

Esercizio 1:

Si consideri il laser He:Ne ($m_{He} = 0.66 \cdot 10^{-26}$ kg e $m_{Ne} = 3.35 \cdot 10^{-26}$ kg) operante in regime stazionario alla lunghezza d'onda $\lambda_0 = 632.8$ nm. Il laser è realizzato mediante una cavità ottica Fabry-Perot di lunghezza $L = 40$ cm e diametro $d = 1.5$ mm. Gli specchi hanno riflettività $R_1 = 97\%$ e $R_2 = 99.9\%$ e il tempo di vita dei fotoni in cavità è $\tau_{ph} = 33$ ns. Si consideri la miscela gassosa alla temperatura $T = 127$ °C e la riga di guadagno allargata per effetto Doppler.

- a) Calcolare il numero di modi oscillanti in cavità.
- b) Determinare le perdite interne α_S .
- c) Calcolare la potenza d'uscita del laser conoscendo la concentrazione di fotoni in cavità $N_{ph} = 3 \cdot 10^{15}$ m⁻³.

Esercizio 2:

Un LED in AlGaAs opera a temperatura ambiente con picco di emissione a $\lambda_0 = 800$ nm. Il LED presenta le seguenti caratteristiche:

- Potenza di uscita $P_0 = 10$ mW quando opera a $I_F = 20$ mA
- efficienza di conversione elettro-ottica $\eta_{PCE} = 5\%$.

- a) Determinare l'energy-gap del layer attivo in AlGaAs.
- b) Determinare la larghezza FWHM $\Delta\lambda_{1/2}$ dello spettro di emissione.
- c) Calcolare l'efficienza quantica esterna η_{EQE} del LED e la tensione diretta V_F applicata ai capi del dispositivo.

Esercizio 3:

Si consideri un fotodiodo pin in silicio caratterizzato da un layer intrinseco debolmente drogato n ($N_v = 5 \cdot 10^{13}$ cm⁻³) di spessore $w = 18$ um. Il diametro della superficie fotosensibile è $d = 0.3$ mm. Sul fotodiodo incide una radiazione di lunghezza d'onda $\lambda_0 = 800$ nm con potenza ottica $P_0 = 150$ nW.

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

Domande di teoria:

- a) Si definisca il V-number per una guida d'onda e per una fibra ottica, illustrando come da esso si possa risalire al numero di modi di propagazione.
- b) Si illustri il principio di funzionamento di un laser per il caso a 3 livelli e quello a 4 livelli, fornendo esempi pratici per entrambi.

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}

Exercise 1:

Consider a He:Ne laser ($m_{\text{He}} = 0.66 \cdot 10^{-26}$ kg, $m_{\text{Ne}} = 3.35 \cdot 10^{-26}$ kg) operating in CW at $\lambda_0 = 632.8$ nm (free space wavelength). The laser is made using a Fabry-Perot optical cavity of length $L = 40$ cm and diameter $d = 1.5$ mm. The reflectances of the mirrors at the ends of the tube are $R_1 = 97\%$ and $R_2 = 99.99\%$. The photon cavity life-time is $\tau_{\text{ph}} = 33$ ns. Consider the gas at temperature $T = 127$ °C and the linewidth broadened by Doppler effect.

- Determine the number of oscillating cavity modes.
- Determine the internal losses α_s .
- Calculate the output power knowing the photon concentration in the cavity $N_{\text{ph}} = 3 \cdot 10^{15}$ m⁻³.

Exercise 2:

Consider an AlGaAs LED operating at room temperature with emission wavelength $\lambda_0 = 800$ nm. The LED has the following characteristics:

- Output power $P_0 = 10$ mW when is biased with a forward current $I_F = 20$ mA,
- Conversion efficiency $\eta_{\text{PCE}} = 5\%$.

- Calculate the energy-gap of the active material.
- Determine the spectral linewidth FWHM $\Delta\lambda_{1/2}$.
- Calculate the external quantum efficiency η_{EQE} and the direct voltage V_F applied across the device.

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 $w = 18$ μm. 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.

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

Theory questions:

- Give the definition of V-number for a wave guide and an optical fiber, showing how the number of propagating modes can be derived from it.
- Illustrate the working principle of a laser for the case of 3 levels and the case of 4 levels, providing practical examples for both cases.

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}