

**Esercizio 1:**

Si consideri un laser Nd:YAG (indice di rifrazione  $n_{YAG} = 1.82$ ) che opera alla lunghezza d'onda (nel vuoto)  $\lambda_0 = 1064$  nm. L'energia del livello laser superiore è  $E_2 = 1.4271$  eV, l'allargamento di riga collisionale è  $\Delta\nu_{FWHM} = 122$  GHz. La barretta cristallina, di lunghezza  $l = 2$  cm, è posta all'interno di un risonatore Fabry-Perot di lunghezza  $L = 8$  cm. Le superfici laterali della barretta sono rivestite da uno strato antiriflesso (**Fig. 1**).

- a) Disegnare un diagramma semplificato dei livelli energetici, e calcolare l'energia del livello laser inferiore  $E_1$  [eV].
- b) Calcolare il numero di modi oscillanti in cavità.
- c) Dimensionare l'indice di rifrazione e lo spessore degli strati antiriflesso.

**Esercizio 2:**

Si consideri un LED realizzato in InGaN che opera a temperatura  $T = 300$  K (energy gap  $E_g(300\text{ K}) = 2.85$  eV). Il dispositivo è caratterizzato da un'efficienza quantica esterna  $\eta_{EQE} = 18\%$ , ed ai suoi capi cade una tensione diretta  $V_F = 3$  V. La dipendenza dell'energy gap dalla temperatura è descritta dall'equazione di Varshni:  $E_g(T) = E_{g,0} - \frac{AT^2}{B+T}$ , con  $A = 4.62 \cdot 10^{-4}$  eV/K e  $B = 420$  K.

- a) Determinare la lunghezza d'onda centrale  $\lambda_0$  e la larghezza a metà altezza  $\Delta\lambda_{FWHM}$  dello spettro d'emissione.
- b) Calcolare l'efficienza di conversione  $\eta_{PCE}$  e la potenza ottica emessa quando la corrente di polarizzazione è  $I_F = 10$  mA.
- c) Calcolare la variazione di temperatura che causa uno spostamento di 2 nm del picco di emissione  $\lambda_0$ .

**Esercizio 3:**

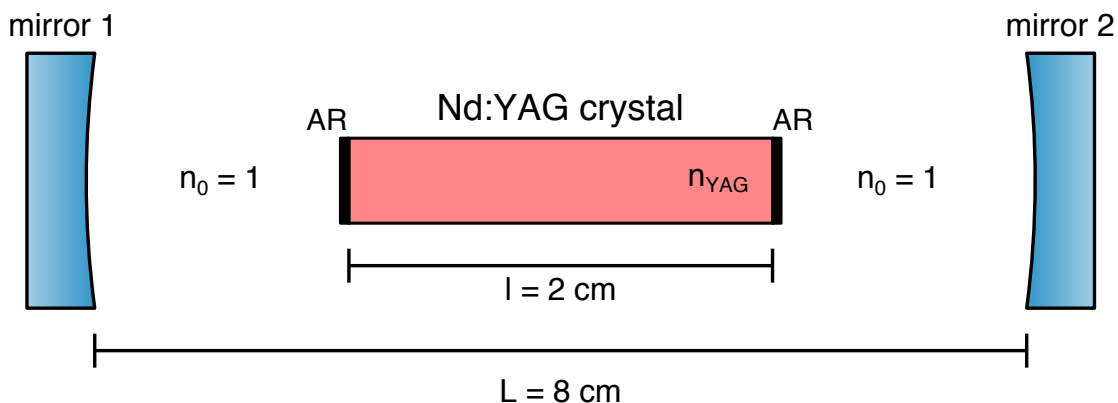
Si consideri una cella solare caratterizzata da una corrente di buio  $I_0 = 1.1$  nA. La corrente fotogenerata è  $I_{PH} = 18$  mA nel caso di radiazione incidente di intensità  $1$  kW/m<sup>2</sup>.

- a) Disegnare il circuito equivalente di una cella solare, e determinare la corrente di corto circuito  $I_{sc}$  e la tensione di circuito aperto  $V_{oc}$ .
- b) Calcolare  $I_{sc}$  e  $V_{oc}$  nel caso di intensità incidente  $I_2 = 250$  W/m<sup>2</sup>.
- c) Ricavare il punto di lavoro ottimo ( $V_m, I_m$ ) e calcolare il fill-factor FF. (*Suggerimento: si ponga  $\frac{dP}{dV} = 0$  e si proceda per via iterativa*).

**Domande di teoria:**

- a) Discutere il problema dell'attenuazione in una fibra ottica, descrivendone l'impatto sulla scelta della lunghezza d'onda di lavoro in un sistema di comunicazione in fibra.
- b) Illustrare il meccanismo fisico di ionizzazione per impatto, mostrando come possa essere sfruttato nella rivelazione di fotoni.

**Fig. 1**



**Exercise 1:**

Consider a Nd:YAG laser (refractive index  $n_{\text{YAG}} = 1.82$ ) operating at  $\lambda_0 = 1064 \text{ nm}$  (free space wavelength). The upper laser level energy is  $E_2 = 1.4271 \text{ eV}$ , the collision linewidth is  $\Delta\nu_{\text{FWHM}} = 122 \text{ GHz}$ . The crystal rod, of length  $l = 2 \text{ cm}$ , is placed in a Fabry-Perot resonator of length  $L = 8 \text{ cm}$ . The rod ends are antireflection coated (**Fig. 1**).

- Draw a simplified energy levels diagram, and calculate the lower laser level energy  $E_1$  [eV].
- Determine the number of oscillating cavity modes.
- Design the refractive index and thickness of the antireflection coatings.

**Exercise 2:**

Consider an InGaN LED operating at temperature  $T = 300 \text{ K}$  (energy gap  $E_g(300 \text{ K}) = 2.85 \text{ eV}$ ). The external quantum efficiency is  $\eta_{\text{EQE}} = 18\%$ , and the forward voltage  $V_F = 3 \text{ V}$ . The energy gap dependence on temperature is described by the Varshni equation:  $E_g(T) = E_{g,0} - \frac{AT^2}{B+T}$ , with  $A = 4.62 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$  and  $B = 420 \text{ K}$ .

- Determine the central wavelength  $\lambda_0$  corresponding to peak emission and the spectral linewidth  $\Delta\lambda_{\text{FWHM}}$ .
- Calculate the conversion efficiency  $\eta_{\text{PCE}}$ , and the emitted optical power when the bias current is  $I_F = 10 \text{ mA}$ .
- Calculate the temperature variation resulting in a  $\lambda_0$  variation of  $2 \text{ nm}$ .

**Exercise 3:**

Consider a solar cell with a dark current  $I_0 = 1.1 \text{ nA}$ . The photogenerated current is  $I_{\text{PH}} = 18 \text{ mA}$  in the case of incident radiation of intensity  $1 \text{ kW/m}^2$ .

- Draw the equivalent circuit of a solar cell, and determine the short circuit current  $I_{\text{sc}}$  and the open circuit voltage  $V_{\text{oc}}$ .
- Calculate  $I_{\text{sc}}$  and  $V_{\text{oc}}$  for a radiation of intensity  $I_2 = 250 \text{ W/m}^2$ .
- Find the optimum operating point ( $V_m, I_m$ ) and calculate the fill-factor FF. (*Hint: put  $\frac{dP}{dV} = 0$ , then use an iterative method*).

**Theory questions:**

- Discuss the problem of attenuation in optical fibers, and describe its impact on the choice of operating wavelength in a communication system.
- Illustrate the physical mechanism of impact ionization, and show how it can be exploited in photon detection.

**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	$\epsilon_r = 11.7$
	<b>Si</b>
relative permittivity $\epsilon_r$	11.7
saturation electric field [ $\text{kV cm}^{-1}$ ]	20
saturation velocity [ $\text{cm s}^{-1}$ ]	$10^7$
intrinsic concentration $n_i$ [ $\text{cm}^{-3}$ ]	$1.45 \times 10^{10}$
energy gap $E_G$ [eV]	1.12
effective density of states in the conduction band $N_C$ [ $\text{cm}^{-3}$ ]	$2.8 \times 10^{19}$
effective density of states in the valence band $N_V$ [ $\text{cm}^{-3}$ ]	$1.04 \times 10^{19}$