

Esercizio 1:

Si vuole realizzare un sistema di comunicazione ottica in terza finestra ($\lambda_0 = 1550$ nm). E' disponibile una fibra ottica step-index avente le seguenti caratteristiche:

Indici di rifrazione di core e cladding rispettivamente $n_1 = 1.450$ e $n_2 = 1.44$, coefficiente di dispersione del materiale $D_m = 12 \frac{ps}{nm \cdot km}$, coefficiente di dispersione di guida d'onda $D_w = -5 \frac{ps}{nm \cdot km}$. Come sorgente si utilizza un LED ($\Delta\lambda_{FWHM} = 50$ nm) caratterizzato da un tempo di risposta $\tau_{LED} = 5$ ns. Il fotodiodo a valle del sistema ha un tempo di risposta $\tau_{RIV} = 1$ ns.

- Dimensionare il core affinché la fibra sia monomodale.
- Si vuole progettare il sistema con un Bit Rate di $50 \frac{Mbit}{s}$ e codifica Return To Zero. Calcolare la lunghezza massima della fibra per garantire tali prestazioni.
- Considerando che sono disponibili spezzoni di fibra di lunghezza $L = 1$ km, che ciascun spezzone introduce un'attenuazione di $0.3 \frac{dB}{km}$ e che la giunzione tra due spezzoni fa perdere 1 dB, calcolare la potenza in uscita dal sistema quando la potenza in ingresso è $P_0 = 10$ mW. (Considerare un numero intero di spezzoni coerente con il risultato del punto precedente)

Esercizio 2:

Si consideri un LASER a doppia eterogiunzione di tipo edge-emitting con indice di rifrazione del layer attivo pari $n = 3.6$ e spessore $t = 100$ nm. Il laser è costituito da una struttura a cavità di Fabry-Perot di larghezza $w = 5$ μm . Le perdite interne sono descritte dal coefficiente $\alpha_s = 15$ cm^{-1} . Il laser emette una potenza ottica $P_0 = 30$ mW alla lunghezza d'onda $\lambda = 850$ nm quando è polarizzato con una corrente $I = 70$ mA.

- Sapendo che il laser ha una slope efficiency $n_s = 0.5 \frac{mW}{mA}$, calcolare la corrente di soglia.
- Assumendo un indice di rifrazione dei layer di confinamento $n_2 = 2.4$ e che la separazione tra i modi longitudinali è pari a $\Delta\lambda = 1.25$ nm, calcolare la concentrazione dei fotoni in cavità quando il dispositivo opera a $I = 70$ mA.
- Calcolare la concentrazione di elettroni liberi a soglia n_{TH} sapendo che il tempo di emissione spontanea è $\tau = 2$ ps.

Esercizio 3:

Si consideri un fotorivelatore APD in silicio caratterizzato da una regione di assorbimento π di estensione $W_\pi = 25$ μm e drogaggio $N_{A\pi} = 5 \cdot 10^{14}$ cm^{-3} e da una regione di valanga p di estensione $W_{p,av} = 500$ nm e drogaggio $N_{A,av} = 10^{16}$ cm^{-3} . Lo strato superficiale, di spessore $W_{n+} = 300$ nm è ricoperto da un layer antiriflesso realizzato in Nb_2O_5 ($n_{Nb_2O_5} = 2.28$). Si assuma una radiazione incidente di lunghezza d'onda $\lambda_0 = 800$ nm (coefficiente di assorbimento $\alpha = 10^3$ cm^{-1}).

- Calcolare la frazione di radiazione incidente trasmessa all'interno del fotodiodo a seguito dell'applicazione del coating antiriflesso.
- Calcolare la frazione di radiazione incidente assorbita nello strato π di assorbimento.
- Calcolare la tensione inversa applicata ai capi del rivelatore affinché il campo elettrico massimo nella zona p sia $300 \frac{kV}{cm}$ e riportare in un grafico quotato il profilo spaziale del campo elettrico.

Domande di teoria:

- Illustrare i materiali semiconduttori impiegati nei LED, in particolare le considerazioni che portano alla scelta del materiale in relazione all'efficienza e al colore.
- Illustrare il principio di funzionamento di un fotodiodo e la metrica usata per valutare la sua efficienza.

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 ⁻¹
velocità della luce	$c = 2.998 \cdot 10^8$ m s ⁻¹
costante dielettrica nel vuoto	$\epsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12}$ F m ⁻¹
costante dielettrica relativa del silicio	$\epsilon_r = 11.7$

Exercise 1:

We want to realize an optical communication system operating at $\lambda_0 = 1550 \text{ nm}$. 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 $D_m = 12 \frac{\text{ps}}{\text{nm}\cdot\text{km}}$, waveguide dispersion coefficient $D_w = -5 \frac{\text{ps}}{\text{nm}\cdot\text{km}}$. A LED with $\Delta\lambda_{\text{FWHM}} = 50\text{nm}$ and a response $t_{\text{LED}} = 5 \text{ ns}$ is used as a light source. The photodiode at the end of the system has a response time $t_{\text{RIV}} = 1 \text{ ns}$.

- Design the core dimension in order to have a single mode fiber.
- We want to design the system Return To Zero with a Bit Rate of $50 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}}$. Calculate the maximum fiber length to ensure this performance.
- Considering that the entire fiber length is composed by pieces of $L = 1 \text{ km}$, that each length introduces an attenuation of $0.3 \frac{\text{dB}}{\text{km}}$ and that the junction between two lengths causes loss of 1 dB , calculate the output power when the input power is $P_0 = 10 \text{ mW}$. (Consider an integer number of segments consistent with the result of the previous point).

Exercise 2:

Consider a double heterostructure edge-emitting laser diode with an active layer with a refracting index $n = 3.6$ and thickness $t = 100 \text{ nm}$. The laser consists of a Fabry-Perot cavity of $w = 5 \mu\text{m}$ width. Internal losses are described by the coefficient $\alpha_s = 15 \text{ cm}^{-1}$. The laser emits an optical power $P_0 = 30 \text{ mW}$ at the wavelength $\lambda = 850 \text{ nm}$ when it is polarized with a current $I = 70 \text{ mA}$.

- Knowing that the laser has a slope efficiency $n_s = 0.5 \frac{\text{mW}}{\text{mA}}$, calculate the threshold current.
- Assuming a refractive index of the confinement layers $n_2 = 2.4$ and that the separation between the longitudinal modes is equal to $\Delta\lambda = 1.25 \text{ nm}$, calculate the concentration of the photons in the cavity when the device operates at $I = 70 \text{ mA}$.
- Calculate the concentration of free electrons n_{TH} at threshold, knowing that the spontaneous emission time is $t_r = 2 \text{ ps}$.

Exercise 3:

Consider a silicon APD photodetector having an absorbing region π lightly p-type doped ($N_{\text{A}\pi} = 5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$) of extension $W_\pi = 25 \mu\text{m}$ and an avalanche region of width $W_{\text{p,av}} = 500 \text{ nm}$ and doping $N_{\text{A,av}} = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. The n^+ surface layer has a width $W_{n^+} = 300 \text{ nm}$ and is covered by a Nb_2O_5 ($n_{\text{Nb}_2\text{O}_5} = 2.28$) antireflection coating. Assume an incident radiation of wavelength $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$ (absorption coefficient $\alpha = 10^3 \text{ cm}^{-1}$).

- Considering the Nb_2O_5 antireflection coating, calculate the percentage of incoming radiation transmitted into the diode.
- Calculate the percentage of incoming radiation absorbed in the π region.
- Calculate the reverse voltage applied across the detector so that the maximum electric field in the p zone is $300 \frac{\text{kV}}{\text{cm}}$ and plot the spatial profile of the electric field in a quantitative graph.

Theory questions:

- Illustrate the semiconductor materials used in LEDs, focus on the considerations that lead to the choice of materials in relation to efficiency and color.
- Illustrate the principle of operation of a photodiode and the metric used to evaluate its efficiency.

Physical constants:

electron rest mass	$m_0 = 9.109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Planck constant	$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
electron charge	$e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Boltzmann constant	$k_B = 1.381 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
speed of light	$c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
vacuum permittivity	$\epsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$
Si relative permittivity	$\epsilon_r = 11.7$