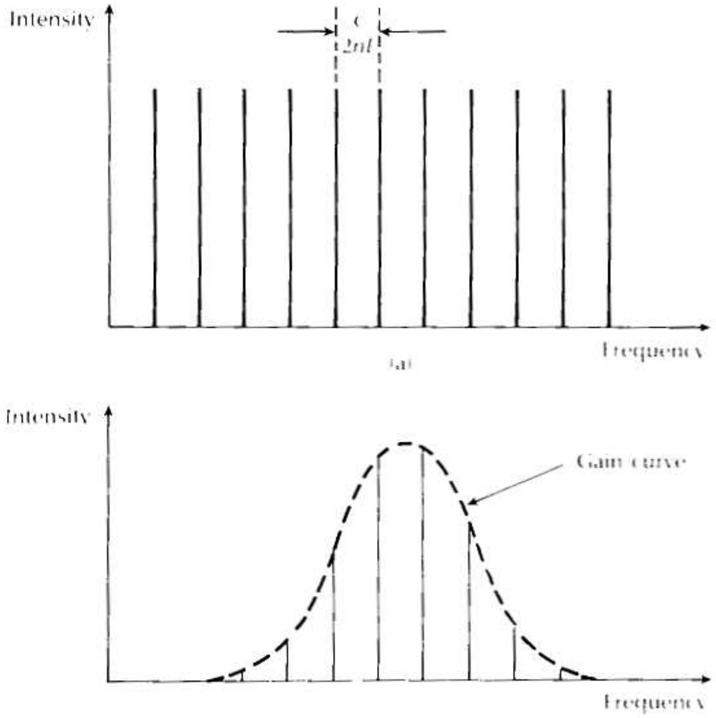
Widmo lasera



Dlaczego krzywa wzmocnienia ma niezerową szerokość?

- Inwersja obsadzeń zanika na skutek skończonego czasu przebywania systemu w stanie wzbudzonym
- Oznacza to, że sygnał emitowany też zanika

$$e(t) = E_0 e^{-t/\tau} \cos \omega_0 t$$

Transformata Fouriera

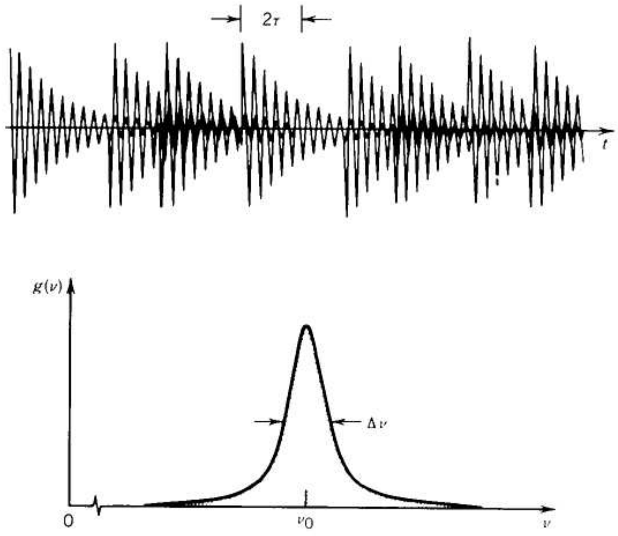
$$E(\omega) = \frac{E_0}{2} \left[\frac{j}{\omega_0 - \omega + j\sigma/2} - \frac{j}{\omega_0 - \omega - j\sigma/2} \right]$$

$$|E(\omega)|^2 \propto \frac{1}{(\omega - \omega_0)^2 + (\sigma/2)^2}$$

Jest to krzywa Lorentza - dla porównania w obwodzie RLC

$$\frac{1}{(f - f_0)^2 + (f_0/2Q)^2}$$

$Q = 2\pi f_0 C R$

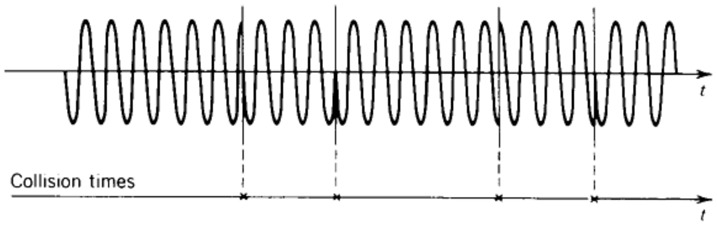


Rysunek 1: *Poszerzenie jednorodne* $\Delta\nu = 1/(2\pi\tau)$

Czas życia w stanie wzbudzonym, decydujący o poszerzeniu jednorodnym, zależy od

- Średniego czasu życia (bez żadnych czynników zewnętrznym)
- Kolizji atomu z fononami (w sieci krystalicznej)
- Wzmożonych kolizji międzyatomowych w gazach pod ciśnieniem
- Dla gazów - kolizja ze ściankami

Tego typu zjawiska dotyczą wszystkich atomów - stąd nazwa poszerzenie jednorodna



Rysunek 2: *Poszerzenie jednorodne spowodowane zmianą fazy przy kolizjach o częstotliwości* f_{col}. $\Delta\nu = f_{col}/\pi$

Kwantowo-mechaniczny opis poszerzenia
Zasada nieoznaczoności Heisenberga

$$\Delta E \Delta t = \hbar \to \Delta E = \frac{\hbar}{\Delta t} = \frac{\hbar}{\tau}$$

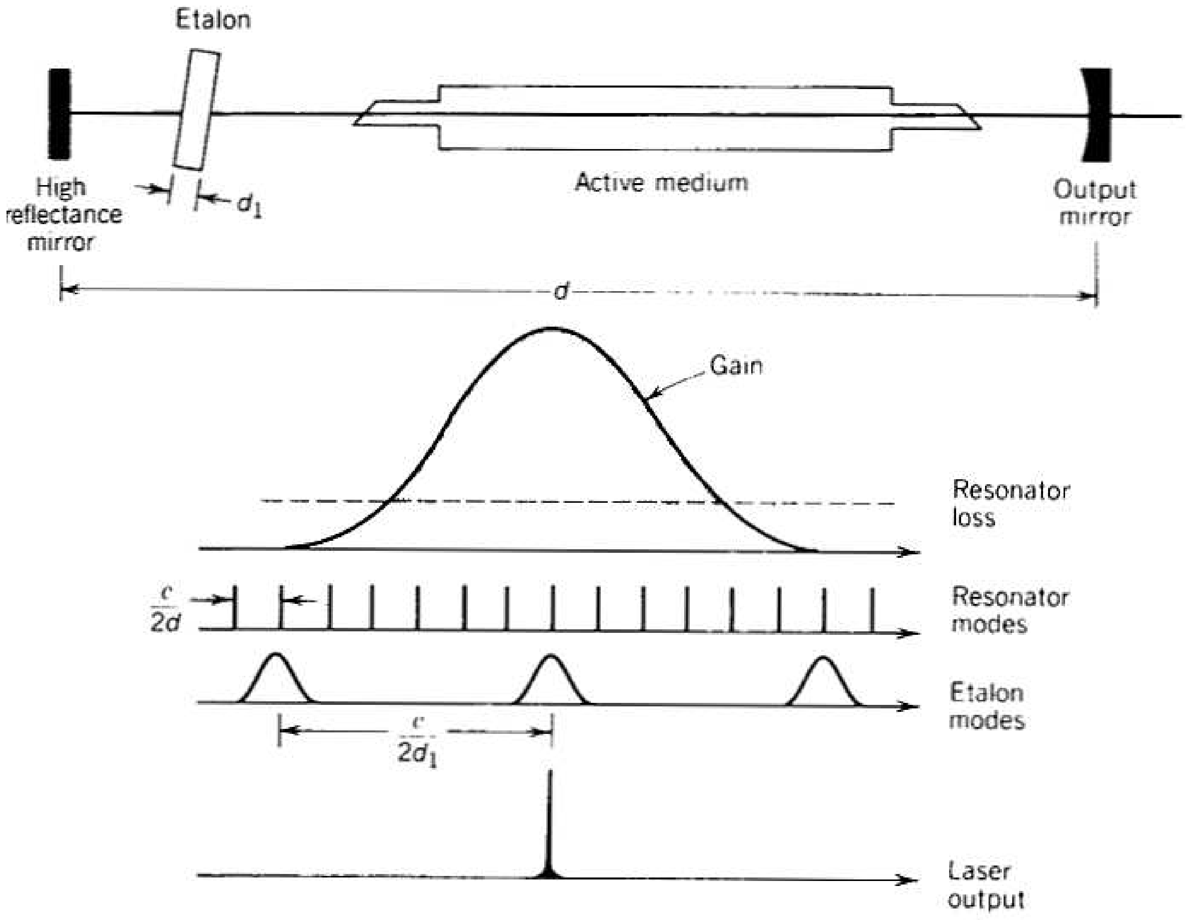
$$\Delta \nu = \frac{1}{2\pi\tau}$$

Poszerzenie niejednorodne

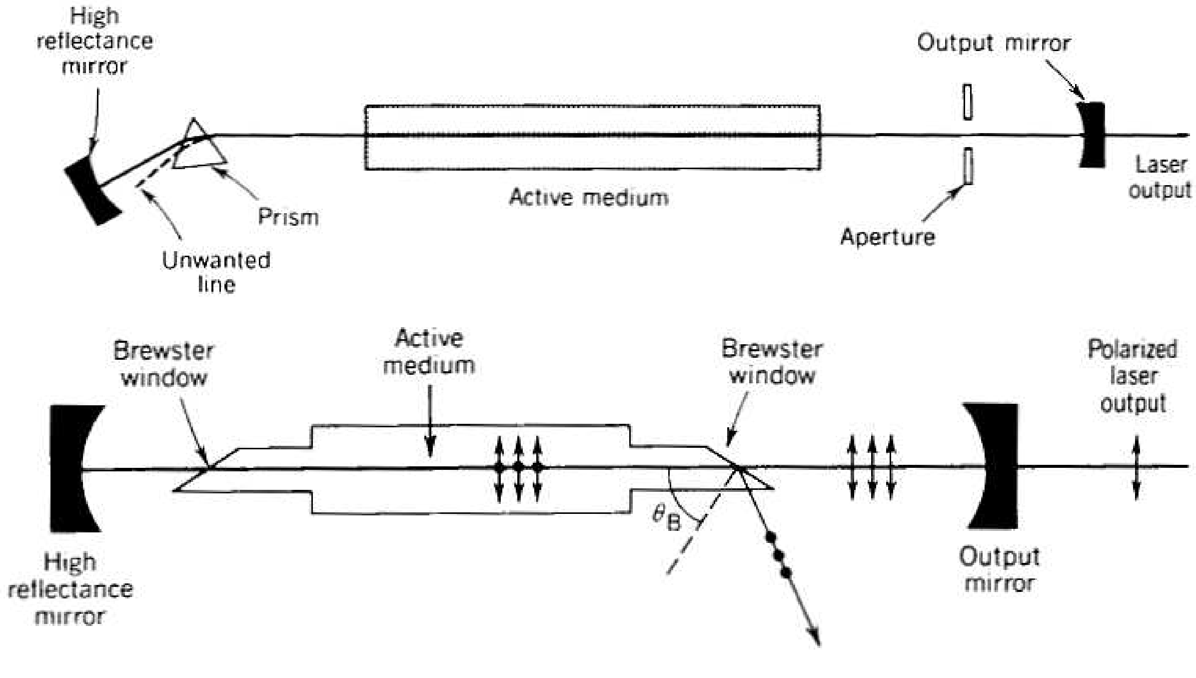
- Niejednorodności sieci krystalicznej np defekty - lokalne defekty stanów energetycznych
- W gazach - atomy są w ruchu - dla każdego częstotliwość emitowanych fotonów zależy od prędkości

  $$f = f_0 + \frac{v_x}{c} f_0$$

  Powoduje to poszerzenie dopplerowskie -np laser He-Ne $\to \Delta\nu_D = 1.5$GHz.



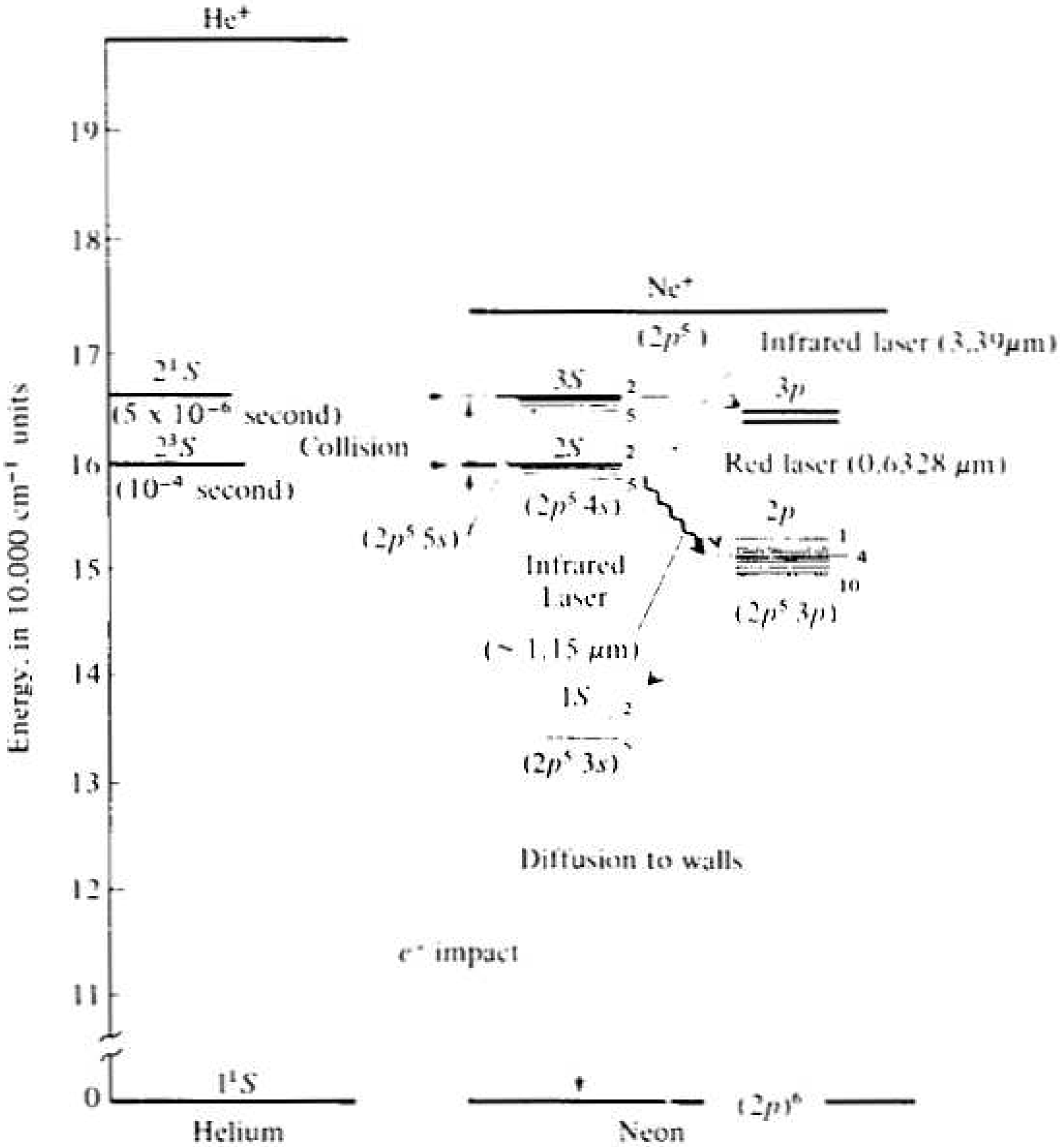
Rysunek 3: *Selekcja prążka widma w laserze*



Rysunek 4: *Eliminacja niepożądanego modu i polaryzacji*

Laser helowo - neonowy

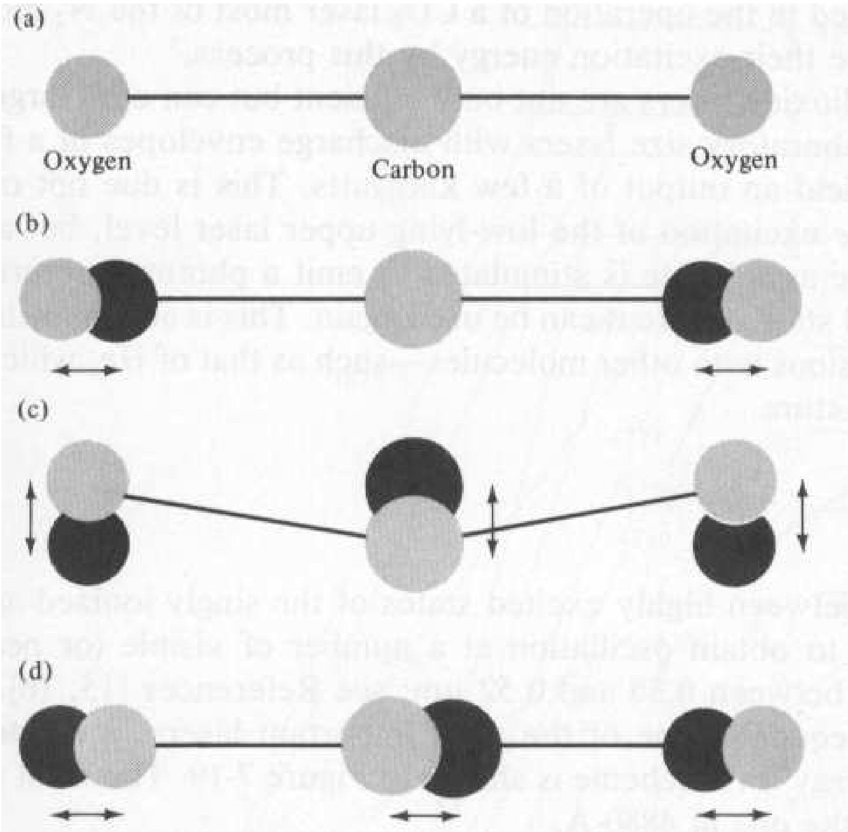
- Pompowanie - wyładowanie elektryczne - via He
- Akcja laserowa - pomiędzy poziomami N_2



Rysunek 5:

Lasery cząsteczkowe - laser CO_2

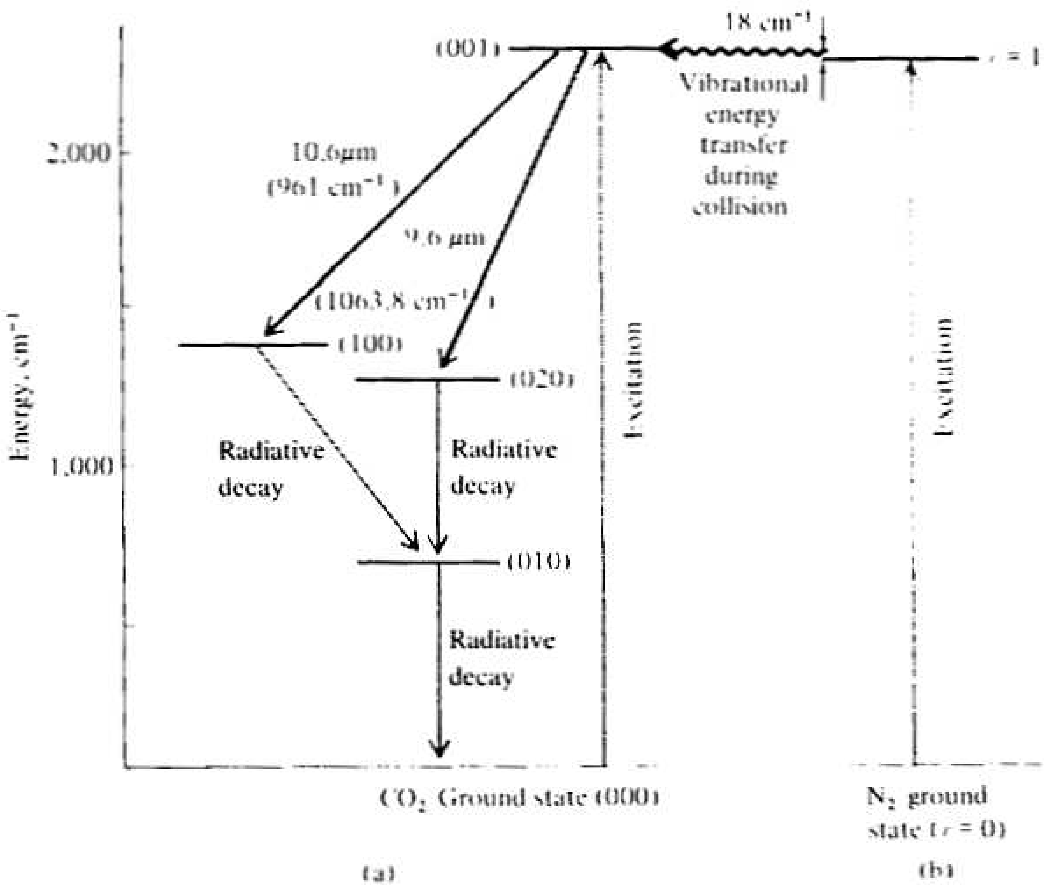
Wykorzystuje się nie tyle przejścia atomowe ale zmiany energii związane z wibracją cząsteczek Pozwalają ociągnąć kW mocy ciągłej przy $\lambda = 10.6\mu$m



Rysunek 6: *Wibracje molekuły CO_2*

Możliwe są deformacje

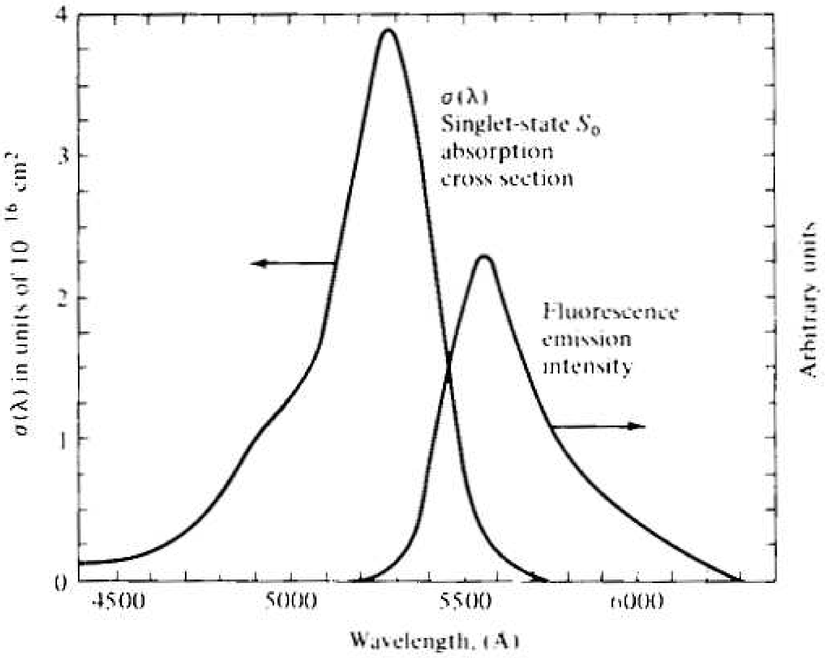
- asymetryczno-walencyjne np 100, 200
- poprzeczne np 010 020
- symetryczno-walencyjne np 001, 002



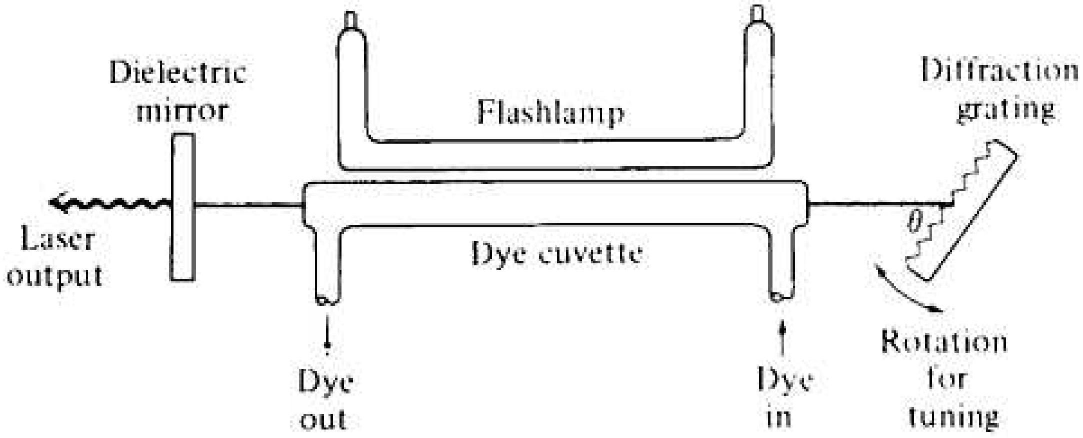
Rysunek 7: *Schemat pracy lasera CO_2*

Lasery barwnikowe

- Bardzo szerokie widmo absorpcji i fluorescencji
- Oba widma przesunięte względem siebie



Rysunek 8: *Widmo absorpcji i fluorescencji dla rodaminy 6G*

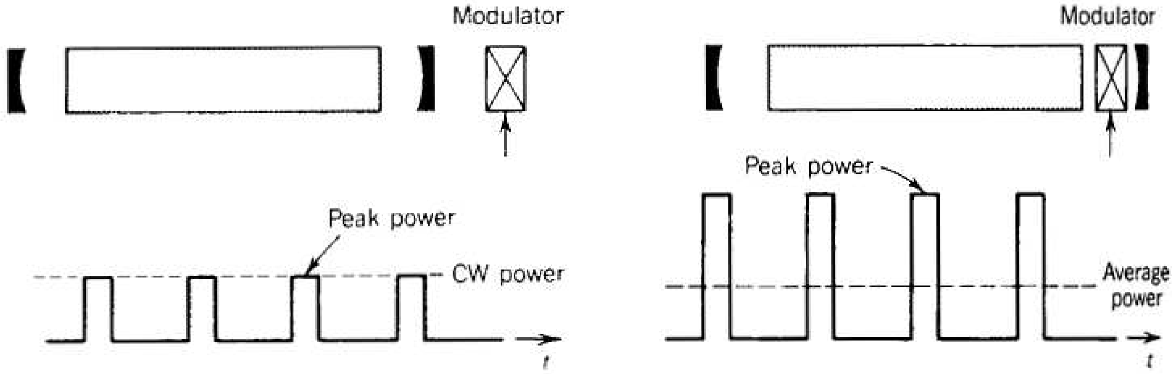


Rysunek 9: *Przestrajany laser barwnikowy*

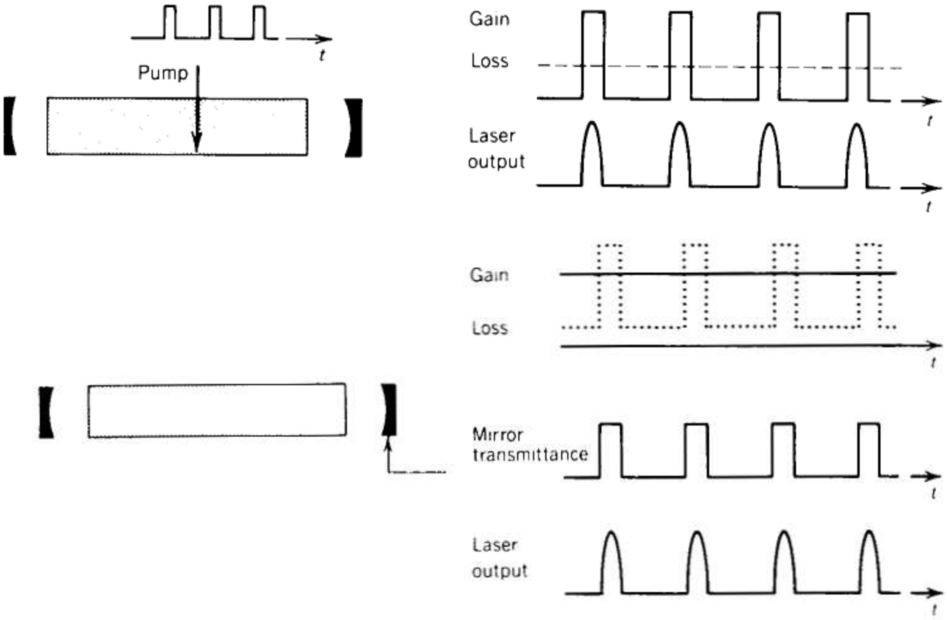
Inne lasery gazowe

- Ekscimerowe - lasery b.dużych energii. Dają promieniowanie w zakresie UV (przemysł elektroniczny). Wykorzystują gazy szlachetne Xe, Kr, Ar, które w stanie wzbudzonym mogą się łączyć w dimery z F, CL, Br, I. Stan podstawowy zawsze PUSTY - mogą być przestrajane

Lasery impulsowe

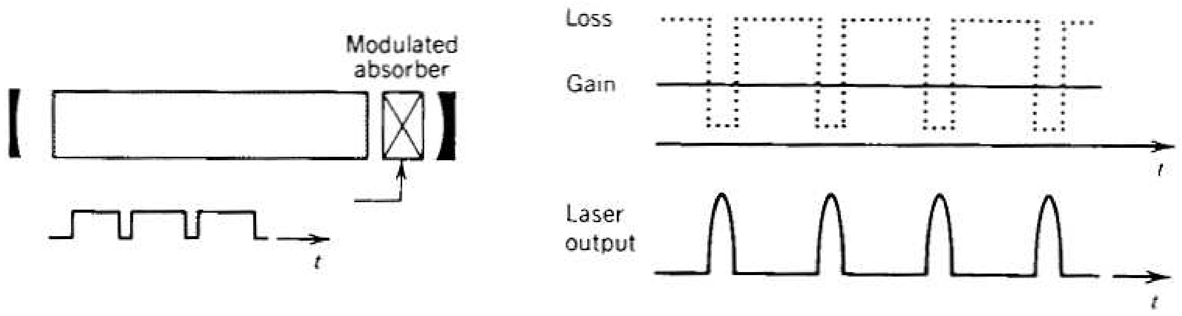


Rysunek 10: *Modulacja wewnętrzna i zewnętrzną lasera*

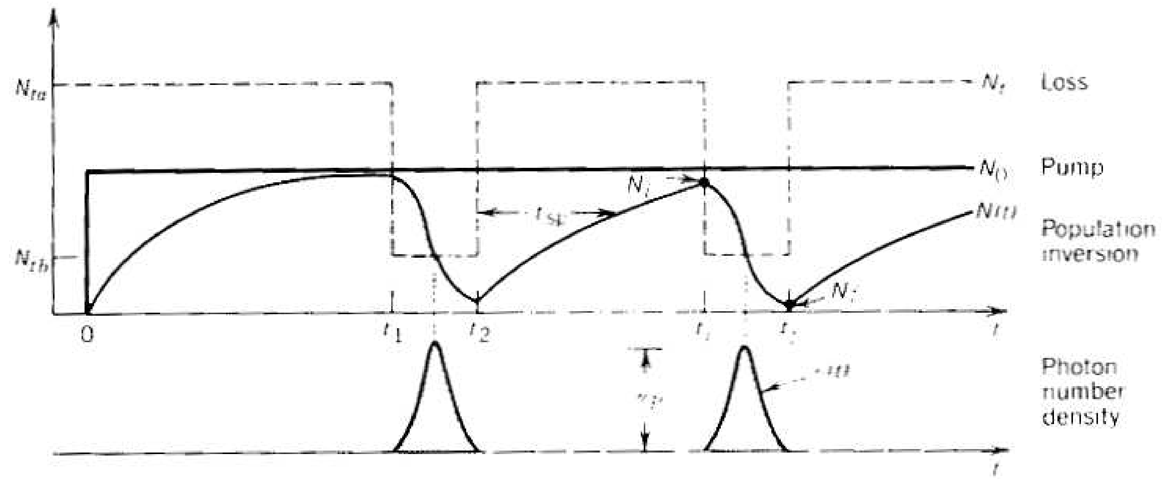


Rysunek 11: *Uzyskiwanie impulsów metodą modulacji pompy i opróżniania modulatora*

Laser Q-przełączane



Rysunek 12: *Modulacja dobroci - Q przełączanie*



Rysunek 13: *Praca lasera z modulacją dobroci*

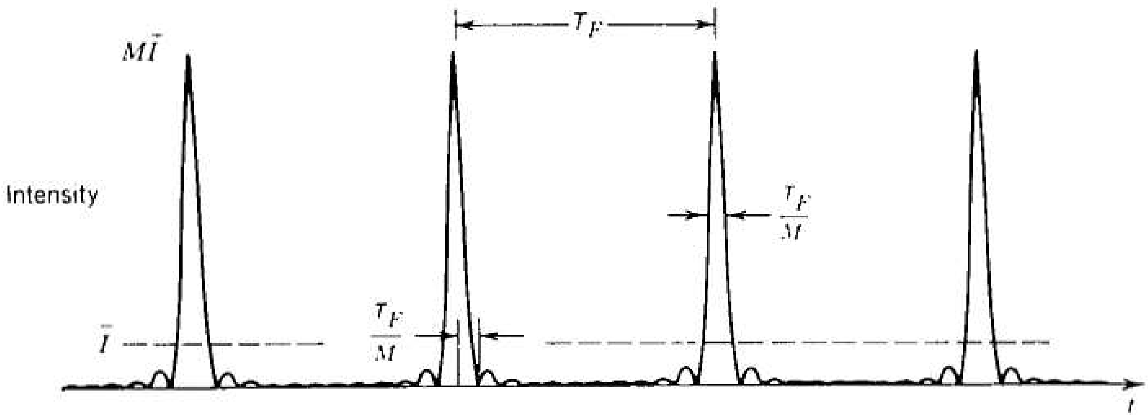
Laser z selekcją modów

- Wykorzystuje się pracę wielomodową!! - mody odległe są o $\Delta\omega = \frac{\pi c}{l}$
- Dyskretna transformata Fouriera DOWOLNEGO sygnału o prążkach odległych o $\Delta\omega \to$ funkcja okresowa $e(t) = e(t+T)$ gdzie $T = 2\pi/\Delta\omega$
- Jeśli M modów oscyluje to ich suma daje sygnał

$$e(t) = \sum_{n=1}^{M} a_n e^{j(\omega_0 + n\Delta\omega)t + j\phi_n}$$

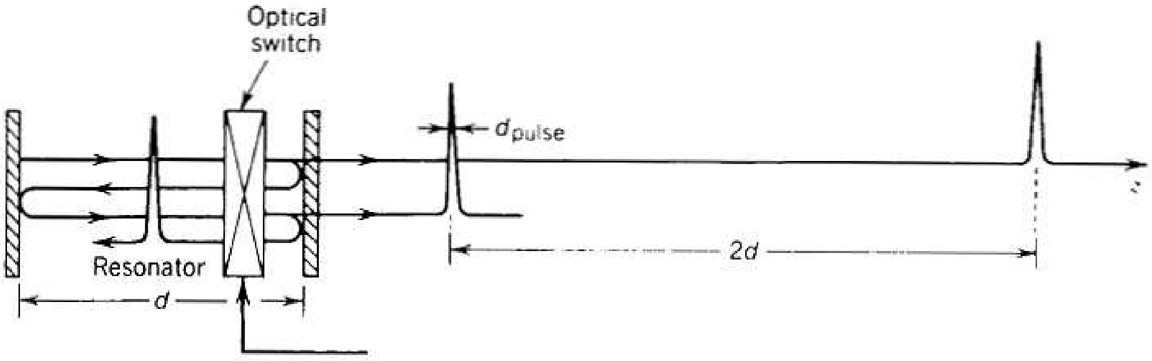
- Jeśli wszystkie fazy są identyczne $\to$ superpozycja

$$P_0 \propto \frac{\sin^2(M\Delta\omega t/2}{\sin^2 \Delta\omega t/2}$$

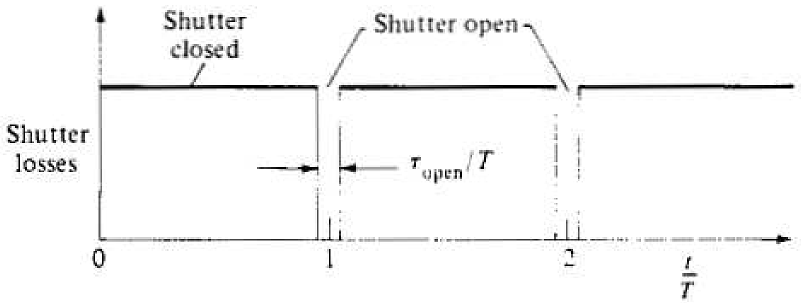


Rysunek 14: *Widmo amplitudowe M-harmonicznych o identycznych fazach*

Długość pulsu - zależy od liczby modów w przybliżeniu $t \propto (\Delta\nu)^{-1}$
Częstotliwość repetycji $T = 2l\acute{c}$



Rysunek 15: *Laser z aktywną selekcją modów*

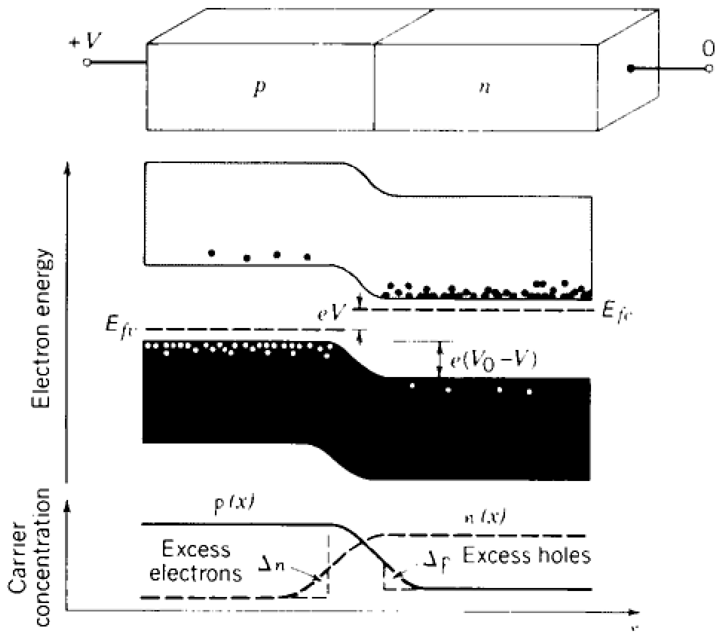


Rysunek 16: *Praca migawki w laserze z aktywną selekcją modów*

- Aktywna selekcja modów: Straty w rezonatorze F-P modulowane z pulsacją $\Delta\Omega = \pi c ł$
- Pasywna selekcja modów - materiał o nieliniowej charakterystyce absorpcji - absorpcja zmniejsza się z poziomem sygnału.

Emisja spontaniczna i wymuszona w półprzewodnikach

Dioda p-n spolaryzowana w kierunku przewodzenia



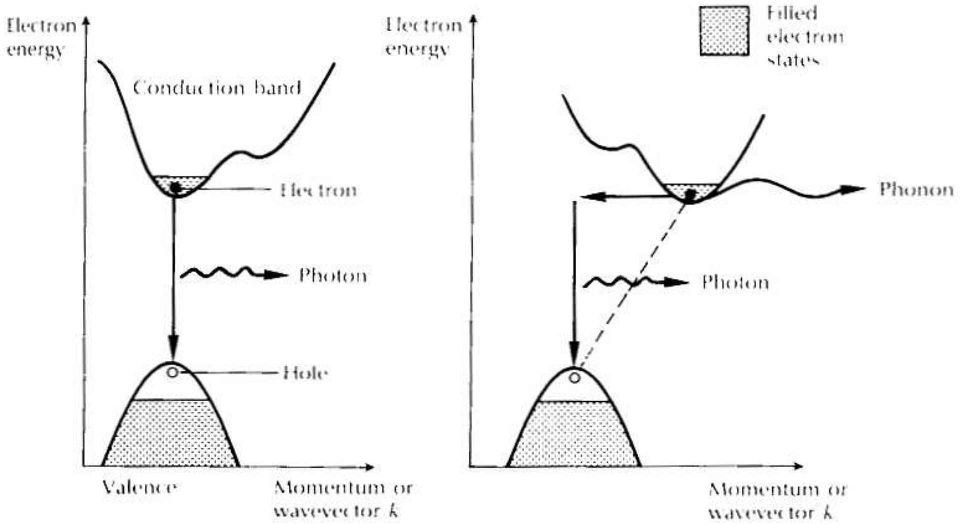
Rysunek 17:

Przejście elektronu z pasma przewodzenia do pasma walencyjnego generuje kwant promieniowania o częstotliwości odpowiadającej szer. pasma zabronionego.
Czy wszystkie diody świecą?

- Elektron poruszający się w sieci krystalicznej ma energie zależną od prędkości, masy efektywnej i kierunku
- Kierunek poruszania się elektronu w sieci i prędkość związane są z momentem pedu a ten z wektorem falowym $\vec{k}$

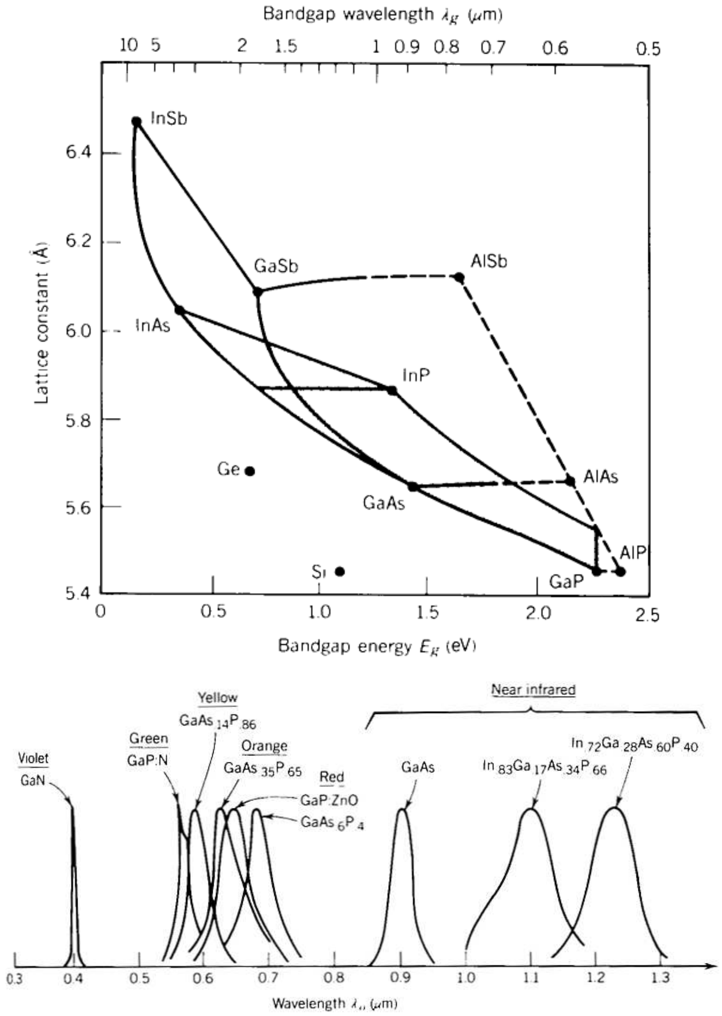
Typy materiałow półprzewodnikowych

- O skośnej przerwie energetycznej (indirect gap) (Si, Ge, GaP)
- O prostej przerwie energetycznej (direct gap) GaAs, GaSb, InP, InAs, InSb



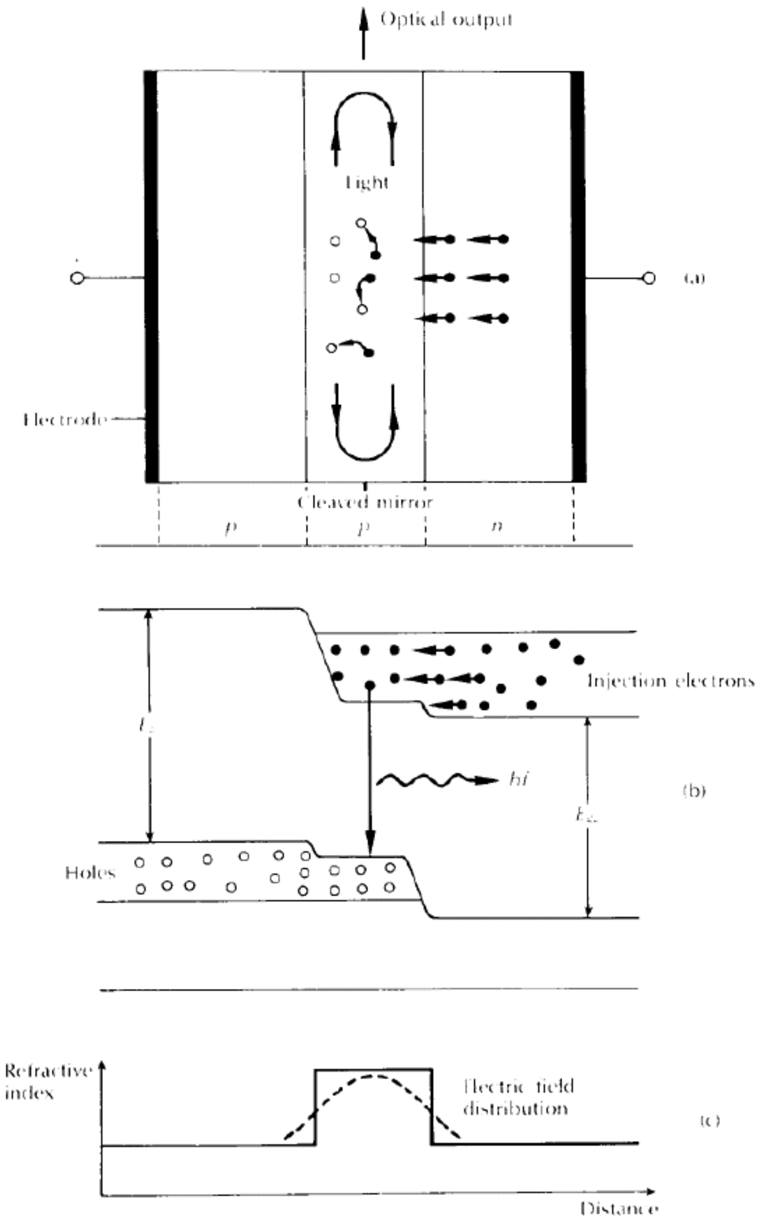
Rysunek 18:

Możliwość doboru szerokości przerwy energetycznej



Rysunek 19:

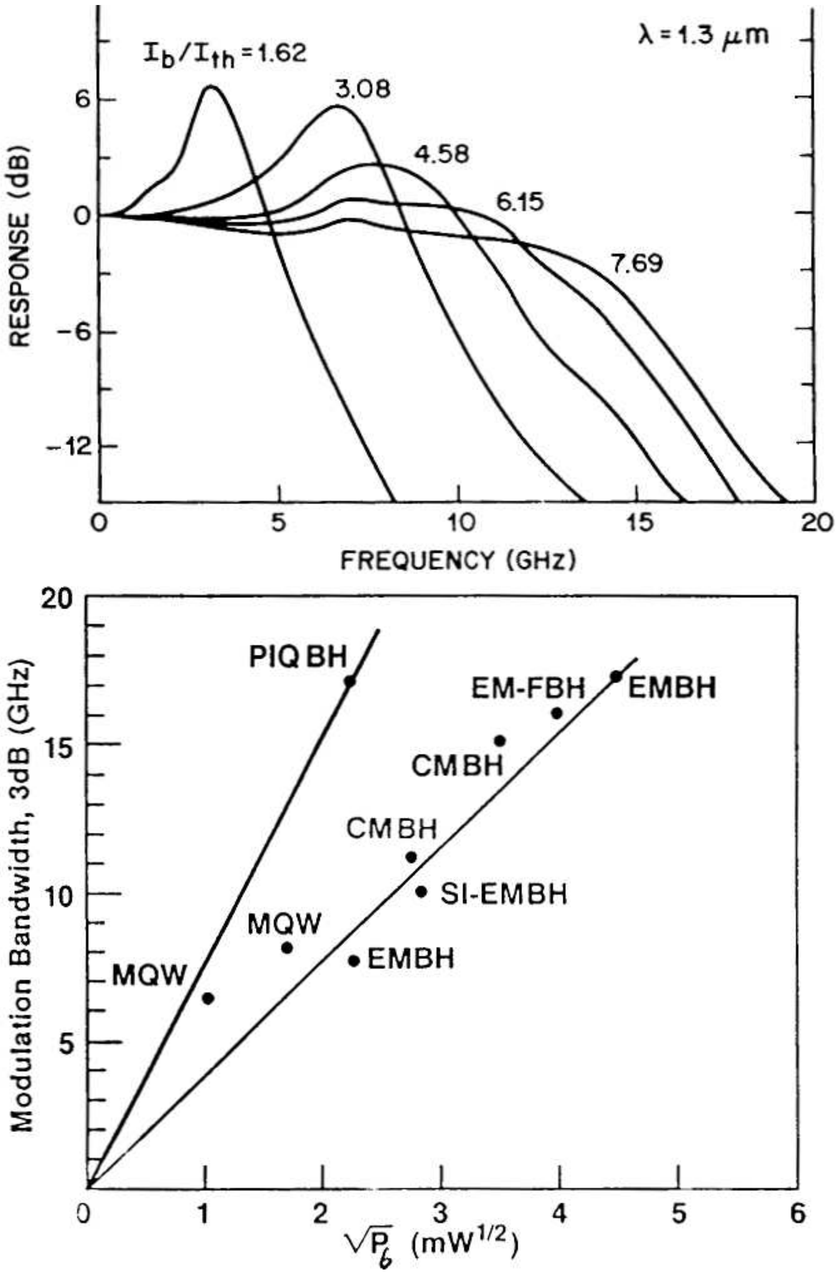
Laser heterozłaczowy



Rysunek 20:

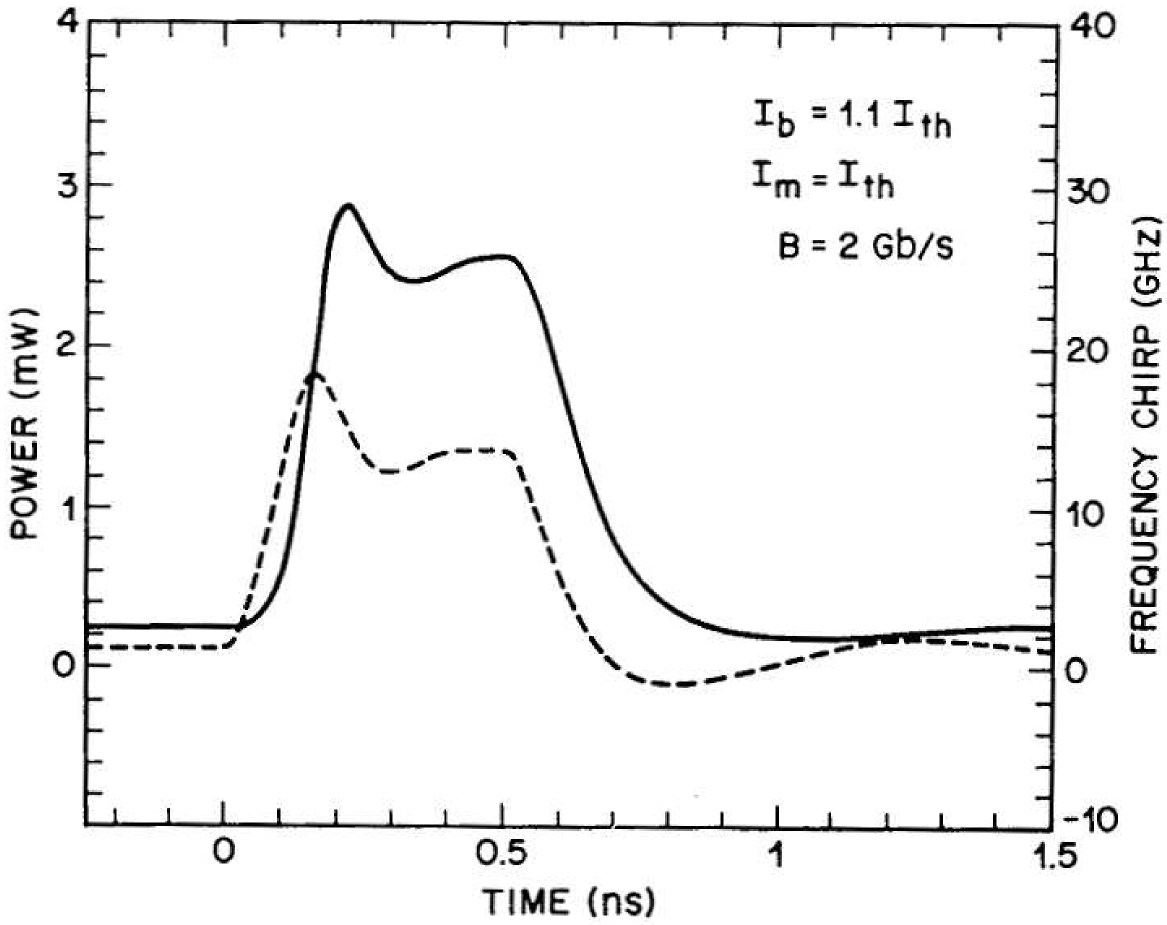
Małosygnałowe pasmo pracy - rośnie ze wzrostem I_b punktu pracy, proporcjonalnie do $\sqrt{P}$ - może być jednak ograniczone przez reaktancje pasożytnicze obudowy. (Uwaga w LED pasmo nie zależy od I_b)

$$f_{3dB} = A\sqrt{I_b - I_{th}}$$



Rysunek 21:

W rzeczywistych warunkach liczy się wielkosygnałowe pasmo pracy diody laserowej. Pojawia się migotanie częstotliwości wywołane zmianą współczynnika załamania



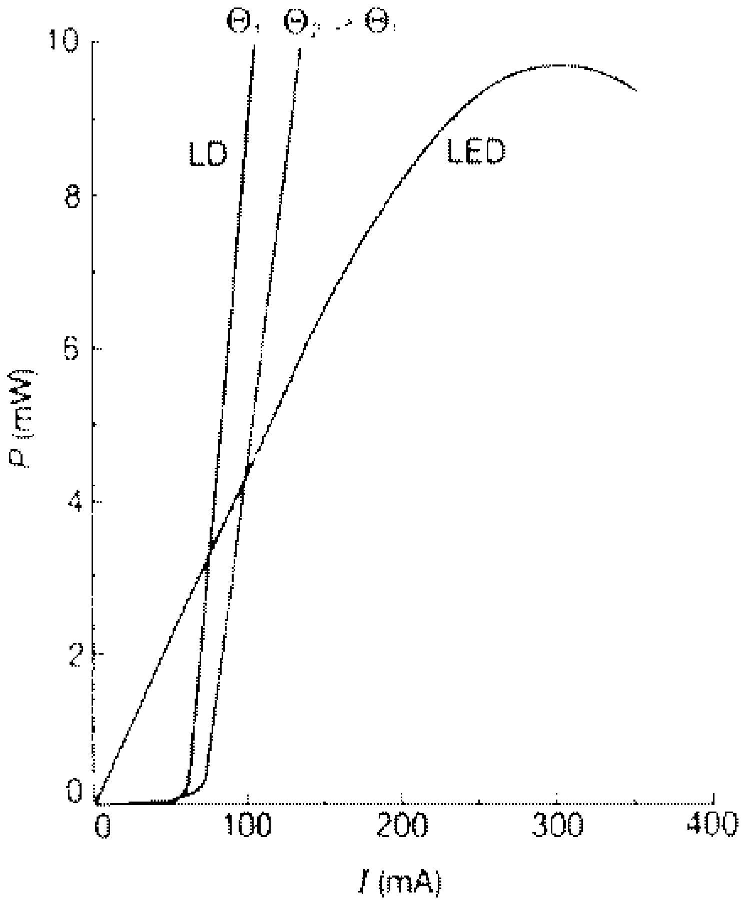
Rysunek 22:

Table 11.1. *Typical performance characteristics of laser diodes and LEDs*

	LEDs			Lasers			
Wavelength	Class	800–850	1300	Class	800–850	1300	1500
Material		GaAlAs	InGaAsP		GaAlAs	InGaAsP	InGaAsP
Spectrum width (nm)		30–60	50–150	MM	1–2	2–5	2–10
Line width SM (MHz)				SM FP DFB		150 10–30	150 10–30
Output power (mW)		0.5–4.0	0.4–0.6	BH	2–8	1.5–8	1.5–8
Drive current (mA)		50–150	100–150	BH	10–40	25–130	
Rise time	Surface	4–14					
(ns)	Edge	2–10	2.5–10	BH	0.3–1	0.3–0.7	0.3–0.7
Modulation frequency (GHz)		0.08–0.15	0.1–0.3	BH	2–3	2–3	2–3
Beam width (half)							
Parallel	Surface	120–180					
Perpendicular	Surface	120–180					
Parallel	Edge	180		BH	10–25	10–30	10–30
Perpendicular	Edge	30–70		BH	20–35	30–40	30–40
Lifetime (million hours)		1–10	50–1000		1–10	0.5–50	0.5–50

Note: MM = multimode, SM = single mode, FP = Fabry–Perot, DFB = distributed feedback, BH = buried heterostructure. [Table adapted from Hoss and Lacy (1993).]

Charakterystyki mocowo-prądowe



Rysunek 23: