



Télécommunication optique (ELE107)
Examen de Rattrapage 2013-2014 -Semestre II Durée : 2h : 00

Documents et téléphones : STRICTEMENT INTERDITS

Exercice 1 (10 points) Répondre très brièvement aux questions suivantes :

1. Que signifie la notion de longueur d'onde ?
2. Quelle est l'angle limite de réflexion totale sur l'interface de deux milieux n_1 et n_2 avec $n_1 > n_2$
3. Quelle est la relation entre la puissance optique et l'intensité de la lumière. ?
4. Quelles sont les deux grandes catégories des fibres optiques ?
5. Quelles sont les causes principales de dégradation du signal dans une fibre optique ?
6. Quelle est l'influence de la dispersion sur la qualité de transmission dans fibre optique ?
7. Comment diffèrent les trajets de la lumière dans les fibres à saut d'indice et celles à gradient d'indice.
8. Quelle est la définition générale de l'efficacité quantique d'une source optoélectronique
9. Quelle est l'influence de température sur le caractéristique flux- courant de diode laser
10. Que veut dire sensibilité spectrale d'une photodiode

Exercice 2 (20 points) On considère une photodiode *PDA* à hétérojonction, dans laquelle la couche intrinsèque, de largeur $x_i = 5 \mu\text{m}$ est constituée du composé à petit gap *GaInAs* ($E_g = 0.75 \text{ eV}$, indice de réfraction $n = 3.5$) placé entre deux couches à grand gap en *InP* ($E_g = 1.35 \text{ eV}$, indice de réfraction $n' = 3.2$). La couche intrinsèque étant éclairée à travers la couche d'*InP*.

1. Dans quel domaine spectral peut-on utiliser cette photodiode pour avoir une efficacité quantique maximale.
2. La photodiode reçoit la lumière laser de longueur d'onde $\lambda = 1.15 \mu\text{m}$ pour laquelle le coefficient d'absorption de *GaInAs* est équivalent à $\alpha_i = 5 \times 10^5 \text{ m}^{-1}$. Calculer l'efficacité quantique de photodiode.
3. Calculer la valeur du facteur de multiplication si le courant de sortie est d'ordre de 3 mA pour une puissance optique incidente de 1 mW.

Solution 1

$$1. \lambda = \frac{1.24}{E_g} \implies \begin{cases} \lambda_1 = \frac{1.24}{0.75} = 1.6533 \mu\text{m} \\ \lambda_2 = \frac{1.24}{1.35} = 0.91852 \mu\text{m} \end{cases}$$

L'efficacité quantique est maximale si la zone InP est transparente le max d'absorption dans la zone intrinsèque par suite

$$0.91852 \mu\text{m} < \lambda < 1.6533 \mu\text{m}$$

$$2. \eta = (1 - R) \exp(-\alpha_p x_p) (1 - \exp(-\alpha_i x_i))$$

Pour $\lambda = 1.15 \mu\text{m}$ la zone InP est transparente c-à-d. $\alpha_p = 0$

donc $\eta = (1 - R) (1 - \exp(-\alpha_i x_i))$

$$R = \left(\frac{n' - 1}{n' + 1} \right)^2 = \left(\frac{3.2 - 1}{3.2 + 1} \right)^2 = 0.27438$$

$$\eta = (1 - 0.27438) (1 - \exp(-5 \times 10^5 \times 5 \times 10^{-6})) = 0.72562 \left(1 - e^{-\frac{5}{2}} \right) = 0.66606$$

$$3. M = \frac{I_M}{I_p}$$

$$I_p = \eta \frac{e \lambda P_i}{hc} = \eta \frac{P_i \lambda_{\mu\text{m}}}{1.24} = 0.66606 \times \frac{1 \times 1.15}{1.24} = 0.61772 \text{ mA}$$

$$M = \frac{3}{0.61772} = 4.8566$$

Exercice 3 (40 points) Soit une fibre optique à saut d'indice de longueur $L = 10 \text{ km}$, de rayon du cœur $a = 40 \mu\text{m}$ et de différence relative d'indice $\Delta = 1\%$. Cette fibre peut guider au maximum 1000 modes de longueur d'onde $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$.

1. Montrer qu'il faut injecter la lumière dans la fibre à l'intérieure d'un cône de révolution d'angle au sommet α_c pour avoir de modes guidés. Exprimer α_c en fonction des indices des couches cœur (n_1) et gaine (n_2). Calculer α_c .
2. Calculer les indices n_1 et n_2 , en déduire l'angle limite de propagation.
3. Calculer la durée de transit du mode qui se propage suivant l'axe de la fibre.
4. La fibre est fabriquée de silice dont l'indice de réfraction du cœur est de la forme : $n_1(\lambda) = A + B\lambda^{-2}$ avec $A = 1.9413$ et $B = 2.174 \times 10^{-2} \mu\text{m}^2$ En négligeant les dispersions intramodales, de combien s'étale l'impulsion à la sortie de la fibre, si la largeur spectrale de la source est $\Delta\lambda = 0.01 \mu\text{m}$

Solution 2

1. Si θ est l'angle d'incidence sur l'interface cœur-gaine, on aura de réflexion interne totale si $\theta > \theta_\ell$

alors si $\sin \theta \geq \frac{n_1}{n}$ donc il faut injecter la lumière dans la fibre sous l'angle α tel que

$$\sin \alpha \leq \sin \alpha_c = n \cos \theta \leq n \sqrt{1 - \frac{n_1^2}{n^2}} = \sqrt{n^2 - n_1^2} = ON$$

$$\alpha_c = \arcsin(ON) = \arcsin(0.27581) = 0.27943 \text{ rad} = 16.01^\circ$$

2. Fibre à saut d'indice donc $M = \frac{2\pi^2 a^2 (n^2 - n_1^2)}{\lambda^2}$
- $$\Rightarrow ON^2 = (n^2 - n_1^2) = \frac{M\lambda^2}{2\pi^2 a^2} = \frac{1000 \times (1.55)^2}{2 \times \pi^2 \times (40)^2} = 0.07607 \Rightarrow ON = \sqrt{0.07607} = 0.27581$$
- $$\Delta = \frac{n^2 - n_1^2}{2n^2} \Rightarrow n = \sqrt{\frac{ON^2}{2\Delta}} = \sqrt{\frac{0.07607}{0.02}} = 1.9503 \simeq 1.95$$
- $$n_1 = \sqrt{n^2 - ON^2} = \sqrt{(1.9503)^2 - 0.07607} = 1.9307 \simeq 1.93$$
- $$\theta_c = \arcsin \frac{n_1}{n_2} = \arcsin \frac{1.93}{1.95} = 81.790^\circ$$
- 3.

Exercice 4 (30 points) On considère une diode laser dont les caractéristiques sont : Pertes intrinsèques $\alpha_i = 600\text{m}^{-1}$, indice de réfraction $n = 3.6$, dimensions : Longueur de la cavité : $L = 500 \mu\text{m}$, largeur $w = 1.3 \mu\text{m}$, épaisseur : $d = 0.1 \mu\text{m}$; $E_g = 1.3 \text{eV}$

- Démontrer que l'effet laser déclenche à partir d'une valeur de seuil du gain g_s qu'on déterminera l'expression. Calculer g_s
- La diode émet de la puissance optique 1.17mW en appliquant un courant d'intensité : I , telle puissance devient 1.95mW si on augmente l'intensité du courant de 0.8mA . Calculer l'intensité du courant de seuil et la valeur de l'efficacité quantique.

Solution 3

- Soit un point M , de la cavité où née une onde d'amplitude A . En traversant une fois la cavité (aller-retour) et après deux réflexions sur les miroirs l'amplitude en M sera $AR_1R_2 \exp(-2\alpha_i L) \exp(2gL)$. où L la longueur de la cavité et R_1, R_2 les réflectivités des miroirs, g le facteur de gain net. Pour la diode laser $R_1 = R_2 = R = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2$.

L'effet laser déclenche lorsque le compense tous les pertes donc lorsque :

$$AR^2 \exp(2(g - \alpha_i)L) \geq A \Rightarrow 2(g - \alpha_i)L \geq \ln \frac{1}{R^2}$$

$$\Rightarrow g \geq g_s = \alpha_i + \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R} = \alpha_i + \frac{2}{L} \ln \left(\frac{n+1}{n-1}\right)$$

- l'efficacité quantique de diode laser est donnée par

$$\eta = \frac{N_p}{N_r} = \frac{P/\hbar\omega}{(I - I_s)/e} = \frac{P.e}{\hbar\omega(I - I_s)} \Rightarrow P = \eta \frac{\hbar\omega}{e} (I - I_s)$$

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = \eta \frac{\hbar\omega}{e} (I_1 - I_s) \\ P_2 = \eta \frac{\hbar\omega}{e} (I_2 - I_s) \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{I_1 - I_s}{I_2 - I_s}$$

$$\frac{1.17}{1.95} = \frac{3 - I_s}{3.8 - I_s} \Rightarrow 1.17 \times (3.8 - I_s) = 1.95 \times (3 - I_s)$$

$$\Rightarrow 1.17 \times 3.8 - 1.95 \times 3 = -1.404 = (1.17 - 1.95) I_s = -.78 I_s$$

$$\Rightarrow I_s = \frac{1.404}{0.78} = 1.8$$

$$\eta = \frac{P \cdot e}{\hbar \omega (I - I_s)} = \frac{P}{E_g (I - I_s)} = \frac{1.17}{1.3 \times (3 - 1.8)} = .75$$

Formulaires

Fibre optique :

$$\text{Différence d'indice } \Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$$

$$\text{Ouverture Numérique : } ON = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$$\text{Nombre de modes } N = \frac{V^2}{2} \frac{\alpha}{\alpha + 2}$$

Fibre monomode pour $V < 2.405$

$$\text{Dispersion intermodale } \Delta\tau_n = \frac{L}{2cn_1} (ON)^2$$

$$\text{Dispersion du matériau } \Delta\tau_m = M_d L \Delta\lambda$$

$$M_d = -\frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n}{d\lambda^2}$$

Diode Laser :

$$\text{Gain de seuil : } g_s = \alpha_i + \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R}$$

$$\text{Condition de résonance : } 2nL = m\lambda$$

$$\text{Durée de vie du photon : } \tau_p = \frac{n}{cg_s}$$

$$\text{La puissance interne } P_i = \eta_i \frac{\hbar \omega}{e} (I - I_s)$$

$$\text{La puissance sortie : } P_e = \frac{P_i}{2} \frac{\alpha_m}{\alpha_i + \alpha_m}$$

Photodiode :

$$\text{Sensibilité : } S_\lambda = \eta \frac{\lambda}{1.24}$$

$$\eta = (1 - R) e^{-\alpha_s w_p} (1 - e^{-\alpha_s w_d}) = \frac{I_p h \nu}{e P_i}$$

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$