

Esercizio 1:

Si consideri il LED *Osram LR G6SP*, operante a $T = 25\text{ }^\circ\text{C}$, le cui caratteristiche elettro-ottiche sono riportate in **Fig.1**.

- a) Calcolare l'energy gap del materiale attivo.
- b) Dopo aver verificato che la caratteristica di emissione è ben approssimata dalla legge di Lambert, calcolare l'efficacia luminosa η_{LE} , e l'efficienza di conversione elettro-ottica η_{PCE} .
- c) Calcolare il massimo angolo θ per cui la potenza ottica incidente su un rivelatore di area $A = 0.8\text{ mm}^2$, posto a distanza $L = 4\text{ m}$, è $P_{riv} \geq 0.5\text{ nW}$.

Esercizio 2:

Si consideri un laser He-Ne ($m_{He} = 0.66 \cdot 10^{-26}\text{ kg}$ e $m_{Ne} = 3.35 \cdot 10^{-26}\text{ kg}$) operante in regime stazionario alla lunghezza d'onda $\lambda_0 = 632.8\text{ nm}$, realizzato mediante una cavità ottica Fabry-Perot di lunghezza $L = 50\text{ cm}$. Gli specchi hanno riflettività $R_1 = 96\%$ e $R_2 = 99.9\%$. Il tempo di vita dei fotoni in cavità è $\tau_{PH} = 30\text{ ns}$, il coefficiente di Einstein per l'emissione stimolata è $B_{21} = 1.52 \cdot 10^{20}\text{ m kg}^{-1}$. Si consideri la miscela gassosa alla temperatura $T = 160\text{ }^\circ\text{C}$, 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) Stimare l'inversione di popolazione a soglia.

Esercizio 3:

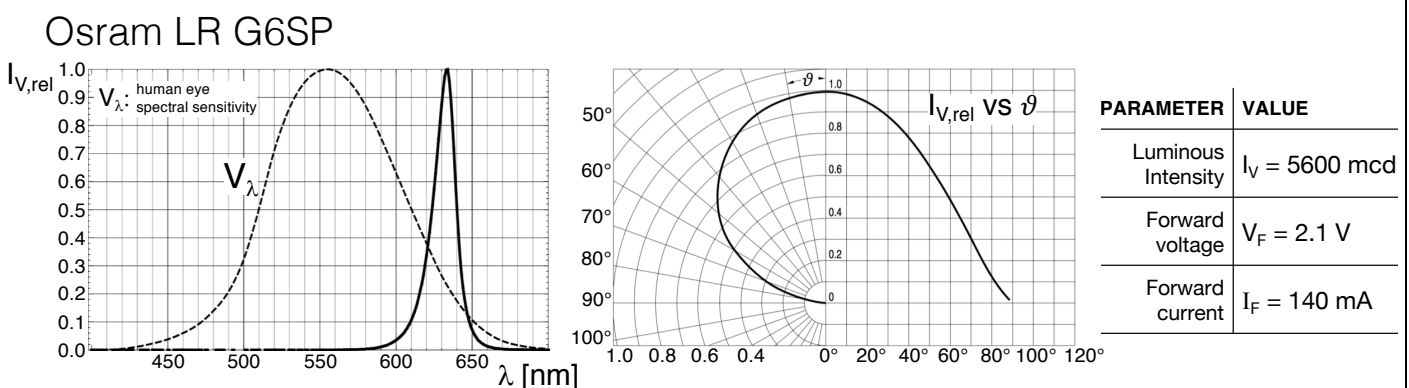
Si consideri un fotorelizzatore pin in silicio avente le seguenti caratteristiche: estensione della regione p^+ superficiale $x_{p^+} = 150\text{ nm}$, drogaggio n della regione quasi-intrinseca $N_v = 2 \cdot 10^{13}\text{ cm}^{-3}$, diametro della superficie fotosensibile $d = 1.6\text{ mm}$, corrente di buio $I_d = 1.5\text{ nA}$. Il rivelatore è connesso ad una resistenza di carico $R_L = 50\text{ }\Omega$.

- a) Dimensionare l'estensione della regione quasi-intrinseca W per minimizzare il tempo di risposta τ_{RESP} del dispositivo, calcolare τ_{RESP} corrispondente, e indicare il valore assunto da ciascun contributo.
- b) Assumendo $W = 20\text{ }\mu\text{m}$, determinare la tensione inversa V_{REV} che è necessario applicare ai capi del diodo per avere saturazione di velocità in tutta la regione quasi-intrinseca. Riportare in un grafico quotato il profilo spaziale del campo elettrico.
- c) Assumendo $W = 20\text{ }\mu\text{m}$, calcolare la noise equivalent power (NEP) nel caso $\lambda = 400\text{ nm}$ ($\alpha = 9.52 \cdot 10^4\text{ cm}^{-1}$), e commentare l'eventuale dipendenza di NEP dalla lunghezza d'onda della radiazione incidente.

Domande di teoria:

- a) Discutere il trade-off tra dispersione ed accoppiamento di potenza in una fibra ottica step-index.
- b) Descrivere la struttura e il principio di funzionamento di un diodo laser VCSEL, mettendo in luce i vantaggi rispetto ad una struttura ad emissione laterale.

Fig. 1



Exercise 1:

Consider the optical and electrical characteristics reported in **Fig.1**, related to a LED (*Osram LR G6SP*) operating at $T = 25\text{ }^\circ\text{C}$.

- Calculate the energy gap of the active material.
- After verifying that the emission characteristics is well described by the Lambert law, calculate the luminous efficacy η_{LE} , and the power conversion efficiency η_{PCE} .
- Considering a photodetector of area $A = 0.8\text{ mm}^2$, placed at a distance $L = 4\text{ m}$ from the LED, find the maximum angle θ giving an optical power impinging on the detector $P_{riv} \geq 0.5\text{ nW}$.

Exercise 2:

Consider a He-Ne laser ($m_{He} = 0.66 \cdot 10^{-26}\text{ kg}$, $m_{Ne} = 3.35 \cdot 10^{-26}\text{ kg}$) operating in CW at $\lambda_0 = 632.8\text{ nm}$. The length of the Fabry-Perot optical cavity is $L = 50\text{ cm}$, the reflectances of the end mirrors are $R_1 = 96\%$ and $R_2 = 99.9\%$, the photon cavity lifetime is $\tau_{PH} = 30\text{ ns}$, the Einstein coefficient for stimulated emission is $B_{21} = 1.52 \cdot 10^{20}\text{ m kg}^{-1}$. Consider the gaseous mixture at temperature $T = 160\text{ }^\circ\text{C}$, and a Doppler broadened linewidth.

- Calculate the number of oscillating cavity modes.
- Determine the internal losses α_s .
- Estimate the threshold population inversion.

Exercise 3:

Consider a silicon pin photodiode with the following properties: p^+ region width $x_{p+} = 150\text{ nm}$, quasi-intrinsic region n-type doping concentration $N_v = 2 \cdot 10^{13}\text{ cm}^{-3}$, photosensitive area of diameter $d = 1.6\text{ mm}$, dark current $I_d = 1.5\text{ nA}$. The detector is connected to a load resistor $R_L = 50\text{ }\Omega$.

- Find the quasi-intrinsic region width W in order to minimize the diode response time τ_{RESP} , calculate the corresponding τ_{RESP} , and specify the value of each contributing term.
- Assuming $W = 20\text{ }\mu\text{m}$, determine the reverse bias voltage V_{REV} across the diode in order to guarantee velocity saturation in all the quasi-intrinsic region. Plot a quantitative graph of the electric field profile.
- Assuming $W = 20\text{ }\mu\text{m}$, calculate the noise equivalent power (NEP) for $\lambda = 400\text{ nm}$ ($\alpha = 9.52 \cdot 10^4\text{ cm}^{-1}$), and comment on the possible dependence of NEP on the incident radiation wavelength.

Theory questions:

- Discuss the power coupling – dispersion trade-off in a step-index optical fiber.
- Describe the structure and the working principle of a VCSEL laser diode, showing the advantages with respect to a lateral emission structure.

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	$\epsilon_r = 11.7$
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}