Elettronica dello Stato Solido – Seconda prova in itinere 21.06.2024

1. Un cristallo monodimensionale è descritto dalla relazione di dispersione $E(k) = E_0 - E_1 \cos(4ka)$, dove $E_0 = 0.1$ eV, $E_1 = 0.2$ eV. Sapendo che la prima zona di Brillouin si estende fino a $k = 2 \cdot 10^9$ m^{-1}, determinare il passo reticolare a, i valori di k per cui la velocità di gruppo è nulla, e gli intervalli di k per cui la massa efficace è positiva.

2. 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 $\lambda = 1$ 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.

3. Un cristallo monodimensionale caratterizzato da una relazione di dispersione $E(k) = E_0(1 - \cos(3ka))$, con $E_0 = 0.25$ eV, $a = 1$ nm, è sottoposto ad un campo elettrico $F = 20$ kV/cm. Determinare ampiezza e periodo delle oscillazioni di Bloch in assenza di fenomeni di scattering.

4. 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.

5. In un metallo bidimensionale a temperatura ambiente il livello di Fermi è localizzato ad $E_F = 3$ eV rispetto al fondo della banda di conduzione. Calcolare, facendo ragionevoli approssimazioni, la concentrazione elettronica in banda di conduzione, la temperatura di Fermi T_F e velocità di Fermi v_F del materiale. Se il metallo venisse scaldato ad una temperatura $300 \text{ K} < T_2 \ll T_F$, come cambierebbe la concentrazione elettronica? E se venisse portato a $T_3 \gg T_F$?

6. 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 $m^*_{l,BC} = 1.2m_e$, $m^*_{t,BC} = 0.26m_e$, $m^*_{hh} = 0.962m_e$, $m^*_{lh} = 0.108m_e$.

7. Si consideri un campione di silicio drogato n. Sapendo che a T = 30 K la frazione ionizzata del drogante è pari a $N_D^+ = 10^{13}$ cm^{-3}, e che a T = 500 K il materiale transisce dal regime estrinseco al regime intrinseco, determinare l'energia di legame $E_D - E_C$ delle impurezze donori.

8. 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.

9. Applicando ad una barretta di silicio di lunghezza L = 1 μm e sezione A = 1 μm^2 le tensioni $V_1 = 0.1$ V e $V_2 = 10$ V si misurano rispettivamente una corrente $I_1 = 0.25$ μA e $I_2 = 5$ μA. Nota la concentrazione elettronica in banda di conduzione $n = 10^{15}$ cm^{-3}, determinare il campo di saturazione F_{sat} e la velocità di saturazione v_{sat}.

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 $\tau_p = 20$ 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.

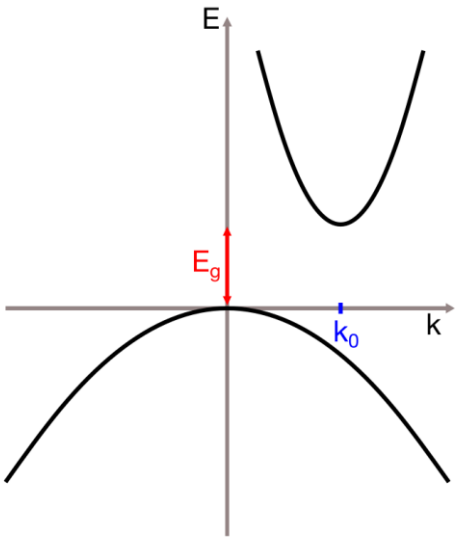

Fig. 1

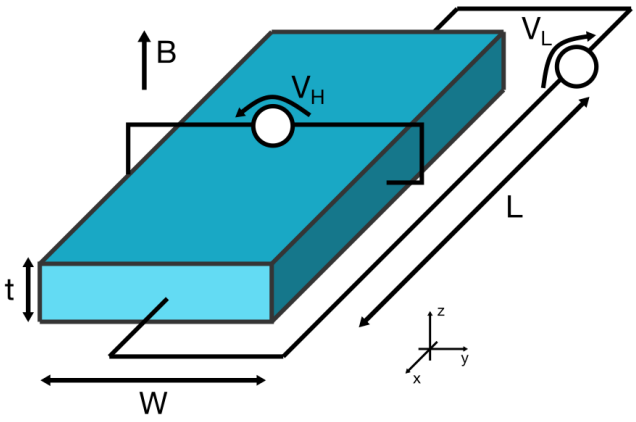

Fig. 2

Solid State Electronics – Second midterm 21.06.2024

1. A 1D crystal is described by the dispersion equation $E(k) = E_0 - E_1 \cos(4ka)$, where $E_0 = 0.1$ eV, $E_1 = 0.2$ eV. Knowing that the first Brillouin zone extends up to $k = 2 \cdot 10^9$ m^{-1}, calculate the lattice step a, the values of k for which the group velocity is zero, and the k intervals in which the effective mass is positive.

2. 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 $\lambda = 1$ 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.

3. A monodimensional crystal characterized by the dispersion equation $E(k) = E_0(1 - \cos(3ka))$, where $E_0 = 0.25$ eV, a = 1 nm, is subject to an electric field F = 20 kV/cm. Calculate amplitude and period of the Bloch oscillations when no scattering phenomena occur.

4. 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.

5. In a 2D metal at room temperature the Fermi level is localized at $E_F = 3$ eV with respect to the bottom of the conduction band. Calculate, under reasonable approximations, the electronic concentration in the conduction band, the Fermi temperature T_F and the Fermi velocity v_F of the material. If the metal were heated to a temperature $300\ \text{K} < T_2 \ll T_F$, how would the electron concentration change? And if it were heated to $T_3 \gg T_F$?

6. 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 $m^*_{l,BC} = 1.2m_e$, $m^*_{t,BC} = 0.26m_e$, $m^*_{hh} = 0.962m_e$, $m^*_{lh} = 0.108m_e$.

7. Consider an n-doped silicon sample. Knowing that at T = 30 K the ionized dopant fraction is equal to $N_D^+ = 10^{13}$ cm^{-3}, and that at T = 500 K the material transitions from the extrinsic regime to the intrinsic regime, calculate the binding energy $E_D - E_C$ of the donor impurities.

8. 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.

9. When voltages $V_1 = 0.1$ V and $V_2 = 10$ V are applied to a silicon rod of length L = 1 μm and cross-section A = 1 μm^2, currents $I_1 = 0.25$ μA and $I_2 = 5$ μA are respectively measured. Knowing the electronic concentration in the conduction band $n = 10^{15}$ cm^{-3}, determine the saturation field F_{sat} and the saturation velocity v_{sat}.

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 $\tau_p = 20$ 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	$m_0 = 9.109 \cdot 10^{-31}$ 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	$\varepsilon_0 = 8.85419 \cdot 10^{-12}$ F m^{-1}
costante di Stefan-Boltzmann	$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ W m^{-2} K^{-4}
costante di Wien	$c_W = 2.8 \cdot 10^{-3}$ K m

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