

COMPORTAMENT DINÀMIC DEL LÀSER

“Per al cas del Làser s’han de tractar les dues partícules, portadors i fotons, per separat degut a l’efecte d’estimulació ”

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{variació de} \\ \text{portadors} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{ritme de} \\ \text{gen. de} \\ \text{portadors} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{ritme d'} \\ \text{em. esp.} \\ \text{portadors} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{ritme d'} \\ \text{em. est.} \\ \text{portadors} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{variació de} \\ \text{fotons} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{ritme d'} \\ \text{em. est.} \\ \text{fotons} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{ritme d'} \\ \text{absorció} \\ \text{fotons} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{ritme d'} \\ \text{em. esp.} \\ \text{fotons} \end{array} \right\}$$

EQUACIONS DE RITME DEL LÀSER

Portadors \Rightarrow

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \frac{I}{qV} - \frac{N}{\tau_r} - v \sum_i g_i S_i \quad [m^{-3}s^{-1}]$$

Fotons \Rightarrow

$$\frac{\partial S_i}{\partial t} = v \cdot g_i S_i - v \cdot \alpha_t S_i + \beta \frac{N}{\tau_r} \quad [m^{-3}s^{-1}]$$



$$\frac{\partial P}{\partial z} = gP \quad \rightarrow \quad \frac{\partial S}{\partial z} = gS$$

$P \propto S$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{\partial S}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial t} = gS \cdot v$$

temps mitjà de permanència
d'un fotó en la cavitat

$$\tau_p \equiv \frac{1}{v \cdot \alpha_t} \quad [s]$$

N: densitat de portadors en la ZA

S: densitat de fotons en la ZA

g_i : guany per em. est. neta

sub-índex i: mode i-èssim

I: Intensitat de corrent elèctric

τ_r : temps de vida del portador

β : coef. d'emissió espontània

α_t : pèrdues totals en la cavitat

Comportament Estàtic

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \frac{I}{qV} - \frac{N}{\tau_r} - v \cdot gS = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = v \cdot gS - v \cdot \alpha_t S + \beta \frac{N}{\tau_r} = 0$$

Cavitat Monomode
R. Estacionari $\frac{\partial}{\partial t} = 0$
 $\beta \ll 1$

$\lambda_{\text{emissió}} = \lambda_p$
 $g = \Gamma a (N - N_0) - \Gamma \gamma (\lambda - \lambda_p)^2$
 $\tau_p \equiv \frac{1}{v \cdot \alpha_t}$

$v \cdot gS - v \cdot \alpha_t S = 0 \rightarrow g = \alpha_t$

$\Gamma a (N - N_0) = \alpha_t \rightarrow N = N_0 + \frac{\alpha_t}{\Gamma a}$

$\frac{I}{qV} - \frac{N}{\tau_r} - v \cdot \alpha_t S = 0$

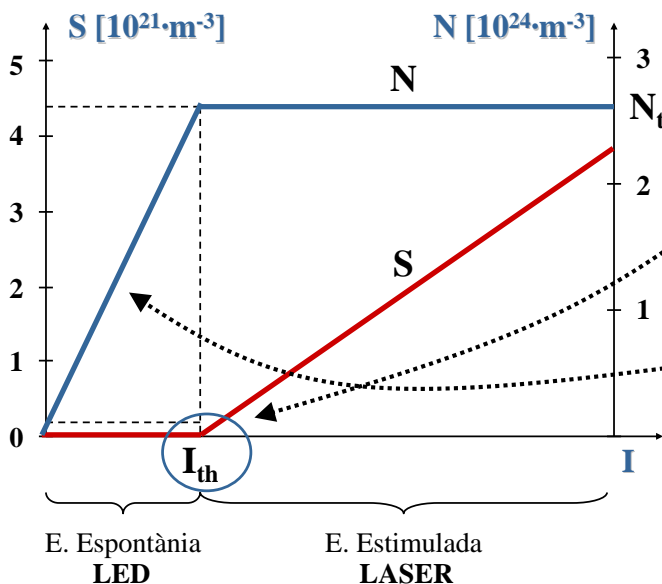
$S = \frac{I}{v \cdot \alpha_t qV} - \frac{N}{v \cdot \alpha_t \tau_r} = \frac{I}{qV} \tau_p - \frac{\tau_p}{\tau_r} N = \frac{I}{qV} \tau_p - \frac{\tau_p}{\tau_r} \left[N_0 + \frac{\alpha_t}{\Gamma a} \right]$

Portadors Constant amb J

Fotons Lineal amb I

$$N = N_0 + \frac{\alpha_t}{\Gamma a} \equiv N_{th} \quad [m^{-3}]$$

$$S = \frac{I}{qV} \tau_p - \frac{\tau_p}{\tau_r} \left[N_0 + \frac{\alpha_t}{\Gamma a} \right] \quad [m^{-3}]$$



Punt inflexió

$$S = 0$$

$$N = N_{th}$$

Comportament LED

$$\frac{I}{qV} = \frac{N}{\tau_r} \rightarrow \frac{I_{th}}{qV} = \frac{N_{th}}{\tau_r}$$

I_{th} : Corrent Llindar

N_{th} : Dens. Port. Llindar

Condió d'arrancada del Làser

$$\frac{I_{th}}{qV} = \frac{N_{th}}{\tau_r} \rightarrow I_{th} = \frac{qV}{\tau_r} N_{th} = \frac{qV}{\tau_r} \left[N_0 + \frac{\alpha_t}{\Gamma a} \right] \quad \text{Corrent Llindar}$$

$$I \geq \frac{qV}{\tau_r} \left[N_0 + \frac{\alpha_t}{\Gamma a} \right] = \underbrace{\frac{qV}{\tau_r} N_0}_{T.Medi} + \underbrace{\frac{qV}{\tau_r} \frac{\alpha_t}{\Gamma a}}_{P. Totals}$$

El corrent mínim ha de compensar la Transparència del Medi i les Pèrdues Totals.

Concentració Fotons

$$S = \frac{I}{qV} \tau_p - \frac{\tau_p}{\tau_r} \left[N_0 + \frac{\alpha_t}{\Gamma a} \right] = \frac{I}{qV} \tau_p - \frac{I_{th}}{qV} \tau_p = \frac{\tau_p}{qV} [I - I_{th}]$$

$$I_{th} = \frac{qV}{\tau_r} \left[N_0 + \frac{\alpha_t}{\Gamma a} \right] \rightarrow \frac{1}{\tau_r} \left[N_0 + \frac{\alpha_t}{\Gamma a} \right] = \frac{I_{th}}{qV}$$

Potència Òptica de sortida

$$P_{out} = \left((1-R)/2\sqrt{R} \right) \cdot S \cdot v \cdot W \cdot d \cdot hf$$

$$P_{out} = \left((1-R)/2\sqrt{R} \right) \frac{\tau_p}{qV} (I - I_{th}) \cdot v \cdot W \cdot d \cdot hf$$

$$P_{out} = \left((1-R)/2\sqrt{R} \right) \frac{hf}{q\alpha_t L} (I - I_{th})$$

$$I \geq I_{th}$$

$$S \approx \frac{\tau_p}{qV} (I - I_{th})$$

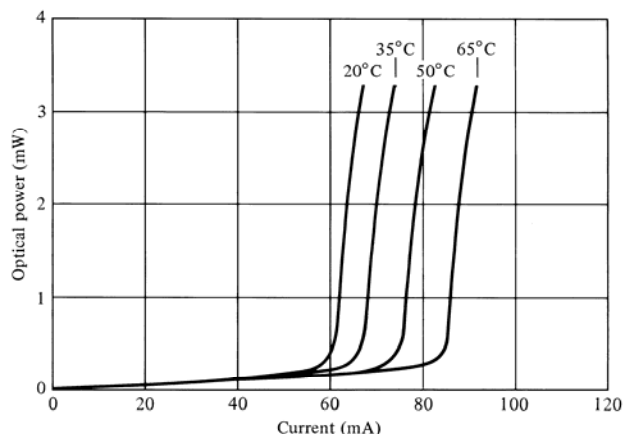
$$N = N_{th}$$

$$\tau_p \equiv \frac{1}{v \cdot \alpha_t}$$

Efecte de la Temperatura

Tant el corrent llindar com la potència òptica són molt sensibles a la temperatura

$$I_{th}(T), P_{out}(T)$$



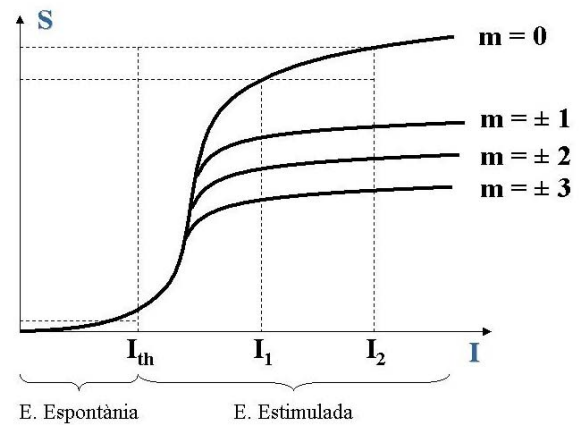
Condió modal d'un diode Làser

1. freqüència del mode

$$g_m(\lambda) \equiv a(N - N_0) - \gamma(\lambda - \lambda_p)^2$$

$$|\lambda - \lambda_p| \uparrow \Rightarrow g_m(\lambda) \downarrow \Rightarrow S_m \downarrow$$

“A major separació del mode fonamental menor guany”

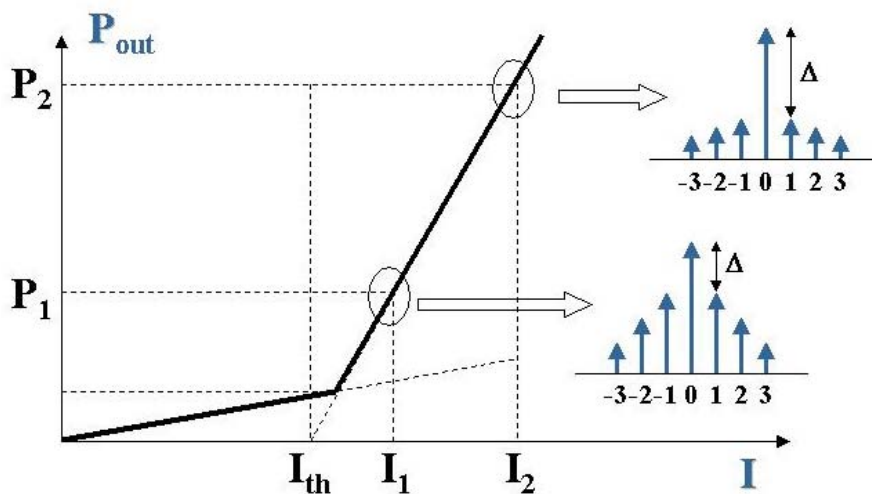


2. corrent de polarització

$$I < I_{th} \Rightarrow \text{E. Espontània (efecte LED)}$$

$$I > I_{th} \Rightarrow \text{L'eficiència depèn del mode (efecte LÀSER)}$$

“La relació mode principal – modes secundaris depèn fortament del corrent d'alimentació. Per tant la condició mono-mode també”



$$\text{CONDICIÓ MONO-MODE PRÀCTICA} \Rightarrow \text{SMSR} \equiv 10 \log \frac{P_0}{P_1} \begin{cases} \geq 20\text{dB} \leftarrow 3a \\ \geq 13\text{dB} \leftarrow 2a \end{cases}$$

3. paràmetre β

“Determina la fracció d’emissió espontània que s’acobla en un DL”

$$\frac{\partial S_i}{\partial t} = v \cdot g_i S_i - v \cdot \alpha_i S_i + \beta \frac{N}{\tau_r}$$

$$P_{out}, I = ct$$

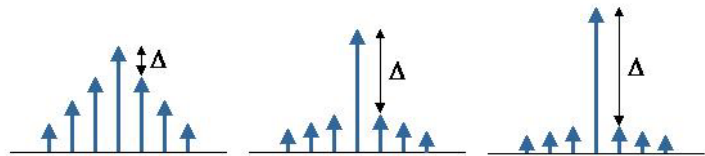
$$S_{SAT}, P_{SAT} \propto \beta$$

$$\beta = 10^{-3}$$

$$\beta = 10^{-4}$$

$$\beta = 10^{-5}$$

$\beta \downarrow \rightarrow$ mono-modalitat \uparrow



4. longitud de la cavitat

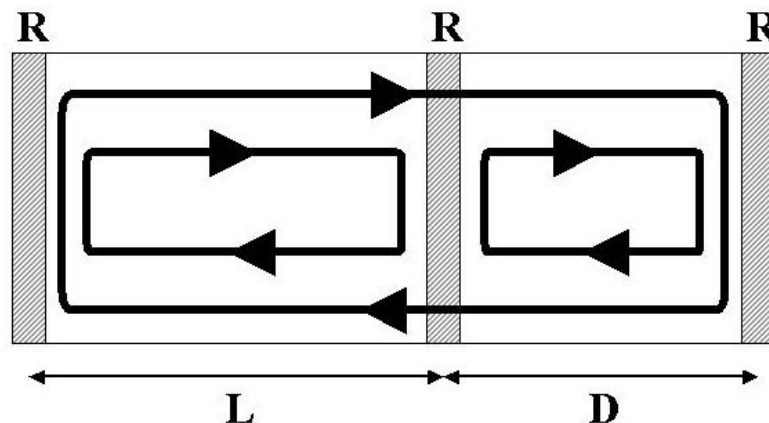
$$\Delta\lambda \approx \frac{\lambda_p^2}{2nL} \Rightarrow$$

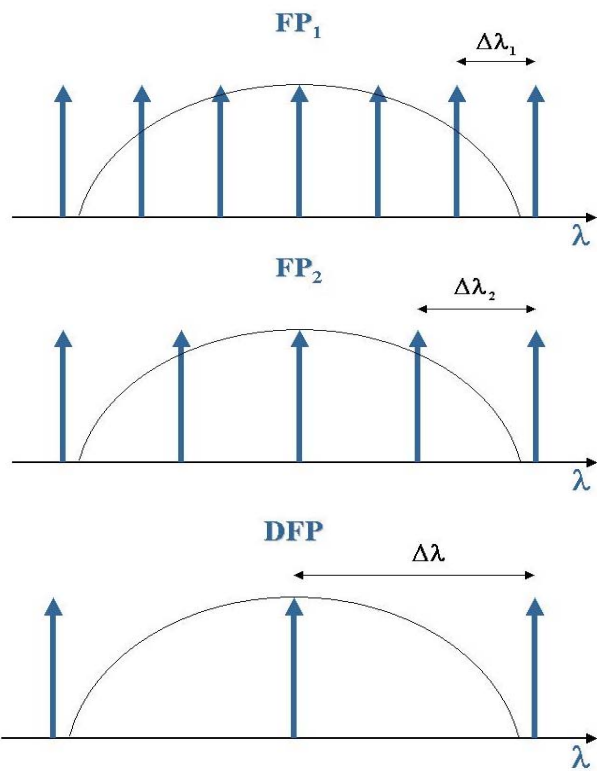
$L \downarrow \rightarrow$ mono-modalitat \uparrow

ESTRUCTURES LÀSER AVANÇADES

Cavitats Acoblades

CAVITATS FABRY-PEROT ACOBLADES





$$\Delta\lambda_1 = \frac{\lambda^2}{2Ln_1}$$

$$\Delta\lambda_2 = \frac{\lambda^2}{2Dn_2}$$



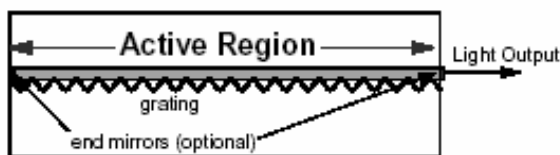
$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2|Dn_2 - Ln_1|} = \frac{\lambda^2}{2n|D - L|}$$

$$n_2 = n_1 = n$$

$\partial\lambda \approx 30\text{MHz}$

tunning $\sim 10\text{ nm}$

Distributed Feed-Back (DFB)



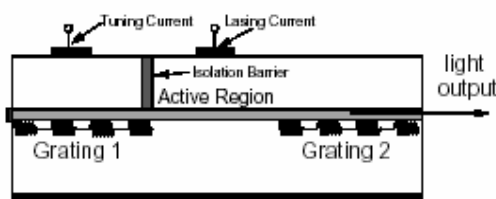
suma constructiva

$$\Delta L = m \frac{\lambda}{2n}$$

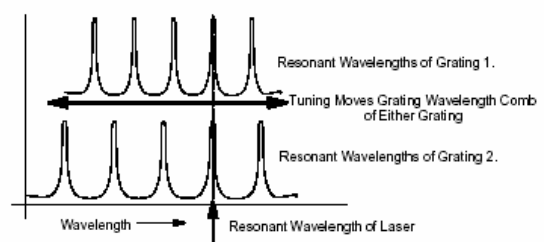
$\partial\lambda \approx 10\text{MHz}$

tunning $\sim 10\text{ nm}$

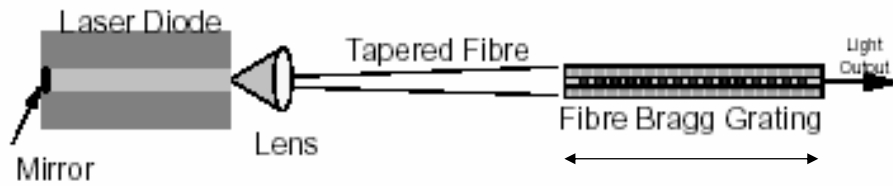
Distributed Bragg Reflection (DBR)



$\partial\lambda \approx 30\text{MHz}$ tunning $\sim 30\text{ nm}$



Làzers de Cavitat Externa



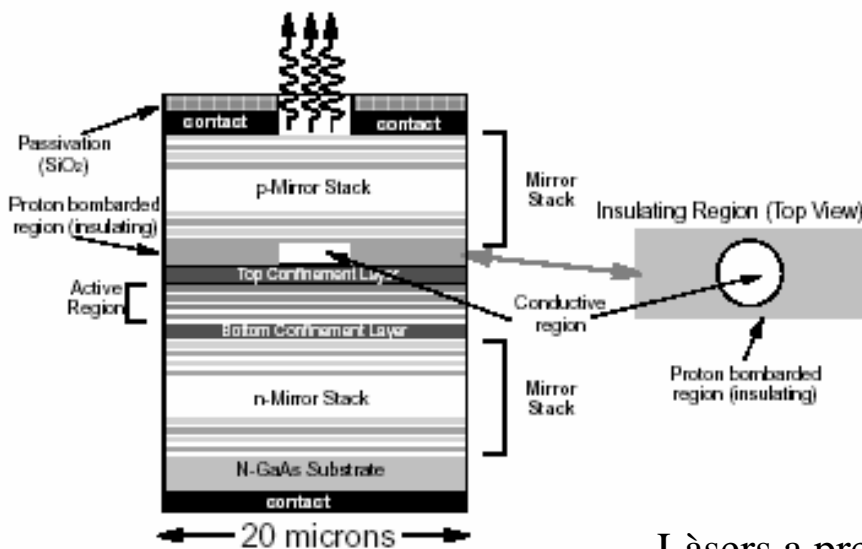
$\partial\lambda \approx 50\text{KHz}$
tuning $\sim 10\text{ nm}$

Làzers de Fibra (no semi-conductors)



Potència $\sim 10\text{ W}$

Vertical Cavity Surface Emitting Lasers (VCSELs) *



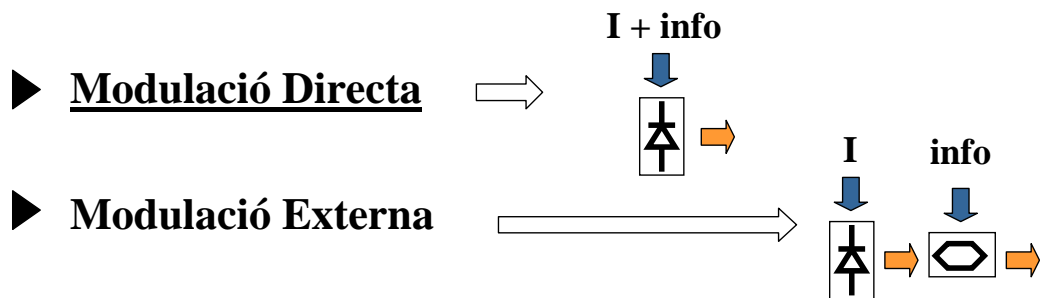
Làzers a preu de LEDs multimode a 1^a i 2^a finestra

MODULACIÓ DEL LÀSER

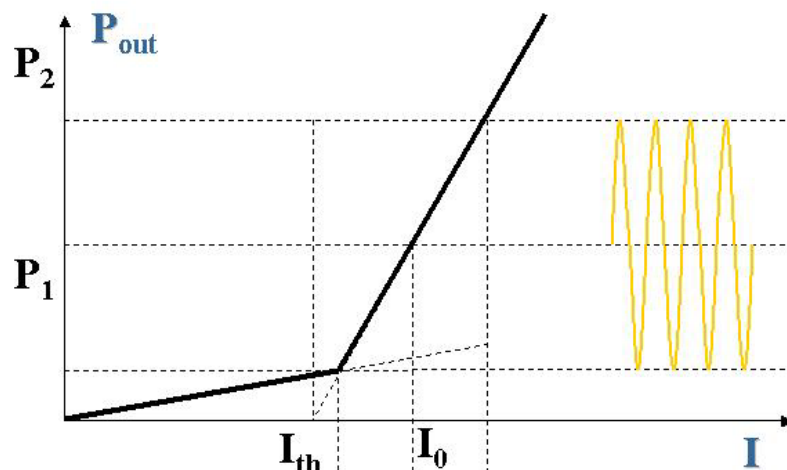
Tipus de Modulació

▶ **Modulació d'Intensitat** \Rightarrow potència òptica (IM)

▶ **Modulació Coherent** (portadora òptica) \Rightarrow $\left\{ \begin{array}{l} \text{amplitud (ASK)} \\ \text{freqüència (FSK)} \\ \text{fase (PSK)} \end{array} \right.$



Modulació Sinusoïdal



$$I(t) \equiv I_0 \left[1 + m_J e^{j\omega t} \right]$$

$$m_J \ll 1$$

Petita senyal

