

**Esercizio 1:**

Un sistema di comunicazione ottico utilizza una fibra ottica step-index con apertura numerica NA pari a 0.2044 e con indice di rifrazione del core  $n_1 = 1.4$ . La fibra viene utilizzata in seconda finestra ( $\lambda = 1310$  nm).

- a) Calcolare, motivando i passaggi, l'angolo di accettazione in aria.
- b) Considerando la sola dispersione intermodale, valutare la massima frequenza di funzionamento per un sistema *Non-Return-to-Zero* (NRZ) con fibra lunga 10 km.
- c) Determinare il raggio massimo del core per avere fibra single-mode.

**Esercizio 2:**

Si consideri un diodo laser *edge-emitting* a doppia eterostruttura in GaAs (indice di rifrazione  $n = 3.6$ ) che opera in regime stazionario alla lunghezza d'onda  $\lambda_0 = 870$  nm. Il laser ha le seguenti caratteristiche: lunghezza della cavità  $L = 310$   $\mu\text{m}$ , larghezza del contatto superiore  $W = 4$   $\mu\text{m}$ , spessore del layer attivo  $d = 90$  nm, tempo di vita dei fotoni in cavità  $\tau_{\text{ph}} = 2.3$  ps, tempo di emissione spontanea  $\tau_r = 2.5$  ns, concentrazione di elettroni liberi a soglia  $n_{\text{TH}} = 1.9 \cdot 10^{18}$   $\text{cm}^{-3}$ . La cavità sfrutta le riflessioni alle interfacce semiconduttore-aria.

- a) Calcolare le perdite interne  $\alpha_s$ .
- b) Determinare la corrente di soglia  $I_{\text{TH}}$ .
- c) Calcolare la *slope-efficiency*  $\eta_s$  e la potenza d'uscita  $P_o$  quando la corrente di polarizzazione è  $I = 50$  mA.

**Esercizio 3:**

Si consideri una cella solare di area  $A = 1$   $\text{cm}^2$  connessa ad un carico di resistenza  $R = 20$   $\Omega$ . La cella in esame, su cui incide una radiazione di intensità pari a 1  $\text{kW/m}^2$ , è caratterizzata da una corrente di buio  $I_0 = 60$  pA e da una corrente di corto circuito  $|I_{\text{sc}}| = 32.5$  mA.

- a) Calcolare la tensione  $V_{\text{oc}}$  che si sviluppa a circuito aperto ai capi della cella.
- b) Determinare il punto di lavoro del circuito.
- c) Valutare l'efficienza di conversione  $\eta$  della cella.

**Domande di teoria:**

- a) Spiegare la relazione tra colore del LED e caratteristiche fisiche del semiconduttore nella regione attiva.
- b) Definire la responsività  $R$  del fotodiodo e tracciare l'andamento qualitativo di  $R$  per un fotodiodo p-n ed un fotodiodo pin, giustificandone il differente andamento per i due diodi.

**Costanti fisiche:**

massa dell'elettrone	$m_0 = 9.109 \cdot 10^{-31}$ kg
costante di Planck	$h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ J s
carica elettronica	$e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ C
costante di Boltzmann	$k_B = 1.381 \cdot 10^{-23}$ J K <sup>-1</sup>
velocità della luce	$c = 2.998 \cdot 10^8$ m s <sup>-1</sup>
costante dielettrica nel vuoto	$\epsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12}$ F m <sup>-1</sup>

**Si**

costante dielettrica relativa $\epsilon_r$	11.7
velocità di saturazione $v_{\text{sat}}$ [ $\text{cm s}^{-1}$ ]	$10^7$
concentrazione intrinseca $n_i$ [ $\text{cm}^{-3}$ ]	$1.45 \times 10^{10}$
gap di energia $E_G$ [eV]	1.12
densità di stati effettiva in banda di conduzione $N_c$ [ $\text{cm}^{-3}$ ]	$2.8 \times 10^{19}$
densità di stati effettiva in banda di valenza $N_v$ [ $\text{cm}^{-3}$ ]	$1.04 \times 10^{19}$

**Exercise 1:**

An optical communication system uses a step-index optical fiber with numerical aperture  $NA = 0.0244$ . The core of the fiber has a refractive index  $n_1 = 1.4$ . The system is operating at  $\lambda = 1310$  nm.

- Calculate, motivating the steps, the acceptance angle in air.
- Considering only the modal dispersion, evaluate the maximum operating frequency for a *Non-Return-to-Zero* (NRZ) system with 10 km long fiber.
- Determine the maximum core radius for having a single-mode fiber.

**Exercise 2:**

Consider a GaAs double heterostructure edge-emitting laser diode (refractive index  $n = 3.6$ ) operating in CW at  $\lambda_0 = 870$  nm. The laser has the following properties: cavity length  $L = 310$   $\mu\text{m}$ , top electrode width  $W = 4$   $\mu\text{m}$ , active layer thickness  $d = 90$  nm, photon cavity lifetime  $\tau_{\text{ph}} = 2.3$  ps, spontaneous decay time constant  $\tau_r = 2.5$  ns, threshold electron concentration  $n_{\text{TH}} = 1.9 \cdot 10^{18}$   $\text{cm}^{-3}$ . The cavity uses the reflections at the semiconductor-air interfaces.

- Calculate the internal losses  $\alpha_s$ .
- Determine the threshold current  $I_{\text{TH}}$ .
- Calculate the *slope-efficiency*  $\eta_s$  and the output power  $P_o$  when the bias current is  $I = 50$  mA.

**Exercise 3:**

A solar cell with area  $A = 1$   $\text{cm}^2$  drives a resistance load  $R = 20$   $\Omega$ . This cell, illuminated with light of intensity 1  $\text{kW/m}^2$ , has dark current  $I_0 = 60$  pA and short circuit current  $|I_{\text{sc}}| = 32.5$  mA.

- Calculate the open circuit output voltage  $V_{\text{oc}}$ .
- Determine the operating point of the circuit.
- Evaluate the efficiency  $\eta$  of the solar cell in this circuit.

**Theory questions:**

- Explain the relationship between LED color and physical characteristics of the semiconductor in the active region.
- Define the responsivity  $R$  of the photodiode and trace the qualitative trend of  $R$  for a p-n photodiode and a pin photodiode, justifying the different trend for the two diodes.

**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 [ $\text{kV cm}^{-1}$ ]	20
saturation velocity [ $\text{cm s}^{-1}$ ]	$10^7$
intrinsic concentration $n_i$ [ $\text{cm}^{-3}$ ]	$1.45 \times 10^{10}$
energy gap $E_G$ [eV]	1.12
effective density of states in the conduction band $N_C$ [ $\text{cm}^{-3}$ ]	$2.8 \times 10^{19}$
effective density of states in the valence band $N_V$ [ $\text{cm}^{-3}$ ]	$1.04 \times 10^{19}$