

Esercizio 1:

Si consideri un laser Nd:YAG realizzato mediante una barretta cristallina di lunghezza $L = 9$ cm e indice di rifrazione $n = 1.82$. Le estremità della barretta sono trattate otticamente in modo tale che i due valori di riflettività R_1 e R_2 siano molto elevati. Le principali caratteristiche del laser sono: $\lambda_0 = 1064$ nm, $\Delta\nu_{1/2} = 126$ GHz, $R_1 = 99.9\%$, perdite interne $\alpha_s = 0.19$ m⁻¹ e tempo di vita dei fotoni in cavità $\tau_{ph} = 12$ ns.

- a) Calcolare l'energia E_{ph} [eV] del singolo fotone emesso dal laser.
- b) Calcolare il numero di modi oscillanti in cavità.
- c) Determinare la riflettività R_2 della faccetta di uscita.

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 $I_F = 50$ mA, tensione $V_F = 1$ V ed efficienza quantica esterna $\eta_{EQE} = 0.15$.

- 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, $A = 4.906 \times 10^{-4}$ eV K⁻¹ e $B = 301$ K.
- b) Calcolare l'efficienza di conversione elettro-ottica η_{PCE} del LED.
- c) Calcolare la potenza accoppiata in ingresso ad una fibra ottica step-index avente un core di diametro $d = 20$ μ m tale che il numero di modi di propagazione in fibra sia $M = 8$.

Esercizio 3:

Si consideri un fotodiodo pin in Silicio caratterizzato da uno strato superficiale p⁺ trattato antiriflesso di spessore $W_{p+} = 1$ μ m e da una zona intrinseca di spessore $W_i = 20$ μ m. Il rivelatore, la cui apertura a sezione circolare presenta un diametro $d = 0.4$ mm, risulta illuminato da una radiazione di intensità $I_{ott} = 0.1$ mW/cm².

- a) Tracciare il profilo spaziale della potenza ottica lungo lo spessore del rivelatore valutando la potenza assorbita nella zona p⁺ e nella zona intrinseca quando il coefficiente di assorbimento del materiale assume come valori $\alpha_1 = 0.1$ μ m⁻¹ ($\lambda_1 = 800$ nm) e $\alpha_2 = 1$ μ m⁻¹ ($\lambda_2 = 550$ nm).
- b) Assumendo $\lambda = \lambda_2$, valutare lo spessore W_{p+} tale per cui la potenza assorbita nella zona intrinseca risulti uguale a quella calcolata al punto precedente per $\lambda = \lambda_1$.
- c) Calcolare lo spessore W_i tale da determinare una corrente $I_{ph} = 60$ nA assumendo $\lambda = \lambda_1$ e $W_{p+} = 1$ μ m.

Domande di teoria:

- a) Si descriva il principio di funzionamento di un diodo laser, spiegando i vantaggi dell'eterogiunzione e quelli della struttura a buca quantica multipla.
- b) Si descriva il principio di conversione di energia solare in energia elettrica in un dispositivo fotovoltaico, spiegando come sia possibile massimizzare la potenza convertita.

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 Nd:YAG laser realized by a crystal rod of length $L = 9$ cm and refractive index $n = 1.82$. The crystal rod has coated ends to achieve very high reflectance R_1 and R_2 . The laser has the following properties: $\lambda_0 = 1064$ nm, $\Delta\nu_{1/2} = 126$ GHz, $R_1 = 99.9\%$, internal loss coefficient $\alpha_s = 0.19$ m⁻¹ and photon cavity lifetime $\tau_{ph} = 12$ ns.

- Calculate the photon energy E_{ph} [eV].
- Calculate the number of modes oscillating inside laser cavity.
- Determine the emission end reflectance R_2 .

Exercise 2:

Consider an $In_{0.47}Ga_{0.53}As$ LED light source biased at $I_F = 50$ mA and $V_F = 1$ V with Lambertian emission and external quantum efficiency $\eta_{EQE} = 0.15$.

- 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, $A = 4.906 \times 10^{-4}$ eV K⁻¹ and $B = 301$ K.
- Calculate the LED power conversion efficiency η_{PCE} .
- Calculate the optical power coupled to a step-index fiber with a core of diameter $d = 20$ μm such that 8 modes propagate in the fiber.

Exercise 3:

Consider a Si-pin photodiode with an antireflection coated-p⁺ layer of thickness $W_{p^+} = 1$ μm and an intrinsic layer of thickness $W_i = 20$ μm . Such detector, which has a circular aperture of diameter $d = 0.4$ mm, is illuminated by a light of optical intensity $I_{opt} = 0.1$ mW/cm².

- Draw the evolution of the optical power in the photodiode and calculate the absorbed power in the p⁺ and intrinsic (i) layer, respectively, in case of absorption coefficient equal to $\alpha_1 = 0.1$ μm^{-1} ($\lambda_1 = 800$ nm) and $\alpha_2 = 1$ μm^{-1} ($\lambda_2 = 550$ nm).
- Calculate the p⁺-layer thickness W_{p^+} such that the absorbed power in the i-layer for $\lambda = \lambda_2$ is equal to the one previously calculated for $\lambda = \lambda_1$.
- Calculate the i-layer thickness W_i to have a photogenerated current $I_{ph} = 60$ nA assuming $\lambda = \lambda_1$ and $W_{p^+} = 1$ μm .

Theory questions:

- Illustrate the working principle of a laser diode, explaining the advantages of the heterojunction and of the multi-quantum well structure.
- Illustrate the principle of conversion from solar energy to electrical energy in a photovoltaic device, explaining how to maximize the converted power.

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}