

Esercizio 1:

Si consideri un laser He:Ne ($m_{He} = 0.66 \cdot 10^{-26}$ kg e $m_{Ne} = 3.35 \cdot 10^{-26}$ kg) che opera in regime stazionario alla lunghezza d'onda $\lambda_0 = 632.8$ nm. Il laser è realizzato mediante una cavità ottica Fabry-Perot di lunghezza $L = 50$ cm. La temperatura di lavoro del gas è 100°C .

- a) Stimare l'allargamento di riga dovuto all'effetto doppler (sia in frequenza sia in lunghezza d'onda).
- b) Calcolare il numero di modo m più vicino alla lunghezza d'onda centrale.
- c) Calcolare la temperatura di funzionamento per avere un laser monomodale (Si trascuri la dilatazione termica della cavità).

Esercizio 2:

Un LED in AlGaAs opera a temperatura ambiente con picco di emissione a $\lambda_0 = 890$ nm (IR). Il LED presenta le seguenti caratteristiche: corrente di bias $I_F = 50$ mA, efficienza di estrazione $\eta_{EE} = 20\%$, tempo di vita radiativo $\tau_r = 20$ ns e tempo di vita non radiativo $\tau_{nr} = 60$ ns.

- 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 la potenza ottica emessa in uscita dal LED.

Esercizio 3:

Si consideri un rivelatore APD in silicio la cui struttura prevede uno strato superficiale trattato antiriflesso di tipo n^+ di spessore $W_{n^+} = 2$ μm , una regione di valanga drogata p ($N_{A,av} = 10^{16}$ cm^{-3}) di spessore $W_{p,av} = 1$ μm , una zona quasi intrinseca π ($N_{A,\pi} = 10^{14}$ cm^{-3}) di spessore $W_\pi = 20$ μm e un substrato p^+ . Il fotodiodo, su cui incide un segnale ottico, è caratterizzato inoltre da un guadagno di moltiplicazione $M=100$ e da un rapporto tra i coefficienti di ionizzazione di lacune ed elettroni $k = 0.1$.

- a) Determinare la polarizzazione inversa applicata ai capi del rivelatore sapendo che il campo elettrico all'interfaccia tra la zona di valanga e quella quasi intrinseca $E_\pi = 55$ kV/cm.
- b) Calcolare la frazione di potenza ottica incidente sul dispositivo assorbita rispettivamente nella zona p di valanga e nella zona π assumendo un coefficiente di assorbimento $\alpha = 0.1$ μm^{-1} .
- c) Fornire una stima del tempo di risposta del fotodiodo a valanga specificando il significato di ciascun contributo.

Domande di teoria:

- a) Si ricavi l'equazione caratteristica dei modi di propagazione nella fibra ottica partendo dalle condizioni di interferenza costruttiva dell'onda all'interno del core.
- b) Si ricavi l'equazione caratteristica (potenza di uscita in funzione della corrente di polarizzazione) di un diodo laser.

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 $L = 50$ cm. Consider the gas at temperature $T = 100$ °C.

- Calculate the Doppler broadened linewidth of the output spectrum (both in frequency and wavelength).
- Determine the nearest mode number m to the central wavelength.
- Calculate the temperature needed for having a laser with a single mode output (do not consider the thermal expansion in the cavity).

Exercise 2:

An AlGaAs LED operates at room temperature with emission peak at $\lambda_0 = 890$ nm (IR). The LED has the following characteristics: forward current $I_F = 50$ mA, extraction efficiency $\eta_{\text{EE}} = 20\%$, radiative recombination lifetime $\tau_r = 20$ ns and nonradiative recombination lifetime $\tau_{\text{nr}} = 60$ ns.

- Determine the energy-gap of the AlGaAs active layer.
- Determine the FWHM linewidth $\Delta\lambda_{1/2}$ of the laser spectrum.
- Calculate the output optical power.

Exercise 3:

Consider a silicon APD structure with a AR coated n^+ -doped surface layer of thickness $W_{n^+} = 2$ μm , a p -doped ($N_{A,p} = 10^{16}$ cm^{-3}) avalanche layer of thickness $W_{p,av} = 1$ μm , a light-doped ($N_{A,\pi} = 10^{14}$ cm^{-3}) π -layer of thickness $W_{\pi} = 20$ μm and a p^+ substrate. In addition, the detector, on which an optical signal impinges, has multiplication gain $M = 100$ and hole/electron ionization coefficient ratio $k = 0.1$.

- Determine the reverse bias applied to the detector knowing that the electric field at the interface between the avalanche and π layer $E_{\pi} = 55$ kV/cm.
- Calculate the percentage of incident optical power absorbed in the avalanche and π layer respectively assuming an absorption coefficient $\alpha = 0.1$ μm^{-1} .
- Give an estimate of the APD response time specifying each term.

Theory questions:

- Derive the characteristic equation of the optic fiber modes, starting from the constructive interference conditions of the wave inside the core.
- Find the characteristic equation (output power as a function of the bias current) of a laser diode.

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}