Elettronica dello Stato Solido – Preappello 21.06.2024

1. Un cristallo cubico semplice di passo reticolare a = 0.1 nm è illuminato con una sorgente a raggi X di energia E = 5 keV. Determinare tutti gli angoli di diffrazione associati alla famiglia di piani {2 1 1}.

2. Una sfera di tungsteno di raggio r_1 = 1 cm emette metà della potenza di un corpo nero BB_1 di pari area. Sapendo che il corpo nero BB_1 si trova alla stessa temperatura di un corpo nero BB_2 di raggio r_2 = 2 cm che emetta una potenza P_2 = 2 kW, determinare la potenza emessa dalla sfera di tungsteno.

3. Si consideri un profilo di potenziale del tipo $V(x) = \alpha x^{\beta}$, con α = 0.1 eV/nm$^{3/2}$, β = 3/2. Dopo aver stimato a mezzo del principio di indeterminazione di Heisenberg l'esponente γ della progressione degli autovalori n^{γ}, determinare la lunghezza d'onda del fotone associato al rilassamento dal quarto al secondo autostato.

4. Una particella è caratterizzata da una relazione di dispersione $\omega(k) = 2\omega_0 \sin(2ka)$, con a = 0.3 nm e ω_0 = 5 Trad/s. Considerando un pacchetto d'onda centrato in $k_0 = 10^9$ m^{-1}, con peso gaussiano g(k) avente $\sigma_k = k_0/5$, tracciare un grafico quotato della dispersione spaziale in funzione del tempo $\sigma_x(t)$.

5. Un elettrone in un cristallo monodimensionale è descritto da un'autofunzione $\psi_k(x)$ con $k = 10^9$ m^{-1}. Sapendo che l'autofunzione $\psi_k(x)$ ha lunghezza d'onda pari a 10 passi reticolari, calcolare il passo reticolare a. Tracciare quindi il profilo della parte reale della funzione inviluppo e dell'autofunzione su 5 passi reticolari, sapendo che la funzione di Bloch $u_k(x)$ ha un solo massimo in corrispondenza di ogni atomo, e si annulla nella regione di barriera.

6. Si consideri il diagramma a bande in **Fig. 1**, dove un elettrone viene promosso dalla banda di valenza alla banda di conduzione mediante assorbimento di un fotone di lunghezza d'onda λ = 1 µm in corrispondenza di $k^* = 10^9$ m^{-1}. Note E_g = 1 eV, $m^*_V = 0.5m_e$, $m^*_C = 0.1m_e$, determinare la posizione k_0 del fondo della banda di conduzione e l'energia cinetica dell'elettrone a seguito della promozione in BC.

7. Si considerino due campioni metallici con funzioni lavoro W_1 = 5 eV, W_2 = 4.3 eV. Determinare a che temperatura T_2 deve essere portato il secondo materiale per garantire la stessa densità di corrente termoionica del primo campione alla temperatura T_1 = 425 K.

8. Determinare la massa DOS e di conduzione per lacune ed elettroni per il nitruro di boro (BN), sapendo che i minimi della BC sono centrati nei punti X, e note $m^*_{l,BC} = 1.2m_e$, $m^*_{t,BC} = 0.26m_e$, $m^*_{hh} = 0.962m_e$, $m^*_{lh} = 0.108m_e$.

9. Si consideri la barretta di silicio drogato sottoposta ad esperimento di effetto Hall in **Fig. 2**, dove W = 1 µm, L = 100 µm, t = 100 nm, V_L = 1 V, B = 1 T, V_H = 10 mV positiva nel verso indicato in figura. Nota la corrente a temperatura ambiente I = 100 µA, determinare tipologia, mobilità e concentrazione dei portatori. Stimare quindi la corrente alle temperature T = 50 K e T = 400 K, assumendo che il semiconduttore permanga nel regime estrinseco di funzionamento.

10. Una barretta di silicio drogata n ($N_D = 10^{17}$ cm^{-3}) a temperatura ambiente contiene un eccesso di portatori minoritari $p' = 10^{16}$ cm^{-3}. Noto il tempo di ricombinazione dei minoritari τ_p = 20 ns, calcolare il tempo necessario affinché il quasi-livello di Fermi per le lacune aumenti di 50 meV, e la posizione del quasi-livello di Fermi per le lacune al tempo t = 750 ns.

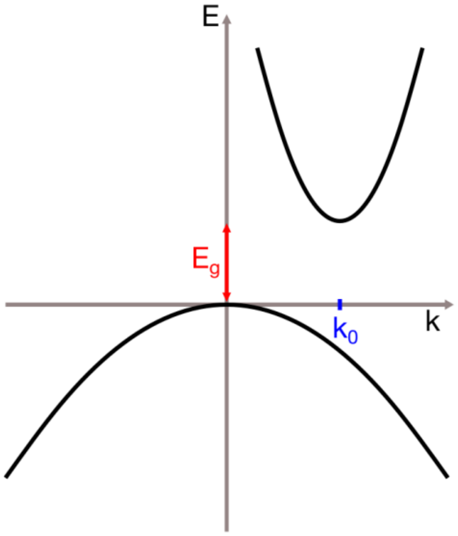

Fig. 1

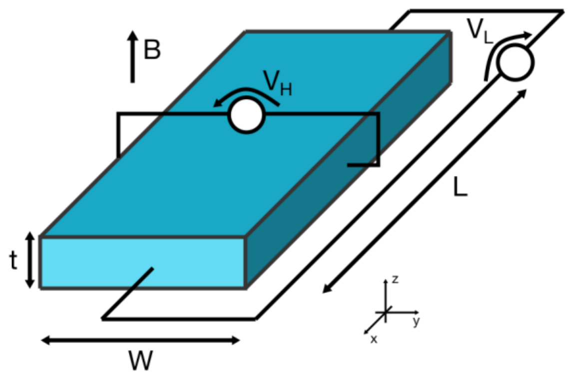

Fig. 2

Solid State Electronics – Full exam 21.06.2024

1. A simple cubic crystal with lattice step a = 0.1 nm is illuminated by an X-ray source of energy E = 5 keV. Calculate all the diffraction angles associated with the plane family {2 1 1}.

2. A tungsten sphere of radius r_1 = 1 cm emits half of the power of a black body BB_1 with the same area. Knowing that the black body BB_1 is at the same temperature of a black body BB_2 of radius r_2 = 2 cm emitting a power P_2 = 2 kW, calculate the power emitted by the tungsten sphere.

3. Consider a potential profile $V(x) = \alpha x^{\beta,}$ con α = 0.1 eV/nm$^{3/2}$, β = 3/2. After estimating through Heisenberg's indeterminacy principle the exponent γ of the eigenvalue progression n^{γ}, determine the wavelength of the photon associated with the relaxation from the fourth to the second eigenstate.

4. A particle is characterized by the dispersion equation $\omega(k) = 2\omega_0\sin(2ka)$, with a = 0.3 nm and ω_0 = 5 Trad/s. Considering a wavepacket centered in $k_0 = 10^9$ m^{-1}, with gaussian weight g(k) having $\sigma_k = k_0/5$, draw a quoted plot of the spatial dispersion as a function of time $\sigma_x(t)$.

5. An electron in a 1D crystal is described by an eigenfunction $\psi_k(x)$ with $k = 10^9$ m^{-1}. Knowing that the eigenfunction $\psi_k(x)$ has wavelength equal to 10 lattice steps, calculate the lattice step a. Draw the profile of the real part of the envelope function and eigenfunction on 5 lattice steps, knowing that the Bloch function $u_k(x)$ has a single maximum per atom, and is nil in the barrier region.

6. Consider the band diagram in **Fig.** 1, where an electron is promoted from the valence band to the conduction band by absorption of a photon of wavelength λ = 1 µm at $k^* = 10^9$ m^{-1}. Given E_g = 1 eV, $m^*_V = 0.5m_e$, $m^*_C = 0.1m_e$, estimate the position k_0 of the bottom of the conduction band and the kinetic energy of the electron after its promotion in CB.

7. Consider two metallic samples with work functions W_1 = 5 eV, W_2 = 4.3 eV. Calculate the temperature T_2 at which the second sample must be brought to provide the same thermionic current density of the first sample at temperature T_1 = 425 K.

8. Calculate the DOS and conduction masses for electrons and holes for the boron nitride (BN), knowing that the CB minima are located in the X points, and given $m^*_{l,BC} = 1.2m_e$, $m^*_{t,BC} = 0.26m_e$, $m^*_{hh} = 0.962m_e$, $m^*_{lh} = 0.108m_e$.

9. Consider the doped silicon rod undergoing an Hall effect experiment in **Fig. 2**, where W = 1 µm, L = 100 µm, t = 100 nm, V_L = 1 V, B = 1 T, V_H = 10 mV positive in the direction noted in figure. Knowing the current at room temperature I = 100 µA, determine type, mobility, and concentration of majority carriers. Estimate the current at temperatures T = 50 K e T = 400 K, assuming the semiconductor to permain in the extrinsic operation regime.

10. An n-doped silicon slab ($N_D = 10^{17}$ cm^{-3}) at room temperature contains a minority carrier excess p' = 10^{16} cm^{-3}. Knowing the recombination time for minority carriers τ_p = 20 ns, calculate the time for the Fermi quasi-level for holes to increase by 50 meV, and the position of the Fermi quasi-level for holes at t = 750 ns.

Costanti fisiche:

massa dell'elettrone	$m_0 = 9.109\cdot10^{-31}$ kg
costante di Planck	$h = 6.626\cdot10^{-34}$ J s
carica elettronica	$e = 1.602\cdot10^{-19}$ C
costante di Boltzmann	$k_B = 1.381\cdot10^{-23}$ J K^{-1}
velocità della luce	$c = 2.998\cdot10^{8}$ m s^{-1}
costante dielettrica nel vuoto	$\varepsilon_0 = 8.85419\cdot10^{-12}$ F m^{-1}
costante di Stefan-Boltzmann	$\sigma = 5.67\cdot10^{-8}$ W m^{-2} K^{-4}
costante di Wien	$c_W = 2.8\cdot10^{-3}$ K m

	Si	**Ge**
costante dielettrica relativa ε_r	11.7	16
concentrazione intrinseca n_i [cm^{-3}]	1.45 x 10^{10}	2.4 x 10^{13}
gap di energia E_G [eV]	1.12	0.66
densità di stati effettiva in banda di conduzione N_C [cm^{-3}]	2.8 x 10^{19}	1.04 x 10^{19}
densità di stati effettiva in banda di valenza N_V [cm^{-3}]	1.04 x 10^{19}	0.6 x 10^{19}