

Control de Comunicacions Òptiques

Grup 10 - 4 de Maig de 2011

Temps : 1h 15'

Nom:

TEST (6 punts)

Marqueu la resposta correcta. Cada resposta correcta suma 0,4 punts mentre que cada resposta errònia resta 0,1 punts.

- La llum anomenada incoherent és la que prové d'un procés de:
a) Absorció estimulada
b) Emissió espontània
c) Emissió estimulada
d) Cap de les anteriors
- Quan la concentració de portadors en la zona activa d'una unió P-N és inferior al que es coneix com a nivell de transparència del semiconductor, es pot assegurar que:
a) El balanç entre l'emissió estimulada i l'absorció és favorable al primer concepte
b) El balanç entre l'emissió estimulada i l'absorció és favorable al segon concepte
c) El balanç entre l'emissió espontània i l'absorció és favorable al primer concepte
d) El balanç entre l'emissió espontània i l'absorció és favorable al segon concepte
- En règim estacionari d'oscil·lació, la concentració de fotons dins de la zona activa d'un làser Fabry-Perot és aproximadament:
a) Creixent
b) Decreixent
c) Constant
d) Gaussiana
- Quina de les següents amplades espectrals es pot correspondre a una font làser monomode (DFB) comercial.
a) 10 nm
b) 0.1 nm
c) 10 pm
d) 0.1 pm
- L'amplada de banda d'un LED és:
a) Directament proporcional al temps de vida del portador
b) Inversament proporcional al temps de vida del portador
c) Directament proporcional al temps de vida del fotó
d) Inversament proporcional al temps de vida del fotó
- En un làser monomode en règim estacionari, respecte el corrent d'alimentació, es compleix que:
a) El nivell de portadors es manté constant mentre que el nivell de fotons hi és proporcional
b) El nivell de portadors hi és proporcional mentre que el nivell de fotons es manté constant
c) Tant el nivell de portadors com el nivell de fotons hi són proporcionals
d) Tant el nivell de portadors com el nivell de fotons es mantenen constants
- Si fem tendir la longitud de la cavitat d'un diode làser a zero, la densitat de corrent llidar tendirà a:
a) Infinit
b) Zero
c) No canviarà
d) No es pot dir res al respecte
- La zona activa d'una unió PN en heteroestructura està construïda amb InAsGa. Si s'ha comprovat que després de desconectar el corrent d'alimentació el nivell de portadors s'ha reduït a la meitat en 1.05 ns, determineu el temps de vida del portador d'aquest semiconductor.
a) $\tau_{sp}=0.5$ ns
b) $\tau_{sp}=1$ ns
c) $\tau_{sp}=1.5$ ns
d) $\tau_{sp}=2$ ns
- Si es vulgués modular digitalment un LED a 10 Gb/s, de quin ordre hauria de ser el temps de vida del portador si s'exigeix que el "rise time" 25% -75% sigui inferior a un 10% del temps de bit:
a) 10 ns
b) 1 ns
c) 100 ps
d) 10 ps
- Es pretén modular un làser FP amb un senyal digital NRZ $I_0=I_{th}+\Delta I$, $I_1=I_0+2\cdot I_{th}$, on I_{th} és el corrent llidar i $\Delta I>0$ és la variació de corrent de modulació. Si s'augmenta ΔI és pot afirmar que:
a) Tant el temps de resposta com la relació d'extinció (P_1/P_0) decreixen
b) El temps de resposta creix mentre que la relació d'extinció (P_1/P_0) decreix
c) El temps de resposta decreix mentre que la relació d'extinció (P_1/P_0) creix
d) Tant el temps de resposta com la relació d'extinció (P_1/P_0) creixen

Si el nivell de transparència és zero, la funció de transferència electroòptica normalitzada d'un diode làser, en petita senyal, segueix l'expressió:

$$|M(\omega)|^2 = \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^2\right]^2 + \left[2\alpha \frac{\omega}{\omega_c^2}\right]^2} \quad \alpha = \frac{1}{2\tau_{sp}} \left(\frac{J_0}{J_{th}}\right), \quad \omega_c^2 = \frac{1}{\tau_{sp}\tau_{ph}} \left(\frac{J_0}{J_{th}} - 1\right)$$

On ω és la pulsació de la modulació, ω_c és la freqüència de ressonància, α és la constant d'amortiment, τ_{sp} i τ_{ph} els temps de vida del portador i del fotó respectivament, J_0 és el nivell de contínua del senyal de modulació i J_{th} la densitat de corrent llindar.

11. Per tal de descriure el caràcter ressonant del làser, es pren com a referència la relació α/ω_c . Determineu per quin valor de corrent s'obté un mínim:

e) $J_0 = J_{th}$

f) $J_0 = 1.5J_{th}$

g) $J_0 = 2J_{th}$

h) $J_0 = 2.5J_{th}$

12. A partir de quin nivell de contínua el làser comença a ressonar ?:

a) $J_0 = J_{th} \frac{\tau_{sp}}{\tau_{ph}} \left(1 - \sqrt{1 - 2\frac{\tau_{ph}}{\tau_{sp}}}\right)$

b) $J_0 = J_{th} \frac{\tau_{ph}}{\tau_{sp}} \left(1 - \sqrt{1 - 2\frac{\tau_{sp}}{\tau_{ph}}}\right)$

c) $J_0 = J_{th} \frac{\tau_{sp}}{\tau_{ph}} \left(1 - \sqrt{1 - 2\frac{\tau_{sp}}{\tau_{ph}}}\right)$

d) $J_0 = J_{th} \frac{\tau_{ph}}{\tau_{sp}} \left(1 - \sqrt{1 - 2\frac{\tau_{ph}}{\tau_{sp}}}\right)$

Un diode làser semiconductor presenta les següents característiques:

$V = 6 \cdot 10^{-15} \text{ m}^3$

$n_s = 3.5$

$\tau_{sp} = 2 \text{ ns}$

$Ia = 2 \cdot 10^{-19} \text{ m}^2$

El làser té una forta dependència en quant a la temperatura de treball. L'expressió del corrent llindar es pot modelar de la forma següent:

$$I_{th}(T) = I_0 e^{(T-T_0)/T_e}, \quad T_e = 6T_0 = 150^\circ \text{ C}$$

On $I_0 = 30 \text{ mA}$ és el corrent llindar a la temperatura de referència T_0 .

13. Si aquest làser es modula amb un senyal digital $I_{on} = 60 \text{ mA}$ i $I_{off} = 33 \text{ mA}$ per a una temperatura de treball de 25° C , determineu el temps de resposta del mateix.

e) 89 ns

f) 98 ns

g) 89 ps

h) 98 ps

14. Donat l'escalfament del material semiconductor, la temperatura puja fins als 55° C . Si els corrents de modulació es mantenen, determineu el nou temps de resposta:

e) 290 ns

f) 29 ns

g) 2.9 ns

h) 290 ps

15. Si es vol garantir que el làser es mantingui en la zona de treball làser, quina és la màxima variació de temperatura que es pot donar ?:

e) 7° C

f) 14° C

g) 18° C

h) 21° C

PROBLEMA (4 punts)

Marqueu la resposta correcta. Cada resposta correcta suma 0,4 punts mentre que cada resposta errònia resta 0,1 punts.

Un diode laser semiconductor presenta les següents característiques:

Longitud d'ona d'operació	1550 nm	Pèrdues per scattering	$\alpha_s=2000\text{ m}^{-1}$
Dimensions	$L=500\text{ }\mu\text{m}$, $W=10\text{ }\mu\text{m}$, $d=1\text{ }\mu\text{m}$	Temps de vida del portador	$\tau_{sp}=1\text{ ns}$
Índex de refracció del SC	$n=3.5$	Nivell de transparència	$N_0=10^{22}\text{ m}^{-3}$
Coefficient de guany	$a=1.5\cdot 10^{-19}\text{ m}^2$	Confinament	ideal

- 1) Calculeu el número de modes que poden aparèixer a la sortida, si el guany del material per unitat de longitud té l'expressió:

$$g = g_p - \gamma(\lambda - \lambda_p)^2 \quad \text{on} \quad g_p = 7875 \text{ m}^{-1} \quad \lambda_p = 1.55 \mu\text{m} \quad \gamma = 5.25 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3}$$

- a) 11 b) 12 c) 23 d) 24

- 2) Hi ha la mateixa quantitat de modes a la banda superior que a la inferior de l'espectre (respecte λ) ?:

- a) Si b) No, n'hi ha més a la banda superior
- c) Depèn de la temperatura de treball d) No, n'hi ha més a la banda inferior

- 3) *Determineu la longitud d'ona dels modes d'oscil·lació extrems ?:*

- a) $\lambda_{\text{down}}=1539.81 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{up}}=1560.19 \text{ nm}$ b) $\lambda_{\text{down}}=1541.81 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{up}}=1558.19 \text{ nm}$
c) $\lambda_{\text{down}}=1539.85 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{up}}=1559.63 \text{ nm}$ d) $\lambda_{\text{down}}=1541.85 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{up}}=1557.63 \text{ nm}$

- 4) El fet de que la longitud d'ona d'emissió sigui 1550 nm enlloc de 1300 nm, com afecta al disseny del làser des del punt de vista del seu comportament modal ?:

- a) El complica
b) No l'afecta
c) El simplifica
d) Depèn del corrent d'alimentació

- 5) Per tal de millorar les prestacions del dispositiu es dissenya una cavitat DFB, determineu quin paràmetre γ seria necessari per tal de tenir un làser monomode amb les dimensions originals.

- a) $7.5 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3}$ b) $5.7 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3}$ c) $5.1 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$ d) $1.5 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$

- 6) Si la longitud de la cavitat es redueix a la meitat, què passa amb la densitat de corrent lliard (J_{th}) ?.

- a) Augmenta en $2.5 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$ b) Es redueix en $2.5 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$
c) Augmenta en $5.2 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$ d) Es redueix en $5.2 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$

- 7) Els corrents llindar en els dos casos, $L = 500 \mu\text{m}$ i $L = 250 \mu\text{m}$, són respectivament.

- a) 21.9 mA i 31.2 mA b) 29.1 mA i 32.1 mA
c) 31.2 mA i 21.9 mA d) 32.1 mA i 29.1 mA

Es defineix la potència de saturació del dispositiu (P_{sat}) com la potència òptica de sortida lliurada per a una densitat de corrent 2 cops J_{th} . Preneu P_{sat} com la màxima potència associada al mode fonamental que pot lliurar el làser.

8) Trobeu P_{sat} si la longitud de la cavitat és de 500 μm .

- a) 7.15 μW b) 15.21 μW c) 7.15 mW d) 15.21 mW

9) Trobeu la potència òptica de sortida per a un corrent d'alimentació de 60 mA si la longitud de la cavitat és de 250 μm .

- a) 6.5 mW b) 11.35 mW c) 6.5 μW d) 11.35 μW

10) Assumint que el corrent lliurar no varia en un làser DFB respecte una cavitat Fabry-Perot, quina serà la potència òptica de sortida per a un corrent d'alimentació de 60 mA si la longitud de la cavitat és de 250 μm . Considereu que en aquest cas, degut a una millor distribució de la potència, la potència de saturació del mode fonamental és la referent a un corrent 2.5 cops J_{th} .

- a) 9.75 mW b) 11.35 mW c) 9.75 μW d) 11.35 μW

Constants

$$\begin{aligned} c &= 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \\ h &= 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \\ q &= 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ K_B &= 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K} \end{aligned}$$

Formulari LED

$$\begin{aligned} \lambda_0 &= \frac{hc}{E_g + K_B T / 2} \quad , \quad \Delta\lambda \approx \frac{2K_B T}{hc} \lambda_0^2 \\ I(t) &= I_0 \left[1 + m_I e^{(j\omega_0 t + \phi)} \cdot u(t) \right] \rightarrow N(t) = \frac{I_0 \tau_r}{qV} \left\{ 1 + \underbrace{\frac{m_I}{1 + j\omega_0 \tau_r}}_{m_N} e^{j\phi} [e^{j\omega_0 t} - e^{-t/\tau_r}] \cdot u(t) \right\} \\ H(\omega_0) &= \eta \frac{hf}{q} \frac{1}{1 + j\omega_0 \tau_r} \end{aligned}$$

Formulari LASER

$$\begin{aligned} g &= \Gamma \left(a(N - N_0) - \gamma(\lambda - \lambda_p)^2 \right) \quad , \quad f_m = m \frac{c}{2nL} \quad , \quad \Delta\lambda = \frac{\lambda_p^2}{2nL} \\ \frac{\partial N}{\partial t} &= \frac{I}{qV} - \frac{N}{\tau_r} - v \sum_i g_i S_i \quad , \quad I_{th} = \frac{qV}{\tau_{sp}} \left(N_0 + \frac{1}{\Gamma a} \left(\alpha_s + \frac{1}{2L} \ln \frac{1}{R_1 R_2} \right) \right) \\ \frac{\partial S_i}{\partial t} &= v(g_i - \alpha_i) S_i + \beta \frac{N}{\tau_r} \quad , \quad P_{out} = \frac{1-R}{2\sqrt{R}} \frac{hf}{q\alpha_i L} (I - I_{th}) \\ |M(\omega_0)|^2 &= \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{\omega_0}{\omega_c} \right)^2 \right]^2 + \left[2\alpha \frac{\omega_0}{\omega_c^2} \right]^2} \quad , \quad \omega_c^2 = \frac{v\Gamma a}{qd} (J_0 - J_{th}) \quad , \quad 2\alpha = \frac{1}{\tau_{sp}} + \omega_c^2 \\ t_r &= \tau_{sp} \ln \frac{I_{on} - I_{off}}{I_{on} - I_{th}} \quad , \quad t_r^2 = \frac{2qV}{v\Gamma a} \frac{\ln \frac{I_{on} - I_{th}}{I_{off} - I_{th}}}{I_{on} - I_{off}} \end{aligned}$$

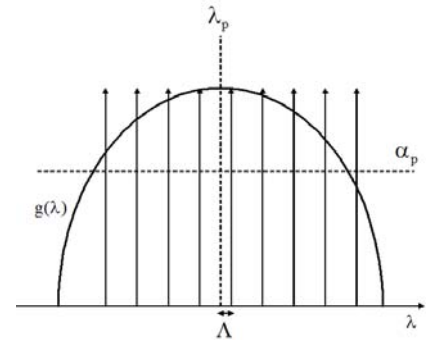
Resolució:

1-3) Trobem el mode fonamental:

$$\lambda_p = \frac{2nL}{p} \rightarrow p = \left\lceil \frac{2nL}{\lambda_p} \right\rceil = 2258$$

$$\lambda_p = \frac{2nL}{p} \approx 1550.04 \text{ nm } (+0.04 \text{ nm})$$

$$\partial\lambda \approx \frac{\lambda_p^2}{2nL} \approx 0.69 \text{ nm}$$



Es veu que està molt lleugerament desplaçat a la dreta respecte del màxim de la funció de guany.

Troblem els modes extrems d'oscil·lació:

$$g = g_p - \gamma(\lambda - \lambda_p)^2 = \frac{\alpha_t}{\Gamma} \longrightarrow \lambda = \lambda_p \pm \sqrt{\frac{1}{\gamma} \left[g_p - \frac{\alpha_t}{\Gamma} \right]}$$

$$\Gamma g = \alpha_t = \alpha_s + \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R}$$

$$\alpha_t = \alpha_s + \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R} \quad R = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2$$

$$\lambda_{\max} = \lambda_p + \underbrace{\sqrt{\frac{1}{\gamma} \left[g_p - \frac{\alpha_t}{\Gamma} \right]}}_{\sim 8.19 \text{ nm}} \approx 1558.19 \text{ nm}$$

$$\lambda_{\min} = \lambda_p - \sqrt{\frac{1}{\gamma} \left[g_p - \frac{\alpha_t}{\Gamma} \right]} \approx 1541.81 \text{ nm}$$

$$\lambda_m = \frac{2nL}{m} \rightarrow m = \left\lceil \frac{2nL}{\lambda_m} \right\rceil = 2247$$

$$\lambda_m = \frac{2nL}{m} \rightarrow m = \left\lfloor \frac{2nL}{\lambda_m} \right\rfloor = 2270$$

Per tant el nombre de modes d'oscil·lació és:

$$M = 2270 - 2247 + 1 = 24 = 12 + 1 + 11$$

$$\text{A la banda inferior} \quad \rightarrow \quad 2270 - 2258 = 12$$

$$\text{A la banda superior} \quad \rightarrow \quad 2258 - 2247 = 11$$

Finalment, les longituds d'ona associades als modes extrems són:

$$\lambda_{\text{up}} = \frac{2nL}{2247} \approx 1557.63 \text{ nm}$$

$$\lambda_{\text{down}} = \frac{2nL}{2270} \approx 1541.85 \text{ nm}$$

4) Si la longitud d'ona central hagués estat 1300 nm la separació entre modes hagués estat menor, per tant, és més senzill de complir la condició monomode per a 1550 nm.

5) Per a que el làser sigui monomode, els primers modes secundaris han d'incomplir la condició de guany. Donat que el mode principal gairebé coincideix amb el màxim de la funció de guany i que ens desplaçem únicament un mode cap a la dreta i un altre cap a l'esquerra es pot emprar l'expressió aproximada de la separació entre modes. D'aquesta manera es pot determinar γ :

$$\frac{1}{2}(\lambda_{\max} - \lambda_{\min}) = \sqrt{\frac{1}{\gamma} \left[g_p - \frac{\alpha_t}{\Gamma} \right]} = \sqrt{\frac{1}{\Gamma \gamma} \left[\Gamma g_p - \alpha_s - \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R} \right]} < \Delta \lambda \approx \frac{\lambda_p^2}{2nL}$$

$$\frac{1}{\Gamma \gamma} \left[\Gamma g_p - \alpha_s - \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R} \right] < \left(\frac{\lambda_p^2}{2nL} \right)^2 \rightarrow \gamma > \frac{\Gamma g_p - \alpha_s - \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R}}{\Gamma \left(\frac{\lambda_p^2}{2nL} \right)^2} = 7.5 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3}$$

Si es vol fer el càlcul sense aproximacions s'ha d'avaluar la condició per a cada mode secundari de manera independent.

$$g = g_p - \gamma (\lambda_m - \lambda_p)^2 = \frac{\alpha_t}{\Gamma} \longrightarrow \lambda = \lambda_p \pm \sqrt{\frac{1}{\gamma} \left[g_p - \frac{\alpha_t}{\Gamma} \right]}$$

$$\gamma = \frac{g_p - \frac{\alpha_t}{\Gamma}}{(\lambda_m - \lambda_p)^2} = \frac{g_p - \frac{\alpha_t}{\Gamma}}{\left(\frac{2nL}{m} - \lambda_p \right)^2} \xrightarrow{m=2259} \gamma = 8.5 \cdot 10^{21} \xrightarrow{m=2257} \gamma = 6.6 \cdot 10^{21}$$

Ens quedariem amb el valor de γ més gran que és el que garanteix que els dos modes secundaris deixaran d'oscil·lar. De fet, sabent que el mode fonamental està desplaçat cap a la dreta només ens hagués calgut avaluar el mode de l'esquerra (2259).

6-7) Densitat de corrent i corrent llindar:

$$J_{th} = \frac{qd}{\tau_{sp}} \left[N_0 + \frac{\alpha_t}{\Gamma a} \right] = \frac{qd}{\tau_{sp}} \left[N_0 + \frac{1}{\Gamma a} \left(\alpha_s + \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R} \right) \right] \approx 6.24 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$$

$$J'_{th} = \frac{qd}{\tau_{sp}} \left[N_0 + \frac{1}{\Gamma a} \left(\alpha_s + \frac{2}{L} \ln \frac{1}{R} \right) \right] = \underbrace{\frac{qd}{\tau_{sp}} \left[N_0 + \frac{1}{\Gamma a} \left(\alpha_s + \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R} \right) \right]}_{J_{th}} + \underbrace{\frac{qd}{\tau_{sp}} \frac{1}{\Gamma a} \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R}}_{\Delta J} = J_{th} + 2.51 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$$

$$I_{th} = \frac{qdWL}{\tau_{sp}} \left[N_0 + \frac{1}{\Gamma a} \left(\alpha_s + \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R} \right) \right] \approx 31.2 \text{ mA}$$

$$I'_{th} = \frac{qdWL}{2\tau_{sp}} \left[N_0 + \frac{1}{\Gamma a} \left(\alpha_s + \frac{2}{L} \ln \frac{1}{R} \right) \right] \approx 21.9 \text{ mA}$$

Es veu com mentre que la densitat de corrent llindar creix, el corrent llindar decreix.

8) La potència de saturació per a les dues longituds:

$$P_{out} = \frac{1-R}{2\sqrt{R}} \frac{hf W}{q \alpha_t} (J - J_{th}) = \frac{1-R}{2\sqrt{R}} \frac{hf W}{q \alpha_t} J_{th} = \frac{1-R}{2\sqrt{R}} \frac{hf W d}{\tau_{sp}} \left(\frac{N_0}{\alpha_t} + \frac{1}{\Gamma a} \right) = \frac{1-R}{2\sqrt{R}} \frac{hf W d}{\tau_{sp}} \left(\frac{N_0}{\alpha_s + \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R}} + \frac{1}{\Gamma a} \right) \equiv P_{sat}$$

$$J = 2J_{th} \quad J_{th} = \frac{q d}{\tau_{sp}} \left(N_0 + \frac{\alpha_t}{\Gamma a} \right) \quad \alpha_t = \alpha_s + \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R}$$

$$P_{sat} = \frac{1-R}{2\sqrt{R}} \frac{hf W d}{\tau_{sp}} \left(\frac{N_0}{\alpha_s + \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R}} + \frac{1}{\Gamma a} \right) \approx 7.15 \text{ mW} > 6.5 \text{ mW} \approx \frac{1-R}{2\sqrt{R}} \frac{hf W d}{\tau_{sp}} \left(\frac{N_0}{\alpha_s + \frac{2}{L} \ln \frac{1}{R}} + \frac{1}{\Gamma a} \right) = P'_{sat}$$

Es veu com la potència de saturació és menor si la longitud de la zona activa decreix.

9) Potència de sortida per a un corrent de 60 mA per a les dues longituds:

$$P_{out} = \frac{1-R}{2\sqrt{R}} \frac{hf}{q \alpha_t L} (I - I_{th}) = \frac{1-R}{2\sqrt{R}} \frac{hf}{q L} \underbrace{\frac{1}{\alpha_s + \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R}}}_{\sim 0.23} (I - I_{th}) = 6.6 \text{ mW} < P_{sat}$$

$$\alpha_t = \alpha_s + \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R}$$

$$P'_{out} = \frac{1-R}{2\sqrt{R}} \frac{hf}{q \frac{L}{2} \alpha_s + \frac{2}{L} \ln \frac{1}{R}} (I - I'_{th}) = 11.35 \text{ mW} > P'_{sat} \rightarrow P'_{out} = P'_{sat} = 6.5 \text{ mW}$$

$$\underbrace{\frac{L}{2} \alpha_s + \frac{2}{L} \ln \frac{1}{R}}_{\sim 0.30}$$

En aquest segon cas el làser està fortament saturat.

10) Potència de saturació per al DFB i una longitud de 250 μm :

$$P_{sat}^{DFB} = \frac{1-R}{2\sqrt{R}} \frac{hf W}{q \alpha_t} (J - J_{th}) = \frac{3}{2} \frac{1-R}{2\sqrt{R}} \frac{hf W d}{\tau_{sp}} \left(\frac{N_0}{\alpha_t} + \frac{1}{\Gamma a} \right) = \frac{3}{2} P_{sat}^{FP} \approx 9.75 \text{ mW}$$

$$J = 2.5J_{th} \quad J_{th} = \frac{q d}{\tau_{sp}} \left(N_0 + \frac{\alpha_t}{\Gamma a} \right)$$

Potència de sortida per al DFB per a un corrent de 60 mA i una longitud de 250 μm :

$$P_{out}^{DFB} = \frac{1-R}{2\sqrt{R}} \frac{hf}{q \frac{L}{2} \alpha_s + \frac{2}{L} \ln \frac{1}{R}} (I - I'_{th}) = 11.35 \text{ mW} > P_{sat}^{DFB} \rightarrow P_{out}^{DFB} = P_{sat}^{DFB} = 9.75 \text{ mW}$$

$$\underbrace{\frac{L}{2} \alpha_s + \frac{2}{L} \ln \frac{1}{R}}_{\sim 0.60}$$

El làser DFB proporciona una potència de saturació (per al mode fonamental) major.