1. Si consideri il reticolo in **Fig. 1**, dove a = 1 nm. Si identifichi il tipo di reticolo, indicando una coppia di vettori primitivi, una cella primitiva e calcolando la densità atomica superficiale. Determinare quindi la tensione di accelerazione minima necessaria per osservare almeno un picco di diffrazione dai piani {110} in un setup di diffrazione elettronica.

2. In un setup di esperimento fotoelettrico in assenza di tensione applicata (V_A = 0 V), gli elettroni fotogenerati incidono sull'anodo ad una velocità $v_a = 10^6$ m/s. Nota la funzione lavoro del catodo W = 4 eV, calcolare la lunghezza d'onda λ della radiazione incidente e la tensione V_{stop} al di sotto della quale non si osserva effetto fotoelettrico.

3. Si consideri il sistema buca-barriera in **Fig. 2**, dove a = 1 nm, b = 2 nm, V_0 = 5 eV. Usando l'approssimazione di buca a pareti infinite al solo fine del calcolo degli autostati della buca, si determini il campo F da applicare alla barriera affinché il tempo medio di tunneling per un elettrone sul primo livello confinato E_1 sia t_{TUN} = 10 ns. Commentare qualitativamente come cambierebbe il risultato ottenuto se si considerasse l'altezza finita della barriera nel calcolo dell'autostato.

4. Si consideri un oscillatore armonico $V(x) = ½ \alpha x^2$, con $\alpha = 2$ eV/nm^2, e uno stato Ψ ottenuto come sovrapposizione paritaria del primo e terzo autostato, $\Psi = \frac{1}{\sqrt{2}}(\Psi_1 + \Psi_3)$. Calcolare la frequenza di oscillazione ω_{13} dello stato non-stazionario Ψ e tracciare qualitativamente il modulo quadro dell'autofunzione $|\Psi|^2$ ai tempi t = 0, $t = \pi/2\omega_{13}$, $t = \pi/\omega_{13}$, $t = 3\pi/2\omega_{13}$.

5. Un elettrone in un cristallo di passo a = 3 nm è descritto da un'autofunzione $\psi_k(x) = u_k(x)e^{ikx}$. Sapendo che l'autofunzione torna in fase dopo 2 passi reticolari, determinare il valore del vettore d'onda cristallino k. Tracciare quindi il profilo della parte reale dell'autofunzione su 6 passi reticolari, sapendo che la funzione di Bloch è di tipo pari con un solo massimo in corrispondenza dell'atomo.

6. Un semiconduttore 3D è descritto da una struttura a bande comprendente due bande di valenza ($m^*_{LH} = 0.2m_0$, $m^*_{HH} = 0.8m_0$), entrambe con apice in k = 0, e una banda di conduzione con minimo isotropo nel punto Γ ($m^*_\Gamma = 0.3m_0$). Determinare la massa DOS e di conduzione per lacune ed elettroni.

7. Si consideri il materiale a gap indiretto in **Fig. 3**, dove E_g = 1 eV, $k_0 = 2\cdot10^9$ m^{-1}, $m^*_{BC} = 0.2m_0$ e $m^*_{BV} = 0.6m_0$. Determinare la minima energia di un fotone che possa essere assorbito in un processo a due particelle, e le velocità dell'elettrone e della lacuna appena dopo l'assorbimento del fotone.

8. Un campione di cesio (W_1 = 2.14 eV) alla temperatura T_1 = 600 K emette la stessa densità di corrente termoionica di un secondo campione di materiale ignoto alla temperatura T_2 = 900 K. Dopo aver determinato la funzione lavoro W_2 del secondo materiale, si tracci il grafico di Arrhenius (log(J) in funzione di 1/kT) per la densità di corrente J per i due materiali, facendo ragionevoli approssimazioni.

9. Si consideri il campione di silicio drogato n sottoposto ad esperimento di effetto Hall in **Fig. 4** ($N_D = 10^{18}$ cm^{-3}, t = 15 nm, L = 10W = 10 μm, μ_n = 1000 cm^{2}V^{-1}s^{-1}, V_L = 2 V). Nota V_H = 20 mV con verso indicato in figura, determinare modulo e verso del campo magnetico B e della corrente I attraverso il dispositivo.

10. Si consideri una barretta di silicio (drogaggio n, $N_D = 10^{18}$ cm^{-3}, tempo di ricombinazione dei minoritari τ_p = 100 ns) dove un fascio laser impone una concentrazione in eccesso di portatori minoritari in superficie pari a $\delta p(0) = 10^{15}$ cm^{-3}. Nota la mobilità delle lacune μ_p = 400 cm^{2}V^{-1}s^{-1}, determinare la distanza x_{fe} dalla superficie oltre la quale il semiconduttore si può considerare all'equilibrio termodinamico.

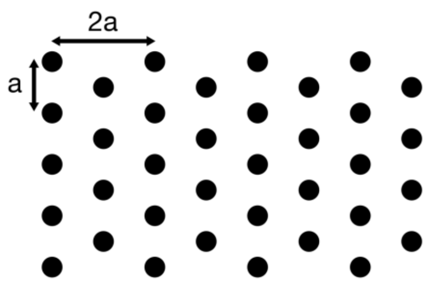

Fig. 1

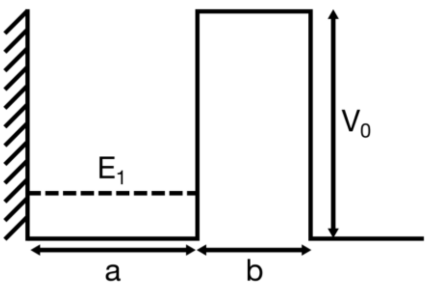

Fig. 2

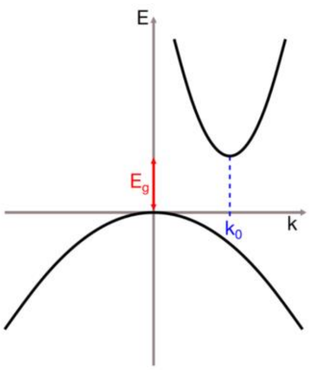

Fig. 3

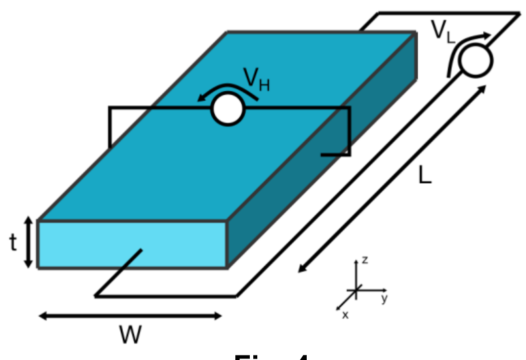

Fig. 4

Solid State Electronics 08.01.2026

1. Consider the lattice in **Fig. 1**, where a = 1 nm. Determine the lattice type, denoting a pair of primitive vectors, a primitive cell, and calculating the surface atomic density. Then, calculate the minimum acceleration voltage required to observe at least one diffraction peak from {110} planes in an electron diffraction setup.

2. In a photoelectric experiment setup, in absence of applied voltage (V_A = 0 V), the photogenerated electrons imping on the anode at a velocity $v_a = 10^6$ m/s. Given the cathode work-function W = 4 eV, calculate the wavelength λ of the impinging radiation and the voltage V_{stop} below which no photoelectric effect is observed.

3. Consider the well-barrier system in **Fig. 2**, where a = 1 nm, b = 2 nm, V_0 = 5 eV. Using the infinite-wall approximation for the sole purpose of well eigenstates computation, determine the field F that must be applied to the barrier for the mean tunneling time for an electron on the first confined energy level E_1 to be t_{TUN} = 10 ns. Qualitatively, comment on how the obtained result would change if the finite height of the barrier were considered in the computation of the eigenstate.

4. Consider a harmonic oscillator $V(x) = ½\, \alpha x^2$, with $\alpha = 2$ eV/nm^2, and a state Ψ obtained as an equal superposition of the first and third eigenstate, $\Psi = \frac{1}{\sqrt{2}}(\Psi_1 + \Psi_3)$. Calculate the oscillation frequency ω_{13} of the non-stationary state Ψ and qualitatively plot the modulus squared of the eigenfunction $|\Psi|^2$ for times t = 0, $t = \pi/2\omega_{13}$, $t = \pi/\omega_{13}$, $t = 3\pi/2\omega_{13}$.

5. An electron in a crystal with lattice step a = 3 nm is described by an eigenfunction $\psi_k(x) = u_k(x)e^{ikx}$. Knowing that the eigenfunction goes back in phase after 2 lattice steps, determine the value of the crystalline wave vector k. Plot the real part of the eigenfunction on 6 lattice steps, knowing that the Bloch function is even with one maximum in correspondence of the atom.

6. A 3D semiconductor is described by a band structure comprising two valence bands ($m^*_{LH} = 0.2m_0$, $m^*_{HH} = 0.8m_0$), both with apex in k = 0, and one conduction band with isotropic minimum in the Γ point ($m^*_\Gamma = 0.3m_0$). Determine the DOS and conduction mass for holes and electrons.

7. Consider the indirect gap material in **Fig. 3**, where E_g = 1 eV, $k_0 = 2\cdot10^9$ m^{-1}, $m^*_{BC} = 0.2m_0$ e $m^*_{BV} = 0.6m_0$. Determine the minimum energy of a photon that can be absorbed in a two-particle process, and the velocities of the electron and hole right after the photon absorption.

8. A caesium sample (W_1 = 2.14 eV) at temperature T_1 = 600 K emits the same thermionic current density of a second sample of unknown material at temperature T_2 = 900 K. After determining the work function W_2 of the second material, draw the Arrhenius plot (log(J) as a function of 1/kT) for the current density J for both materials, under reasonable assumptions.

9. Consider the n-doped silicon sample undergoing a Hall effect experiment in **Fig. 4** ($N_D = 10^{18}$ cm^{-3}, t = 15 nm, L = 10W = 10 μm, μ_n = 1000 cm^{2}V^{-1}s^{-1}, V_L = 2 V). Given V_H = 20 mV oriented as denoted in the figure, determine modulus and orientation of the magnetic field B and of the current I across the device.

10. Consider a silicon slab (n-doping, $N_D = 10^{18}$ cm^{-3}, minority carrier recombination time τ_p = 100 ns) where a leaser beam imposes an excess minority carrier concentration at the surface $\delta p(0) = 10^{15}$ cm^{-3}. Given the hole mobility μ_p = 400 cm^{2}V^{-1}s^{-1}, determine the distance x_{fe} from the surface after which the semiconductor can be considered at thermodynamic equilibrium.

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}