

Esercizio 1:

Si consideri un laser ad argon in configurazione Fabry-Perot con cavità di lunghezza $L = 18$ cm. La transizione laser avviene dal livello $E_2 = 35.56$ eV a $E_1 = 33.02$ eV. Il laser ha un guadagno di soglia pari a $g_{th} = 0.6$ m⁻¹, perdite interne $\alpha_s = 0.04$ m⁻¹ e opera ad una temperatura di 3000 K.

- a) Calcolare la lunghezza d'onda emessa dal laser.
- b) Calcolare l'allargamento di riga per effetto Doppler e indicare il numero di modi oscillanti in cavità.
- c) Sapendo che $R_1 = 0.99$, calcolare la riflettività dell'altro specchio R_2 .

Esercizio 2:

Si consideri una sorgente LED di tipo lambertiano con layer attivo in $In_{0.47}Ga_{0.53}As$ caratterizzata da una corrente di polarizzazione $I_F = 60$ mA, tensione $V_F = 1.1$ V ed efficienza quantica esterna $\eta_{EQE} = 0.12$.

- a) Determinare la larghezza FWHM $\Delta\lambda_{1/2}$ dello spettro di emissione a temperatura $T = 300$ K note le costanti di Varshni del materiale attivo $E_{gap}(0 K) = 0.814$ eV, $A = 4.906 \cdot 10^{-4}$ eV K⁻¹ e $B = 301$ K.
- b) Calcolare l'efficienza di conversione elettro-ottica η_{PCE} del LED.
- c) Sapendo che il LED è posto a monte di una fibra ottica con apertura numerica $NA = 0.11$, calcolare la potenza accoppiata in fibra.

Esercizio 3:

Si consideri un fotodiodo pin in Silicio avente una zona intrinseca (debolmente drogata p) di spessore $W = 10$ μm e uno strato superficiale non trattato antiriflesso di spessore $x_{n+} = 200$ nm. Il fotodiodo è utilizzato per rivelare un segnale luminoso di lunghezza d'onda $\lambda = 500$ nm ($\alpha = 8.8 \cdot 10^3$ cm⁻¹) e potenza ottica $P_0 = 250$ nW.

- a) Calcolare l'efficienza quantica del rivelatore.
- b) Determinare la corrente fotogenerata.
- c) Disegnare la struttura del diodo e illustrare graficamente i drogaggi e gli andamenti quantitativi del campo elettrico.

Domande di teoria:

- a) Si illustri il concetto di specchio di Bragg (distributed Bragg reflector, DBR), descrivendo la struttura, il principio di funzionamento e le sue applicazioni in optoelettronica.
- b) Si dia la definizione di guadagno a soglia di un laser e se ne ricavi l'espressione in una cavità lunga L , con specchi di riflettività R_1 e R_2 .

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

	Si
costante dielettrica relativa ϵ_r	11.7
velocità di saturazione v_{sat} [cm s ⁻¹]	10^7
concentrazione intrinseca n_i [cm ⁻³]	1.45×10^{10}
gap di energia E_G [eV]	1.12
densità di stati effettiva in banda di conduzione N_C [cm ⁻³]	2.8×10^{19}
densità di stati effettiva in banda di valenza N_V [cm ⁻³]	1.04×10^{19}

massa dell'atomo di Argon	$m_{Ar} = 6.67 \cdot 10^{-26}$ kg
---------------------------	-----------------------------------

Exercise 1:

Consider an Argon laser, in Fabry-Perot configuration, with cavity $L = 18$ cm. The laser transition is between level $E_2 = 35.56$ eV and $E_1 = 33.02$ eV. The threshold gain is $g_{th} = 0.6$ m⁻¹ and the internal losses $\alpha_s = 0.04$ m⁻¹. The laser is operating at a temperature $T = 3000$ K.

- a) Calculate the emitted wavelength of the laser.
- b) Calculate the Doppler broadened linewidth $\Delta\lambda_{1/2}$ of the output spectrum and determine how many modes oscillate in the laser cavity.
- c) Knowing that $R_1 = 0.99$, calculate the reflectivity of the other mirror R_2 .

Exercise 2:

Consider an $In_{0.47}Ga_{0.53}As$ LED light source biased at $I_F = 60$ mA and $V_F = 1.1$ V with lambertian emission and external quantum efficiency $\eta_{EQE} = 0.12$.

- a) Calculate the spectral FWHM linewidth $\Delta\lambda_{1/2}$ of the light source at $T = 300$ K knowing that the Varshni constants for $In_{0.47}Ga_{0.53}As$ are $E_{gap}(0\text{ K}) = 0.814$ eV, $A = 4.906 \cdot 10^{-4}$ eV K⁻¹ and $B = 301$ K.
- b) Calculate the LED power conversion efficiency η_{PCE} .
- c) Calculate the optical power coupled to a step-index fiber with a numerical aperture $NA = 0.11$.

Exercise 3:

Consider a Silicon pin photodiode with an intrinsic layer (lightly p-doped) of thickness $W = 10$ μ m and a surface layer of thickness $x_{n+} = 200$ nm without antireflection coating. The photodiode is used to detect a light signal of wavelength $\lambda = 500$ nm ($\alpha = 8.8 \cdot 10^3$ cm⁻¹) and optical power $P_0 = 250$ nW.

- a) Calculate the photodiode quantum efficiency.
- b) Determine the photocurrent.
- c) Draw the structure of the diode and illustrate in a graph the doping concentrations and the behavior of the electric field (quantitatively).

Theory questions:

- a) Illustrate the concept of a Bragg mirror (distributed Bragg reflector, DBR), describing the structure, the operating principle and its applications in optoelectronics.
- b) Give the definition of threshold gain of a laser and derive its expression in a cavity long L , with reflectivity mirrors R_1 and R_2 .

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 ⁻¹
speed of light	$c = 2.998 \cdot 10^8$ m s ⁻¹
vacuum permittivity	$\epsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12}$ F m ⁻¹
Si	
relative permittivity ϵ_r	11.7
saturation electric field [kV cm ⁻¹]	20
saturation velocity [cm s ⁻¹]	10^7
intrinsic concentration n_i [cm ⁻³]	1.45×10^{10}
energy gap E_G [eV]	1.12
effective density of states in the conduction band N_C [cm ⁻³]	2.8×10^{19}
effective density of states in the valence band N_V [cm ⁻³]	1.04×10^{19}
mass of the Argon atom	$m_{Ar} = 6.67 \cdot 10^{-26}$ kg