1. Si consideri la struttura cristallina in **Fig. 1**. È un reticolo di Bravais? In caso negativo, identificare una possibile combinazione base-reticolo. Noto a = 1 nm, determinare la densità atomica superficiale.

2. Si consideri un reticolo cubico semplice di passo a = 1 nm. Determinare la massima lunghezza d'onda λ_{max} per la quale si osserva almeno un picco di diffrazione. Supponendo quindi di illuminare il cristallo con un fascio fotonico di energia E = 10 keV, determinare gli angoli di diffrazione per il piano avente intercette sugli assi {2, 3, 2}.

3. Si consideri un setup di esperimento fotoelettrico in cui un target in platino (W = 5.65 eV) viene illuminato con un fascio luminoso di energia E = 7 eV. Determinare (a) la tensione di stopping V_{stop} e (b) la tensione V_A da applicare affinché gli elettroni fotoemessi incidano sull'anodo con velocità $v = 10^6$ m/s.

4. Si consideri una buca di potenziale descritta da $V(x) = \alpha|x|^{-1}$ con α = -100 meV·nm. Dopo aver stimato l'energia dei primi 3 autostati mediante il principio di indeterminazione di Heisenberg, tracciare l'andamento qualitativo delle corrispondenti autofunzioni.

5. Si consideri il sistema di buche accoppiate in **Fig. 2**. Sapendo che il secondo autostato pari ha vettore d'onda $k_p = 6.2\cdot10^9$ m^{-1} e che la barriera deltiforme in x = 0 ha ampiezza u_0 = 10 eV·nm, determinare la frequenza di oscillazione dello stato non-stazionario associato al secondo doppietto energetico.

6. Si consideri il diagramma a bande in **Fig. 3** ($m^*_{BV} = m_0$, $m^*_{BC} = 0.1m_0$), dove un elettrone è inizialmente localizzato sull'apice della banda di valenza. A seguito di interazione con un fotone di energia E = 1.5 eV e un fonone di momento $p = 10^{-24}$ kg·m/s l'elettrone viene promosso in BC e rilassa sul fondo emettendo 15 fononi di energia media E_{phn} = 50 meV. Determinare l'energia di gap E_g e la posizione $k_{0,BC}$ del minimo della BC.

7. Si considerino due campioni metallici in tantalio (W_{Ta} = 4.25 eV) e platino (W_{Pt} = 5.65 eV). Determinare la temperatura T_2 a cui deve essere portato il platino per garantire la stessa densità di corrente termoionica del tantalio a T_1 = 700 K.

8. Si consideri un campione di silicio drogato n ($N_D = 10^{18}$ cm^{-3}). Sapendo che lo stato donore dista 30 meV dalla banda di conduzione, determinare (a) la temperatura T_1 a cui il livello di Fermi E_F del materiale coincide con il livello donore E_D e (b) la temperatura T_2 a cui la concentrazione intrinseca del materiale eguaglia il drogaggio, trascurando la dipendenza dalla temperatura delle densità equivalenti di stati.

9. Si consideri la barretta di silicio drogato p ($N_A = 10^{18}$ cm^{-3}, μ_p = 200 cm^{2}V^{-1}s^{-1}) sottoposta ad esperimento di effetto Hall in **Fig. 4** (W = 1 µm, t = 1 µm, L = 2 µm, B = 1 T, V_L = 1 V). Determinare modulo e verso della tensione trasversale V_H e della corrente I attraverso la barretta.

10. Un semiconduttore di tipo n è irraggiato da una sorgente luminosa che induce una fotogenerazione uniforme nel volume del materiale. Sapendo che la concentrazione di lacune aumenta di un fattore 10^6, determinare di quanto si sposta a temperatura ambiente il livello di quasi Fermi delle lacune F_p rispetto al livello di Fermi all'equilibrio E_F.

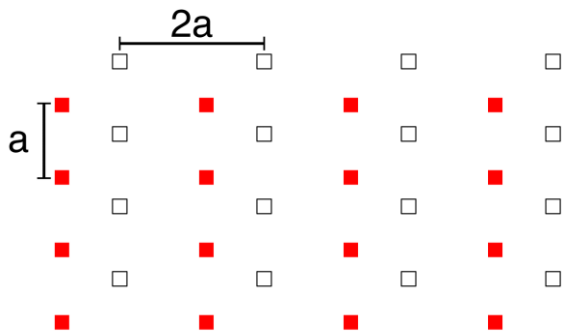

Fig. 1

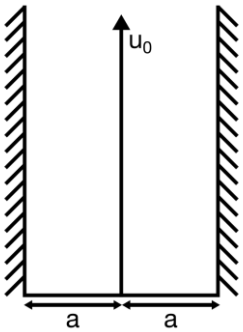

Fig. 2

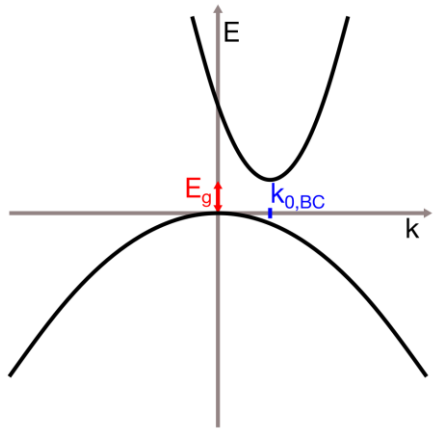

Fig. 4

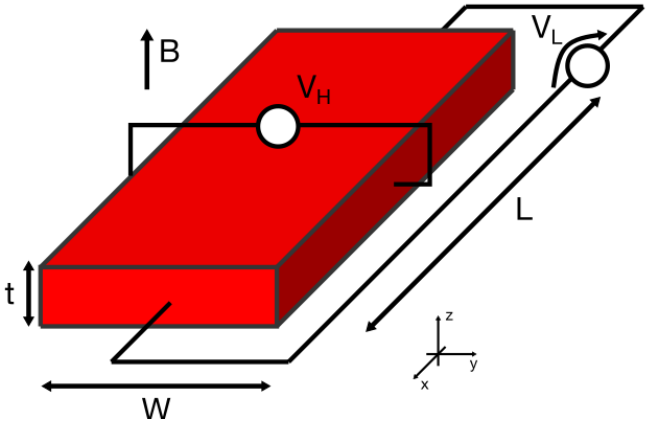

Fig. 3

Solid State Electronics – Full exam 04.09.2023

1. Consider the crystalline structure in **Fig.** 1. Is it a Bravais lattice? If not, identify a suitable base-lattice combination. Given a = 1 nm, calculate the surface atomic density.

2. Consider a simple cubic crystal with lattice step a = 1 nm. Calculate the maximum wavelength λ_{max} for which at least one diffraction peak can be observed. Then, estimate all the diffraction angles for the plane whose axes intercepts are {2, 3, 2} when the crystal is illuminated with a E = 10 keV photonic beam.

3. Consider a photoelectric experiment setup where a platinum target (W = 5.65 eV) is illuminated with a light beam of energy E = 7 eV. Determine (a) the stopping voltage V_{stop} and (b) the voltage V_A to apply in order for the photoemitted electrons to reach a velocity $v = 10^6$ m/s at the anode contact.

4. Consider a potential well described by $V(x) = \alpha|x|^{-1}$ with α = -100 meV·nm. Estimate the energy of the first 3 eigenstates using Heisenberg's indeterminacy principle and qualitatively plot the corresponding eigenfunctions.

5. Consider the coupled wells system in **Fig. 2**. Knowing that the second even eigenstate has wavevector $k_p = 6.2\cdot10^9$ m^{-1} and that the delta-like barrier in x = 0 has amplitude u_0 = 10 eV·nm, calculate the oscillation frequency of the non-stationary state associated with the second energy doublet.

6. Consider the band diagram in **Fig. 3** ($m^*_{BV} = m_0$, $m^*_{BC} = 0.1m_0$), where an electron is initially located at the apex of the valence band. By interacting with a photon of energy E = 1.5 eV and a phonon with momentum $p = 10^{-24}$ kg·m/s, the electron is promoted to the conduction band and thermalizes on the CB bottom by emitting 15 phonons with average energy E_{phn} = 50 meV. Calculate the gap energy E_g and the position $k_{0,BC}$ of the CB minimum.

7. Consider two metallic samples in tantalum (W_{Ta} = 4.25 eV) and platinum (W_{Pt} = 5.65 eV). Determine the temperature T_2 at which the platinum must be heated to provide the same thermionic current density of tantalum at T_1 = 700 K.

8. Consider a n-doped silicon sample ($N_D = 10^{18}$ cm^{-3}). Knowing that the donor state lies 30 meV below the conduction band, determine (a) the temperature T_1 such that the Fermi level E_F coincides with the donor level E_D and (b) the temperature T_2 at which the intrinsic concentration equals the doping concentration, neglecting the temperature dependence of the equivalent density of states.

9. Consider the p-doped silicon slab ($N_A = 10^{18}$ cm^{-3}, μ_p = 200 cm^{2}V^{-1}s^{-1}) undergoing a Hall effect experiment in **Fig. 4** (W = 1 µm, t = 1 µm, L = 2 µm, B = 1 T, V_L = 1 V). Determine amplitude and direction of the transversal voltage V_H and current I through the slab.

10. An n-type semiconductor is illuminated by a light source inducing uniform photogeneration in the entire material volume. Knowing that the holes' concentration increases by a factor 10^6, determine the displacement of the quasi-Fermi level F_p with respect to the Fermi level at equilibrium E_F at room temperature.

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}]	3.2 x 10^{19}	1.04 x 10^{19}
densità di stati effettiva in banda di valenza N_V [cm^{-3}]	1.8 x 10^{19}	0.6 x 10^{19}