

Control de Comunicacions Òptiques

Grup 10 - 6 de Maig de 2009

Temps : 1h 30'

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 coherent és la que prové d'un procés de:
a) Absorció estimulada
b) Emissió espontània
c) Emissió estimulada
d) Cap de les anteriors
- El concepte de nivell de transparència d'un material semiconductor fa referència a la concentració de portadors necessària per a que:
a) El procés d'emissió estimulada iguali el procés d'absorció
b) El guany del material iguali les pèrdues de scattering
c) El guany del material iguali les pèrdues de la cavitat
d) El guany del material iguali les pèrdues de scattering més les de la cavitat
- Els làsers més utilitzats en comunicacions òptiques són:
a) Els làsers d'estat sòlid
b) Els làsers semiconductors
c) Els làsers de gas
d) Els làsers de fibra
- En règim estacionari d'oscil·lació, la distribució longitudinal de potència òptica dins de la zona activa d'un làser Fabry-Perot és aproximadament:
a) Gaussiana
b) Sinusoidal
c) Constant
d) Lambertiana
- En un làser monomode en règim estacionari es compleix que:
a) Tant el nivell de portadors com el nivell de fotons són proporcionals respecte el corrent d'alimentació
b) Tant el nivell de portadors com el nivell de fotons es mantenen constants respecte el corrent d'alimentació
c) El nivell de portadors és proporcional mentre que el nivell de fotons es manté constant respecte el corrent d'alimentació
d) El nivell de portadors es manté constant mentre que el nivell de fotons és proporcional respecte el corrent d'alimentació
- La funció de transferència electro-òptica d'un LED és de la forma:
a) $H(\omega) = \left[\frac{1}{1 + j\omega\tau_r} \right]$
b) $H(\omega) = \left[\frac{1}{1 - j\omega\tau_r} \right]$
c) $H(\omega) = \left[\frac{1}{1 + j\omega/\tau_r} \right]$
d) $H(\omega) = \left[\frac{1}{1 - j\omega/\tau_r} \right]$
- Després de modular sinusoidalment un LED ($\tau_{sp}=1\text{ns}$), l'índex de modulació de la potència òptica és un 75% inferior a l'índex de modulació del corrent estímul. A quina freqüència s'ha modulat?:
a) 140 MHz
b) 212 MHz
c) 616 MHz
d) 636 MHz
- La potència òptica lliurada per un làser quan s'aplica un graó de corrent segueix una evolució de la forma ($\Omega^2 \equiv \omega_c^2 - \alpha^2$):
a) $P(t) \propto [1 - e^{-\alpha t} \cos(\Omega t)]$
b) $P(t) \propto [1 - e^{\alpha t} \cos(\Omega t)]$
c) $P(t) \propto [1 - e^{-\alpha t} \sin(\Omega t)]$
d) $P(t) \propto [1 - e^{\alpha t} \sin(\Omega t)]$

9. Un diode LED (temps de vida del portador τ_{sp}) alimentat en contínua lliura una potència òptica P_0 . Si es talla l'alimentació sobtadament, la potència òptica seguirà una evolució:

- a) $P(t) = P_0 [1 - e^{-t/\tau_{sp}}]$ b) $P(t) = P_0 e^{t/\tau_{sp}}$ c) $P(t) = P_0 [1 - e^{-t/\tau_{sp}}]$ d) $P(t) = P_0 e^{-t/\tau_{sp}}$

10. Si el temps que triga la potència emesa pel LED anterior a caure al 1% del seu valor inicial és de 2.3 ns, quant valdrà el temps de vida del portador τ_{sp} ?:

- a) $\tau_{sp}=0.5$ ns b) $\tau_{sp}=1$ ns c) $\tau_{sp}=1.5$ ns d) $\tau_{sp}=2$ ns

11. Es pretén modular digitalment el LED anterior i es fixa que el temps de commutació (10%-90%) sigui com a màxim del 20% del temps de bit. Deduïu quina serà, aproximadament, la màxima velocitat de modulació per a un senyal NRZ ideal:

- a) 360 Mb/s b) 180 Mb/s c) 120 Mb/s d) 60 Mb/s

Si el nivell de transparència és zero, a 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 polsació 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 lllindar.

12. 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:

- a) $J_0 = J_{th}$ b) $J_0 = 1.5 J_{th}$ c) $J_0 = 2 J_{th}$ d) $J_0 = 2.5 J_{th}$

13. Si es pretén que el làser no ressoni mai ($\alpha/\omega_c > 1/\sqrt{2}$), quina condició s'ha de complir ?:

- a) $\tau_{ph} \geq 2 \tau_{sp}$ b) $\tau_{ph} \geq \tau_{sp}/2$ c) $\tau_{ph} \leq 2 \tau_{sp}$ d) $\tau_{ph} \leq \tau_{sp}/2$

Es pretén modular un làser monomode ($I_{th}=20$ mA) amb un senyal digital. La potència òptica màxima lliurada pel dispositiu és de 5 mW (potència de saturació) mentre que per la zona de treball lineal la potència òptica de sortida segueix l'expressió: $P_{out} = C_p (I - I_{th})$ on $C_p = 0.25$ W/A. Per altra banda, el temps de resposta del dispositiu s'aproxima per l'expressió:

$$t_r^2 \approx C_t \frac{\ln(P_{on}/P_{off})}{I_{on} - I_{off}} \text{ on } C_t = 7.82 \cdot 10^{-25} \text{ A} \cdot \text{s}^2.$$

14. Si es demana que la relació d'extinció de la modulació sigui $ER \equiv P_{on}/P_{off} > 10$, la potència del bit zero P_{off} haurà de ser com a màxim:

- a) 50 μ W b) 500 μ W c) 5 mW d) 50 mW

15. Si a més a més s'exigeix que el temps de resposta sigui inferior a 10 ps el corrent del bit zero I_{off} haurà de ser:

- a) 22 mA b) 23 mA c) 24 mA d) 25 mA

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

Longitud d'ona d'operació	1550 nm	Pèrdues en el material	$\alpha_s=2000 \text{ m}^{-1}$
Dimensions	L=500 μm , W=10 μm , d=1 μm	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

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

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

- a) 125 μm b) 205 μm c) 250 μm d) 410 μm

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

- 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) $1.5 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$

- 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 $5.2 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$

- 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 llindar 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

Formulari:

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

$$J_{\text{th}} = \frac{qd}{\tau_{\text{sp}}} \left[N_0 + \frac{\alpha_t}{\Gamma a} \right]$$

$$P_{\text{out}} = \frac{1-R}{2\sqrt{R}} \frac{hfW}{q\alpha_t} (J - J_{\text{th}})$$

Resolució:

1-2) 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 lleugerament desplaçat del màxim de la funció de guany.

Troblem els 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:

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

$$\text{A l'esquerra} \rightarrow 2270 - 2258 = 12$$

$$\text{A la dreta} \rightarrow 2258 - 2247 = 11$$

3) Longitud de la cavitat per a un comportament monomode. Assumint que el mode fonamental no es mou de lloc, per garantir que només oscil·li aquest només cal forçar que el primer mode secundari no compleixi la condició de guany. Es pot fer ús de la separació entre modes, en aquest cas l'aproximació ens és suficient:

$$\begin{aligned}\Delta\lambda &= \frac{1}{2}(\lambda_{\max} - \lambda_{\min}) = \sqrt{\frac{1}{\gamma} \left[g_p - \frac{\alpha_t}{\Gamma} \right]} = \sqrt{\frac{1}{\Gamma\gamma} \left[\Gamma g_p - \alpha_s - \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R} \right]} < \partial\lambda \approx \frac{\lambda_p^2}{2nL} \\ \frac{1}{\Gamma\gamma} \left[\Gamma g_p - \alpha_s - \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R} \right] &< \left(\frac{\lambda_p^2}{2nL} \right)^2 \rightarrow \frac{L^2}{\Gamma\gamma} [\Gamma g_p - \alpha_s] - \frac{L}{\Gamma\gamma} \ln \frac{1}{R} = \left(\frac{\lambda_p^2}{2n} \right)^2 \rightarrow \\ \rightarrow L^2 - \frac{L}{[\Gamma g_p - \alpha_s]} \ln \frac{1}{R} - \frac{\Gamma\gamma}{[\Gamma g_p - \alpha_s]} \left(\frac{\lambda_p^2}{2n} \right)^2 &= 0 \\ L &= \frac{\ln \frac{1}{R}}{2[\Gamma g_p - \alpha_s]} \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{\ln \frac{1}{R}}{[\Gamma g_p - \alpha_s]} \right)^2 + 4 \frac{\Gamma\gamma}{[\Gamma g_p - \alpha_s]} \left(\frac{\lambda_p^2}{2n} \right)^2} \\ L &= \underbrace{\frac{\ln \frac{1}{R}}{[\Gamma g_p - \alpha_s]}}_{\sim 200 \mu\text{m}} \frac{1}{2} \underbrace{\left(1 \pm \sqrt{1 + \frac{\Gamma\gamma [\Gamma g_p - \alpha_s] \left(\frac{\lambda_p^2}{n} \right)^2}{\left(\ln \frac{1}{R} \right)^2}} \right)}_{\sim 1.025} \approx 205 \mu\text{m}\end{aligned}$$

200 μm és la longitud mínima per a tenir efecte làser !!.

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) S'aplica la condició monomodal per al làser DFB monomode aïllant en aquest cas el paràmetre γ :

$$\begin{aligned}\Delta\lambda &= \frac{1}{2}(\lambda_{\max} - \lambda_{\min}) = \sqrt{\frac{1}{\gamma} \left[g_p - \frac{\alpha_t}{\Gamma} \right]} = \sqrt{\frac{1}{\Gamma\gamma} \left[\Gamma g_p - \alpha_s - \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R} \right]} < \partial\lambda \approx \frac{\lambda_p^2}{2nL} \\ \frac{1}{\Gamma\gamma} \left[\Gamma g_p - \alpha_s - \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R} \right] &< \left(\frac{\lambda_p^2}{2nL} \right)^2 \rightarrow \gamma > \frac{\Gamma g_p - \alpha_s - \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R}}{\Gamma \left(\frac{\lambda_p^2}{2nL} \right)^2} = 7.5 \cdot 10^{21} \text{ m}^{-3}\end{aligned}$$

6-7) Densitat de corrent i corrent lllindar:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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:

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

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

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

En aquest segon cas el làser està fortament saturat.

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

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

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

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

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

-0.60

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