

Esercizio 1:

Si consideri il laser Nd:YAG in **Fig. 1** (indice di rifrazione $n_{YAG} = 1.82$) che opera alla lunghezza d'onda (nel vuoto) $\lambda_0 = 1064$ nm. L'energia del livello laser inferiore è $E_1 = 0.2617$ eV, l'allargamento di riga collisionale è $\Delta\nu_{FWHM} = 120$ GHz. La barretta cristallina, di lunghezza $l = 4$ cm, è posta all'interno di un risonatore Fabry-Perot di lunghezza $L = 10$ cm. Le superfici laterali della barretta sono rivestite da strati antiriflesso realizzati in SiO_2 ($n_{SiO_2} = 1.45$).

- a) Disegnare un diagramma semplificato dei livelli energetici, e calcolare l'energia del livello laser superiore E_2 [eV].
- b) Calcolare il numero di modi oscillanti in cavità.
- c) Dimensionare lo spessore degli strati antiriflesso e calcolare la riflettanza.

Esercizio 2:

Si consideri un LED realizzato in AlGaInP che opera a temperatura $T = 300$ K (energy gap $E_g(300\text{ K}) = 2$ eV). Il LED ha le seguenti caratteristiche: corrente di polarizzazione diretta $I_F = 100$ mA, tensione diretta $V_F = 2.2$ V, intensità luminosa di picco $I_{v,0} = 4$ cd, efficienza di conversione $\eta_{PCE} = 15.2\%$. Il LED è caratterizzato da un'emissione lambertiana.

- a) Determinare la lunghezza d'onda centrale λ_0 e la larghezza a metà altezza $\Delta\lambda_{FWHM}$ dello spettro d'emissione.
- b) Calcolare l'efficacia luminosa η_{LE} e la sensibilità spettrale dell'occhio umano $V(\lambda_0)$.
- c) Calcolare il numero di fotoni raccolti in $\Delta t = 100$ ns da un bersaglio circolare di raggio $r = 2$ mm posto a distanza $L = 3$ m, ad un angolo $\theta = 45^\circ$ rispetto alla direzione di massima emissione.

Esercizio 3:

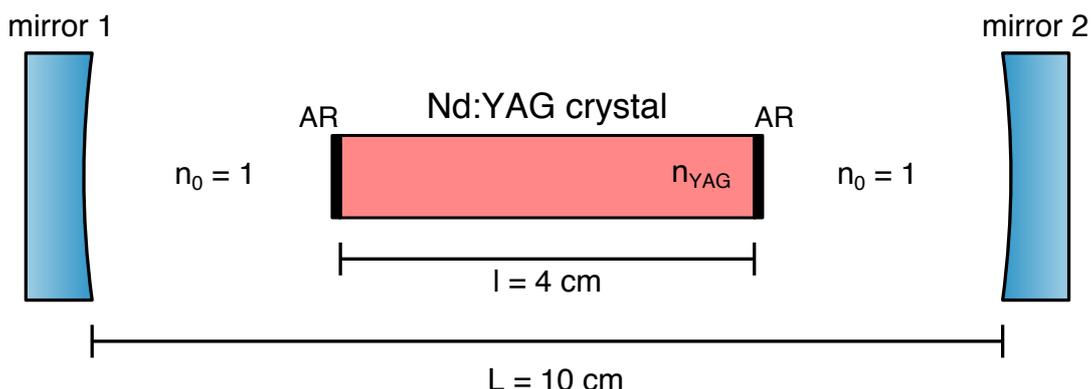
Si consideri un fotodiodo pin in silicio la cui superficie fotosensibile, di area $A = 3$ mm², è trattata con uno strato antiriflesso. Il dispositivo è caratterizzato da un'estensione dello strato p+ superficiale $x_{p+} = 100$ nm e da una regione intrinseca debolmente drogata n ($N_v = 5 \cdot 10^{13}$ cm⁻³) di spessore $W = 15$ μm. Il fotodiodo deve rivelare una radiazione incidente di lunghezza d'onda $\lambda_0 = 800$ nm ($\alpha = 10^3$ cm⁻¹).

- a) Determinare la polarizzazione inversa V_{REV} richiesta ai capi del fotodiodo per minimizzare il tempo di transito dei portatori fotogenerati nella zona intrinseca, e riportare in un grafico quotato il profilo spaziale del campo elettrico. (Si trascuri l'estensione del depletion layer nelle zone n+ e p+ laterali).
- b) Sapendo che la detettività specifica del rivelatore è $D^* = 10^{12}$ cm²Hz/W, calcolare la densità della corrente di buio J_d . (Si assuma trascurabile il rumore shot associato alla minima fotocorrente rivelabile rispetto al rumore shot della corrente di buio).
- c) Si consideri ora il fotorivelatore collegato ad una resistenza di carico $R_L = 50$ Ω. Calcolare il tempo di risposta del rivelatore, indicando il contributo dominante.

Domande di teoria:

- a) Discutere il problema dell'attenuazione nelle fibre ottiche, mostrando come esso limiti la massima lunghezza di una fibra in un sistema di comunicazione.
- b) Illustrare i fenomeni di allargamento della riga di guadagno in una sorgente laser.

Fig. 1



Exercise 1:

Consider the Nd:YAG laser in **Fig. 1** (refractive index $n_{\text{YAG}} = 1.82$) operating at $\lambda_0 = 1064 \text{ nm}$ (free space wavelength). The lower laser level energy is $E_1 = 0.2617 \text{ eV}$, the collision linewidth is $\Delta\nu_{\text{FWHM}} = 120 \text{ GHz}$. The crystal rod, of length $l = 4 \text{ cm}$, is placed in a Fabry-Perot resonator of length $L = 10 \text{ cm}$. The rod ends are antireflection coated with SiO_2 ($n_{\text{SiO}_2} = 1.45$).

- Draw a simplified energy levels diagram, and calculate the upper laser level energy E_2 [eV].
- Determine the number of oscillating cavity modes.
- Design the thickness of the antireflection coatings and calculate the reflectance.

Exercise 2:

Consider an AlGaInP LED operating at temperature $T = 300 \text{ K}$ (energy gap $E_g(300 \text{ K}) = 2 \text{ eV}$). The LED has the following characteristics: forward bias current $I_F = 100 \text{ mA}$, forward voltage $V_F = 2.2 \text{ V}$, peak luminous intensity $I_{v,0} = 4 \text{ cd}$, conversion efficiency $\eta_{\text{PCE}} = 15.2 \%$. The LED has a lambertian emission pattern.

- Determine the central wavelength λ_0 corresponding to peak emission and the spectral linewidth $\Delta\lambda_{\text{FWHM}}$.
- Calculate the luminous efficacy η_{LE} , and the human eye spectral sensitivity $V(\lambda_0)$.
- Calculate the number of photons impinging in $\Delta t = 100 \text{ ns}$ on a circular target of radius $r = 2 \text{ mm}$ at a distance $L = 3 \text{ m}$ from the source, at an angle $\theta = 45^\circ$ with respect to peak emission direction.

Exercise 3:

Consider a silicon pin photodetector having an AR coated surface and a photosensitive area $A = 3 \text{ mm}^2$. The p+ surface layer has a thickness $x_{p+} = 100 \text{ nm}$, the intrinsic region is slightly n-doped ($N_v = 5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$) and has a thickness $W = 15 \text{ }\mu\text{m}$. The photodiode must detect a light signal of wavelength $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$ ($\alpha = 10^3 \text{ cm}^{-1}$).

- Determine the reverse bias voltage V_{REV} across the diode needed to minimize the photogenerated carriers transit time across the intrinsic region, and plot a quantitative graph of the electric field profile. (*Neglect the extension of the depletion layer inside the lateral n^+ and p^+ regions*).
- Knowing the specific detectivity $D^* = 10^{12} \text{ cm}\sqrt{\text{Hz}}/\text{W}$, calculate the dark current density J_d . (*Assume the shot noise of the minimum detectable photocurrent negligible with respect to the dark current shot noise*).
- Now consider the photodiode connected to a load resistor $R_L = 50 \text{ }\Omega$. Calculate the photodiode response time, indicating the dominant contribution.

Theory questions:

- Discuss the problem of attenuation in optical fibers, and show how this limits the maximum fiber length in a communication system.
- Illustrate the optical gain curve broadening mechanisms in laser sources.

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 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}