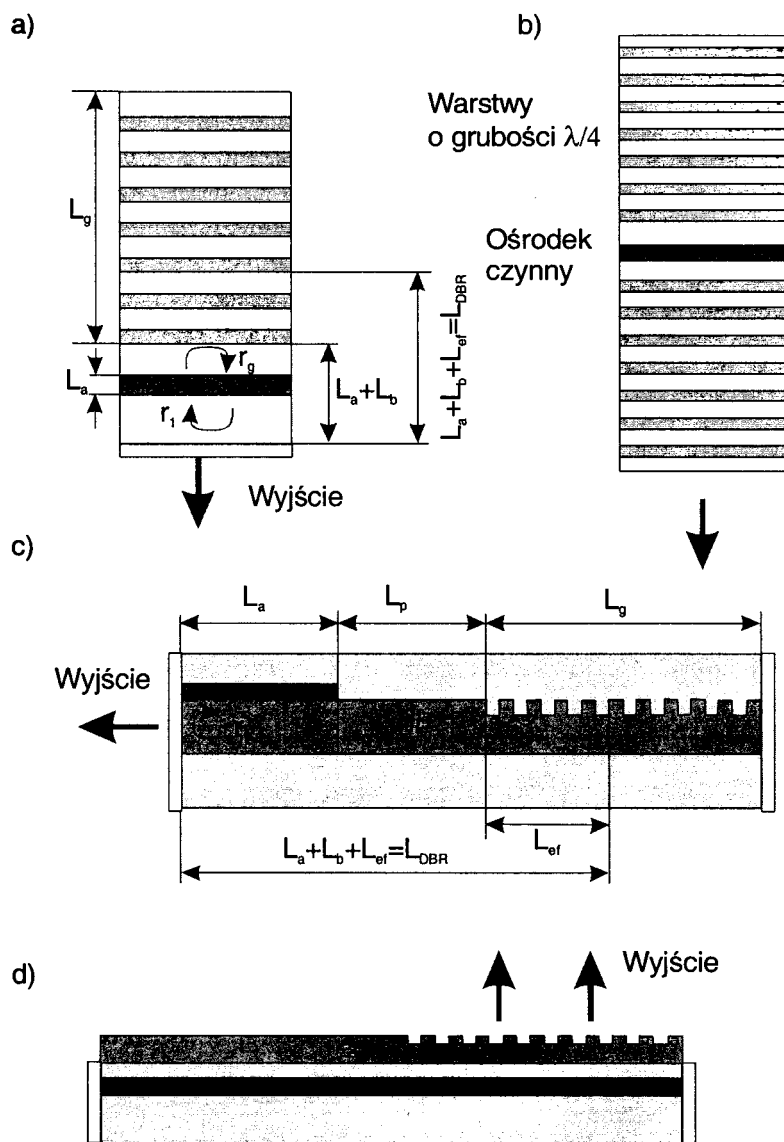


Rezonatory ze zwierciadłem Bragga

Siatki dyfrakcyjne stanowiące zwierciadła laserowe (zwierciadła Bragga) są powszechnie stosowane w laserach VCSEL, ale i w laserach z rezonatorem prostopadłym do płaszczyzny złącza.

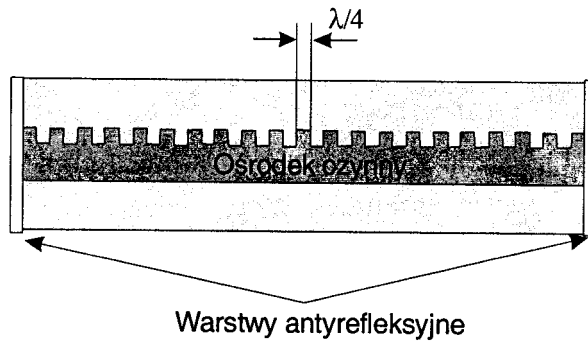


- a) laser VCSEL z jednostronnym zwierciadłem Bragga, b) zwierciadła Bragga z obu stron ośrodka czynnego, c) część ośrodka czynnego jest zwierciadłem Bragga, d). sprzężenie obszaru czynnego z siatka dyfrakcyjną.

Zasada: małe współczynniki odbić cząstkowych od powierzchni rozdziału ośrodków o różnych współczynnikach załamania składają się na duży całkowity współczynnik odbicia. Amplitudowy współczynnik odbicia zwierciadła dla częstotliwości Bragga:

$$r_g = |r_g| \exp[-2i(\beta - \beta_o)L_{ef}]$$

- Lasery z rozłożonym sprzężeniem zwrotnym (DFB)** – ośrodek czynny uformowany w postaci zwierciadła Bragga (w całości stanowi zwierciadło Bragga) – selektywnego, wymuszającego pracę jednomodową.



Schemat lasera DFB

2. Prąd progowy lasera półprzewodnikowego

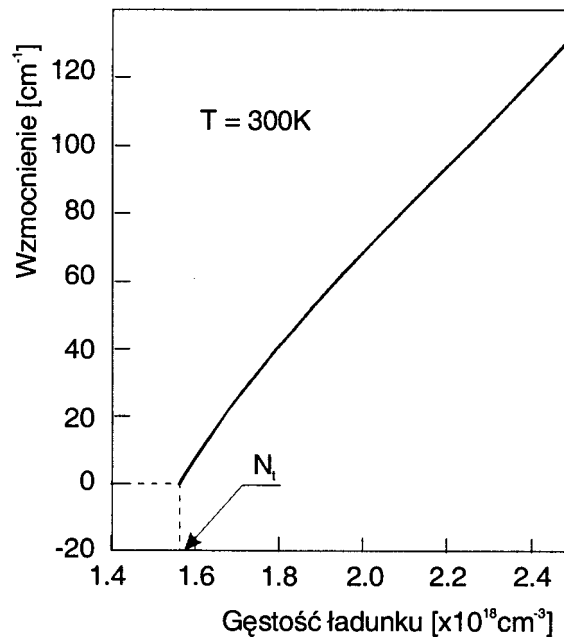
Wstrzykiwanie elektronów w obszar aktywny półprzewodnika przez złącze p-n spolaryzowane w kierunku przewodzenia – pompowanie. Jeśli gęstość wstrzykiwanych ładunków przekracza pewną gęstość progową, możliwa jest akcja laserowa.

$$J_t = ed \frac{8\pi\nu_o^2 \Delta\nu}{\eta c^3 g_o \tau_c}$$

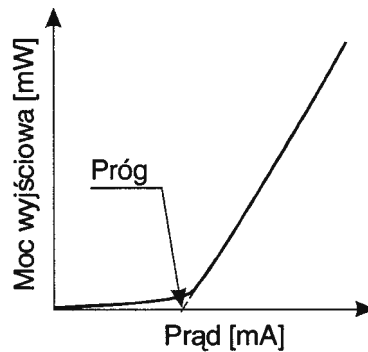
– czas spontanicznej rekombinacji, c- prędkość światła.

Prąd progowy zależy od wymiarów struktury (wprost proporcjonalnie), tzn. długości, szerokości i grubości warstwy czynnej oraz od czasu spontanicznej rekombinacji (odwrotnie proporcjonalnie). Sposób na zmniejszenie prądu progowego – zastosowanie heterozłącza, zmniejszenie masy efektywnej ładunków w paśmie walencyjnym oraz strat na przejścia bezpromieniste (Augera).

Zależność wzmocnienia od gęstości wstrzykiwanych elektronów:



N_t – inwersja progowa

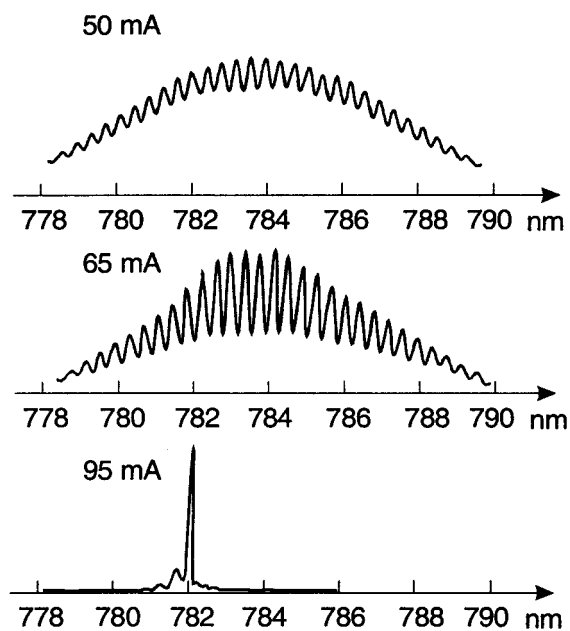


Typowa zależność mocy wyjściowej lasera półprzewodnikowego od natężenia prądu pompowania

Duże natężenie promieniowania we wnęce rezonansowej prowadzi do zmniejszenia wzmocnienia w wyniku nasycenia:

$I_s = \frac{1}{v\tau g}$, v – prędkość światła w materiale, τ – czas rekombinacji międzypasmowej, g – przekrój czynny na emisję wymuszoną.

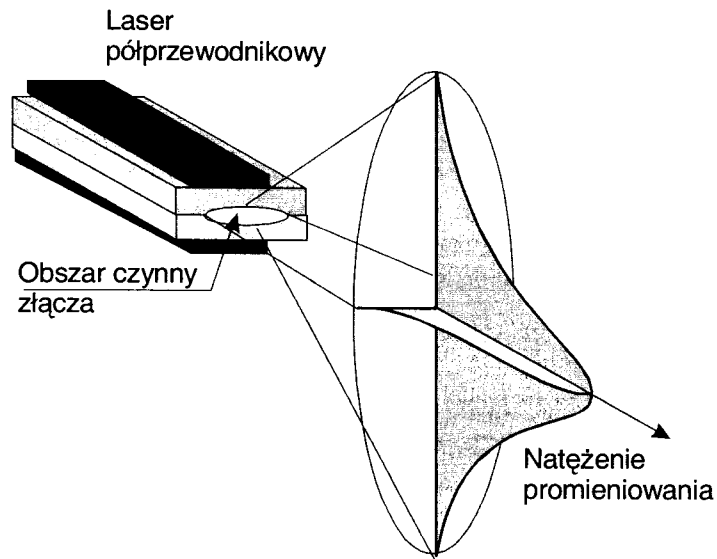
3. Właściwości promieniowania lasera półprzewodnikowego



Widma emisji lasera półprzewodnikowego w zależności od prądu zasilania

Widmo emisji laserowej zależy od temperatury tak silnie, że jej zmiana jest jednym z podstawowych metod strojenia. Zależą one też od prądu zasilania. Poniżej progu jest ono szerokie spektralnie. Dla prądu powyżej progu szerokość widma maleje i redukuje się ilość modów. Ze wzrostem prądu pompowania widmo przesuwają się w stronę niebieskiej części widma. Ze względu na krótką wnękę rezonansową pojawiają się mody podłużne. Promieniowanie laserów półprzewodnikowych jest spolaryzowane (TE).

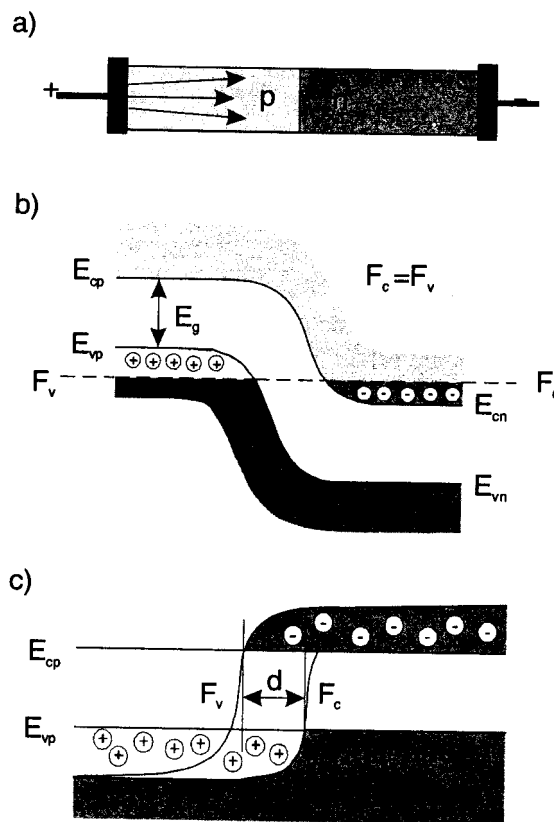
Rozkład przestrzenny promieniowania zdefiniowany jest przez dyfrakcje na granicy obszaru czynnego złącza (elipsa), rozbieżność w płaszczyźnie złącza - 10° , w prostokątnej do niej - 40° .



Rozkład przestrzenny promieniowania lasera półprzewodnikowego

4. Laser diodowe – homołączowe

Wykonane z jednego rodzaju półprzewodnika. Materiały n i p są tak silnie domieszkowane, że poziomy Fermiego znajdują się w pasmach: przewodzenia pp typu n i walencyjnym pp typu p.



a) schemat zasilania, b) poziomy energetyczne przy braku zasilania, c) zasilanie przy polaryzacji w kierunku przewodzenia

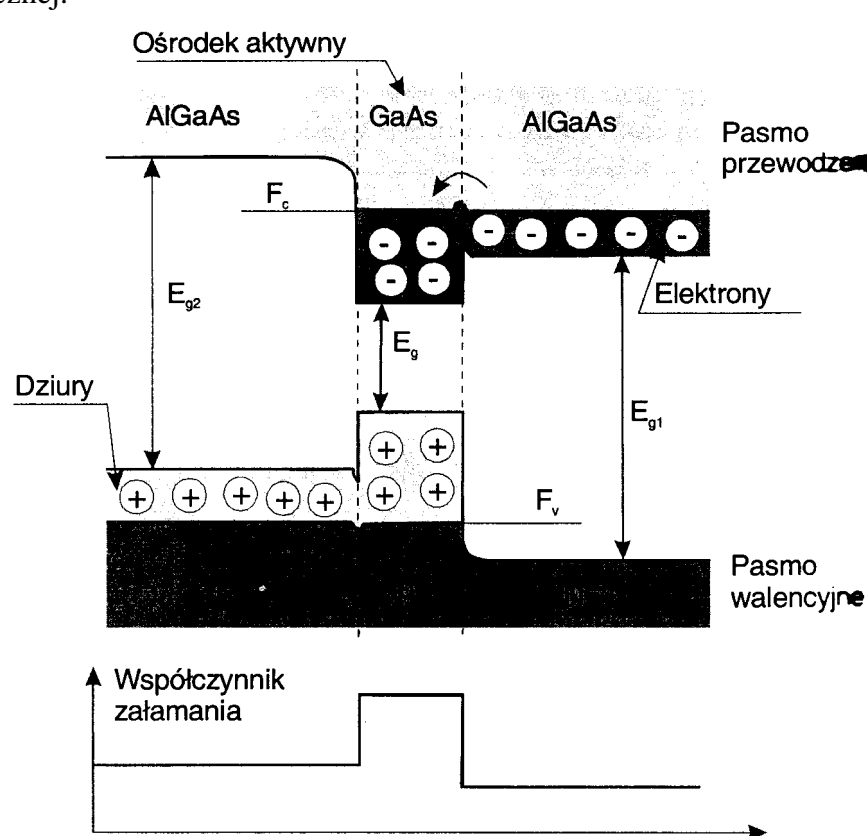
W pobliżu złącza występuje obszar o dużej gęstości elektronów i dziur. Głębokość wnikania nośników mniejszościowych – droga dyfuzji d (wyznacza granice obszaru, w którym możliwa jest inwersja obsadzeń):

$$d = (D\tau)^{1/2}, \quad D = \mu kT/e, \quad \text{progowa gęstość prądu: } J_t = \frac{ned}{\tau_c}$$

Otrzymana wartość jest dla tych laserów duża (kA/cm^2). Długość drogi dyfuzji statystycznie flutuuje – obszar, gdzie zachodzi rekombinacja jest więc słabo określony.

5. Lasery heterozłączone

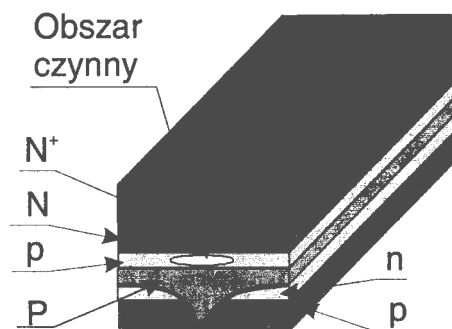
Znacznie mniejszy prąd progowy: GaAs i $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ o prawie identycznej budowie krystalograficznej.



Biheterozłączone laser półprzewodnikowy

Elektrony rekombinują wyłącznie w obszarze GaAs. Ze względu na barierę potencjału na złączu P-p elektrony nie mogą przedostać się do P, podobnie do obszaru N nie mogą przedostać się dziury – wyraźnie określony obszar rekombinacji ograniczony do paska pp typu p. Obszar ten ma większy współczynnik załamania niż sąsiadujące warstwy. Rozchodzące się w nim światło utrzymywane jest w tym obszarze dzięki całkowitym wewnętrznym odbiciom na granicach warstw. Gęstość fotonów rośnie, maleje prąd progowy.

Przykład lasera paskowego V-Channeled Substrate Inner Stripe używanego powszechnie w napędach CD-ROM i odtwarzaczach CD:

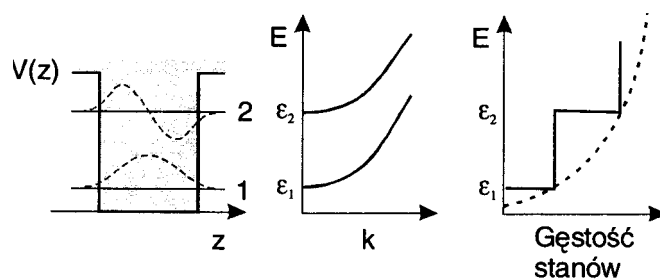


6. Lasery niebieskie i UV

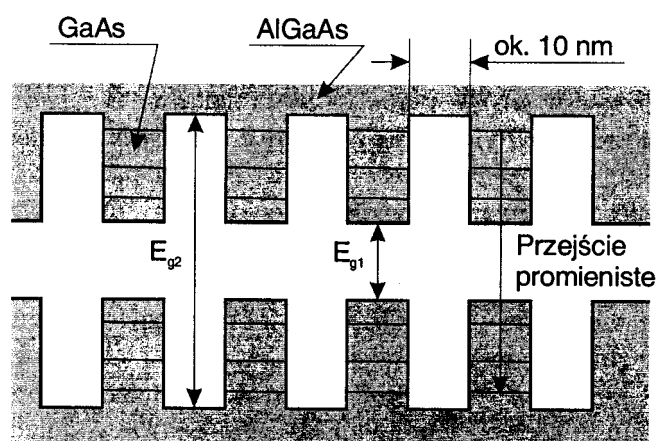
Zbudowany z InGaN ($2 < E_g < 6.2$ eV): 371 nm do 520 nm. Najpierw podłoże szafirowe (duża ilość dyslokacji) potem GaN. Sam GaN ($E_g = 3.39$ eV) (30 mW, $t = 300h$)

7. Lasery na studniach kwantowych (QW)

Obszar czynny – struktura o grubości kilkunastu nm.

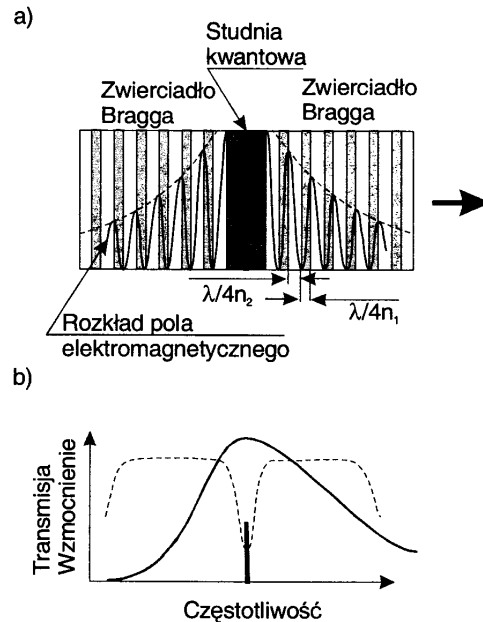


b)



Energia elektronów zawarta jest w mniejszym przedziale niż w typowych laserach (znaczne obniżenie prądu progowego). Lasery charakteryzują się większym wzmocnieniem i generują węższą linię.

8. **Lasery typu VCSEL** – Vertical Cavity Surface Emitting Lasers – emitują prostopadle do powierzchni złącza. Rezonatory złożone ze zwierciadeł Bragga. Odstęp między modami znacznie większy niż szerokość pasma wzmocnienia – praca na jednym modzie podłużnym.

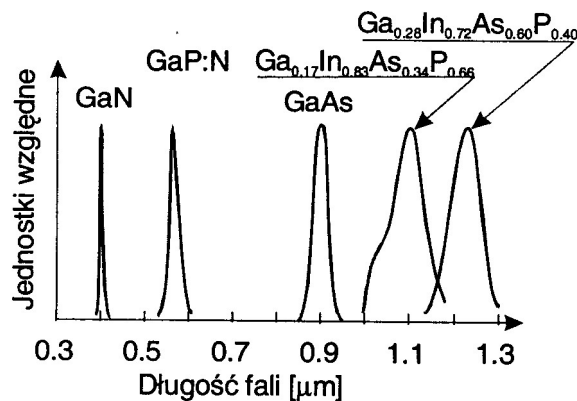


- a) rozkład pola elektromagnetycznego we wnęce, b) przerywana linia – transmisja zwierciadeł Bragga, ciągła linia – wzmocnienie ośrodka czynnego

Rozbieżność jest znacznie mniejsza niż w laserach krawędziowych – sprzężenie laserów ze światłowodami, mały prąd progowy. Objętość czynnego obszaru lasera VCSEL jest około 6 razy mniejsza od objętości lasera na QW ($10\text{nm}, 3\ \mu\text{m} - 6\ \mu\text{m}^3$).

9. Diody elektroluminescencyjne

Przepływ prądu w kierunku przewodzenia powoduje emisję niekoherentnego promieniowania (spontaniczna rekombinacja elektron-dziura). W laserach wykorzystuje się tylko przejścia pasmo-pasmo, w diodach elektroluminescencyjnych rekombinację z udziałem poziomów domieszkowych i rekombinację z udziałem ekscytonów (dziury i swobodne elektrony utrzymywane razem siłami Coulomba). GaP:O i Zn – czerwone światło, GaP:N – zielone – promieniowanie ekscytonowe.



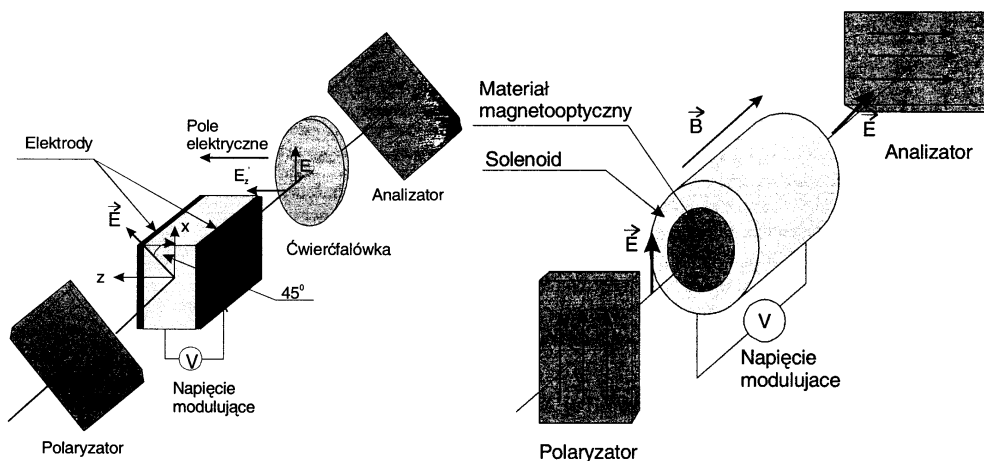
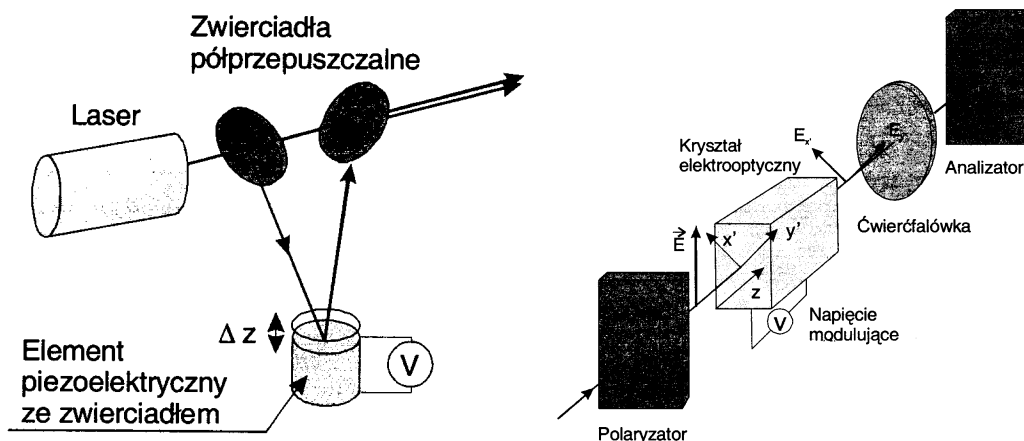
promieniowania

Materiał	Domieszka	Barwa
$GaAs$	Si	IR
GaP	N	Zielona
GaP	N, N	Żółta
GaP	Zn, O	Czerwona
$GaAs_{0.6}P_{0.4}$		Czerwona
$GaAs_{0.35}P_{0.65}$	N	Pomarańczowa
$GaAs_{0.15}P_{0.85}$	N	Żółta
$Ga_{0.6}Al_{0.4}As$	Zn	Czerwona
$Ga_xAl_{1-x}As$ ($1 < x < 0.7$)	Si	IR

Diody elektroluminescencyjne rzadko używa się w telekomunikacji. Szeroko zaś wykorzystuje w automatyce do transoptorów, wyświetlaczy, urządzeń liczących, wskaźników i urządzeń kontrolnych.

Typowe materiały na budowę diód elektroluminescencyjnych:

GaAs, GaP, InAs, InSb, GaSb, GaAlAs, GaAsP, InGaAsP, ZnS, ZnSe, CdTe, PbS, PbTe itp. Produkuje się diody świecące od zieleni do dalekiej podczerwieni. Światło emitowane przez DEL jest spektralnie szersze od promieniowania lasera półprzewodnikowego. Moc wyjściowa DEL liniowo zależy od prądu.



Na podstawie: Zientek, Optoelektronika, Toruń 2004