

**Esercizio 1:**

Si vuole realizzare un sistema di comunicazione ottica in terza finestra ( $\lambda_0 = 1550 \text{ nm}$ ). E' disponibile una fibra ottica step-index avente indici di rifrazione di core e cladding rispettivamente  $n_1 = 1.450$  e  $n_2 = 1.44$ , coefficiente di dispersione del materiale  $D_m = 10 \frac{\text{ps}}{\text{nm}\cdot\text{km}}$ , coefficiente di dispersione di guida d'onda  $D_w = -5 \frac{\text{ps}}{\text{nm}\cdot\text{km}}$ . Come sorgente si utilizza un LED ( $\Delta\lambda_{\text{FWHM}} = 50 \text{ nm}$ ) caratterizzato da un tempo di risposta  $\tau_{\text{LED}} = 4 \text{ ns}$ . Il fotodiodo a valle del sistema ha un tempo di risposta  $\tau_{\text{RIV}} = 1 \text{ ns}$ .

- a) Dimensionare il core affinché la fibra sia monomodale.
- b) Si vuole progettare il sistema con un Bit Rate di  $75 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}}$  e codifica Return To Zero. Calcolare la lunghezza massima della fibra per garantire tali prestazioni.
- c) Considerando che sono disponibili spezzoni di fibra di lunghezza  $L = 1 \text{ km}$ , che ciascun spezzone introduce un'attenuazione di  $0.25 \frac{\text{dB}}{\text{km}}$  e che la giunzione tra due spezzoni fa perdere 1 dB, calcolare la potenza in uscita dal sistema quando la potenza in ingresso è  $P_0 = 10 \text{ mW}$ . (Considerare un numero intero di spezzoni coerente con il risultato del punto precedente)

**Esercizio 2:**

Si consideri un laser a doppia eterostruttura edge emitting in AlGaAs ( $n_2 = 3.2$ ) / GaAs ( $n_1 \approx 3.6$ ) avente le seguenti caratteristiche: lunghezza d'onda di operazione  $\lambda_0 = 870 \text{ nm}$ , larghezza del contatto superiore  $W = 4.5 \mu\text{m}$ , spessore della zona attiva  $d = 0.22 \mu\text{m}$ , perdite interne  $\alpha_s = 10 \text{ cm}^{-1}$ , tempo di vita spontaneo  $\tau_{\text{sp}} = 3 \text{ ns}$ , tempo di vita dei fotoni in cavità  $\tau_{\text{ph}} = 2.5 \text{ ps}$ , guadagno di soglia  $g_{\text{th}} = 55 \text{ cm}^{-1}$  e concentrazione di soglia  $n_{\text{th}} = 3 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ .

- a) Determinare la lunghezza  $L$  della cavità.
- b) Determinare la larghezza a metà altezza  $\Delta\lambda_{1/2}$  dello spettro di emissione in modo da avere 15 modi oscillanti in cavità.
- c) Determinare la concentrazione di fotoni in cavità  $N_{\text{ph}}$  quando il laser è polarizzato sopra soglia mediante una corrente  $I = 100 \text{ mA}$ .

**Esercizio 3:**

Si consideri un fotodiodo pin in silicio caratterizzato da un layer intrinseco debolmente drogato  $n$  ( $N_v = 5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ ) di spessore  $w = 20 \mu\text{m}$ . Il diametro della superficie fotosensibile è  $d = 0.3 \text{ mm}$ . Sul fotodiodo incide una radiazione di lunghezza d'onda  $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$  con potenza ottica  $P_0 = 150 \text{ nW}$ .

- a) Calcolare la responsività  $R$  e la corrente fotogenerata  $I_{\text{ph}}$  sapendo che l'efficienza del rivelatore è  $\eta = 0.5$ .
- b) Calcolare la minima tensione necessaria per svuotare completamente la zona intrinseca (considera  $V_{\text{BI}} = 1\text{V}$ ).
- c) Calcolare il tempo di risposta del rivelatore sapendo che quest ultimo è connesso ad un carico di resistenza  $R_L = 50 \Omega$  (assumere condizioni di minimo tempo di transito).

**Domande di teoria:**

- a) Si descrivano la struttura ed il funzionamento di un reticolo di Bragg (distributed Bragg reflector, DBR).
- b) Si illustri la struttura di un LED a quantum well, descrivendo il principio quantico di funzionamento ed i vantaggi rispetto al LED a omogiunzione.

**Costanti fisiche:**

massa dell'elettrone  
 costante di Planck  
 carica elettronica  
 costante di Boltzmann  
 velocità della luce  
 costante dielettrica nel vuoto

$m_0 = 9.109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$   
 $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$   
 $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$   
 $k_B = 1.381 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$   
 $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$   
 $\epsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$

**Si**

costante dielettrica relativa  $\epsilon_r$   
 velocità di saturazione  $v_{\text{sat}}$  [ $\text{cm s}^{-1}$ ]  
 concentrazione intrinseca  $n_i$  [ $\text{cm}^{-3}$ ]  
 gap di energia  $E_G$  [eV]

11.7  
 $10^7$   
 $1.45 \times 10^{10}$   
 1.12

**Exercise 1:**

We want to realize an optical communication system operating at  $\lambda_0 = 1550$  nm. A step-index optical fiber with the following characteristics is available:

Core refracting index  $n_1 = 1.450$ , cladding with a refracting index  $n_2 = 1.44$ , material dispersion coefficient  $D_m = 10 \frac{ps}{nm \cdot km}$ , waveguide dispersion coefficient  $D_w = -5 \frac{ps}{nm \cdot km}$ . A LED with  $\Delta\lambda_{FWHM} = 50$  nm and a response  $\tau_{LED} = 4$  ns it is used as a light source. The photodiode at the end of the system has a response time  $\tau_{RIV} = 1$  ns.

- a) Design the core dimension in order to have a single mode fiber.
- b) We want to design the system Return To Zero with a Bit Rate of  $75 \frac{Mbit}{s}$ . Calculate the maximum fiber length to ensure this performance.
- c) Considering that the entire fiber length is composed by pieces of  $L = 1$  km, that each length introduces an attenuation of  $0.25 \frac{dB}{km}$  and that the junction between two lengths causes loss of 1 dB, calculate the output power when the input power is  $P_0 = 10$  mW. (Consider an integer number of segments consistent with the result of the previous point).

**Exercise 2:**

Consider an AlGaAs ( $n_2 = 3.2$ ) / GaAs ( $n_1 \approx 3.6$ ) edge emitting double heterostructure laser diode which has the following properties: operation wavelength  $\lambda_0 = 870$  nm, stripe top electrode width  $W = 4.5$   $\mu$ m, active layer thickness  $d = 0.22$   $\mu$ m, loss coefficient  $\alpha_s = 10$   $cm^{-1}$ , spontaneous decay time constant  $\tau_{sp} = 3$  ns, photon cavity lifetime  $\tau_{ph} = 2.5$  ps, threshold gain coefficient  $g_{th} = 55$   $cm^{-1}$  and threshold electron concentration  $n_{th} = 3 \cdot 10^{18}$   $cm^{-3}$ .

- a) Determine the cavity length  $L$ .
- b) Calculate the spectrum output linewidth  $\Delta\lambda_{1/2}$  so that 15 modes oscillate inside cavity.
- c) Determine the coherent photon concentration  $N_{ph}$  when the laser operates above the threshold at the current  $I = 100$  mA.

**Exercise 3:**

Consider a silicon pin photodetector with an intrinsic layer lightly n-doped ( $N_v = 5 \cdot 10^{13}$   $cm^{-3}$ ). The layer has a thickness  $w = 20$   $\mu$ m. The photosensitive surface has a diameter  $d = 0.3$  mm. An optical signal of wavelength  $\lambda_0 = 800$  nm and optical power  $P_0 = 150$  nW impinges the photodiode.

- a) Calculate the responsivity  $R$  and the photocurrent  $I_{ph}$  knowing the photodetector efficiency  $\eta = 0.5$ .
- b) Calculate the minimum voltage necessary to completely empty the intrinsic zone (consider  $V_{BI} = 1$  V).
- c) Now consider the photodiode connected to a load resistor  $R_L = 50$   $\Omega$ . Calculate the photodiode response time (assume conditions of minimum transit time).

**Theory questions:**

- a) Describe the structure and the functioning of a Bragg lattice (distributed Bragg reflector, DBR)
- b) Explain the structure of a quantum well LED, describing the operation quantum principle and the advantages compared to the homojunction LED.

**Physical constants:**

|   |   |
|---|---|
| electron rest mass                                | $m_0 = 9.109 \cdot 10^{-31}$ kg                         |
| Planck constant                                   | $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ J s                          |
| electron charge                                   | $e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ C                            |
| Boltzmann constant                                | $k_B = 1.381 \cdot 10^{-23}$ J K <sup>-1</sup>          |
| speed of light                                    | $c = 2.998 \cdot 10^8$ m s <sup>-1</sup>                |
| vacuum permittivity                               | $\epsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12}$ F m <sup>-1</sup> |
| <b>Si</b>   |   |
| relative permittivity $\epsilon_r$                | 11.7  |
| saturation electric field [kV cm <sup>-1</sup> ]  | 20  |
| saturation velocity [cm s <sup>-1</sup> ]         | $10^7$  |
| intrinsic concentration $n_i$ [cm <sup>-3</sup> ] | $1.45 \times 10^{10}$                                   |
| energy gap $E_G$ [eV]                             | 1.12  |