1. Un fascio di elettroni viene accelerato da una tensione V_A = 9.7 V. Il fascio incide su un cristallo cubico semplice. Sapendo che il primo picco di diffrazione è posto ad un angolo 2ϑ = 20° (con riferimento a Fig. 1) qual è il passo reticolare del cristallo? A che piano si può associare il fenomeno di diffrazione?
2. L'autofunzione di un elettrone libero è $\Psi(y) = A\exp[i(ky-\omega t)]$ ed il suo autovalore è E_1 = 4eV. Calcolare la lunghezza d'onda λ di De Broglie. Si scriva inoltre la funzione d'onda di un elettrone libero con stesso flusso di probabilità ma energia tripla.
3. Si calcolino gli autovalori relativi alla buca di larghezza a e altezza W_0 in Fig. 2, facendo uso dell'approssimazione di buca a pareti infinite. Si rappresenti poi graficamente il coefficiente di trasmissione per un fascio di elettroni di energia E proveniente da sinistra, per $0 \le E \le W_1$.
4. Un reticolo cristallino monodimensionale è caratterizzato da N = $5*10^4$ celle e passo reticolare a = 0.2 nm. La massa efficace è $m^* = 0.2 \cdot m_0$ e la mobilità dell'elettrone è μ = 628 $cm^2V^{-1}s^{-1}$. Sfruttando l'approssimazione parabolica per il minimo della banda di conduzione, quali valori hanno il momento stazionario k dell'elettrone e la tensione V applicata ai capi del reticolo affinché la potenza dissipata per scattering sia P = 5 nW?
5. La banda di conduzione di un semiconduttore monodimensionale è descritta dalla relazione di dispersione $E(k) = E_0/2*[1 - \cos(2ka)]$, con E_0 = 3 eV e a = 0.8 nm. Noto il campo elettrico F = 200 KV/cm applicato ai capi del semiconduttore, calcolare la frequenza di oscillazione di Bloch ν_{BLOCH}.
6. Si consideri il profilo di bande generico di Fig. 3. Un elettrone è promosso in banda di conduzione (1→2) per assorbimento di un fotone (transizione diretta a minima energia): qual è la λ dell'onda elettromagnetica coinvolta nel processo, e quale il valore k dell'elettrone? L'elettrone rilassa poi sul fondo della banda di conduzione (2→3) tramite assorbimento di fononi (20meV). Qual è il valore di momento medio dei fononi?
7. Un metallo tridimensionale ha concentrazione elettronica n = $7*10^{21}$ cm^{-3}. Determinare la posizione del livello di Fermi rispetto al fondo della banda di conduzione ($m^* = m_0$).
8. Un semiconduttore intrinseco ha una concentrazione di portatori, a 300 K, di 10^{13} cm^{-3}, con $N_V = 2.5*N_C = 5*10^{20}$ cm^{-3}. Calcolare il gap di energia E_G.
9. Un sistema di silicio come in Fig.4 drogato accettore ($N_A = 10^{18}$ cm^{-3}, μ_p = 289 cm^2/Vs) è usato per studiare l'effetto Hall. Si ricavi la dipendenza delle tensioni V_H e V_L, il loro rapporto e si disegni un grafico della velocità dei portatori in funzione di V_L. In particolare, cosa succede se si supera la tensione di saturazione V_{SAT}, noti F_{SAT} = 23 $kVcm^{-1}$ ed L = 1.2 μm?
10. Si consideri un sistema di silicio in cui $E_F = E_C$ – 100 meV. Sapendo che all'equilibrio il 2.5% dei portatori ha energia E_c + 30 meV, calcolare temperatura e drogaggio del semiconduttore assumendo che tutti i dopanti siano ionizzati. Calcolare inoltre la concentrazione dei minoritari.

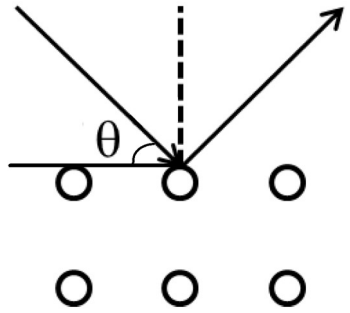

Fig.1

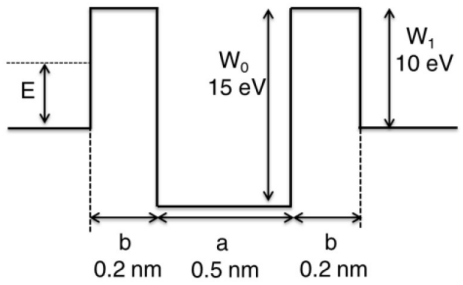

Fig. 2

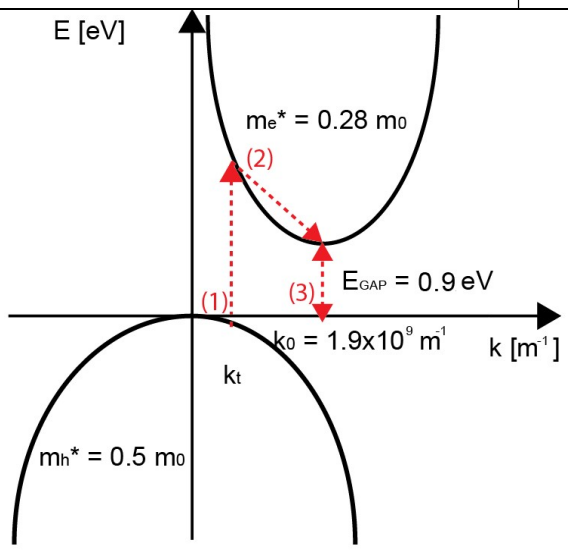

Fig. 3

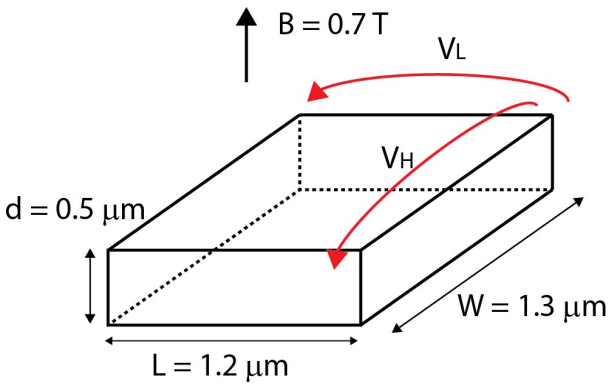

Fig. 4

1. An electron beam is accelerated by a voltage V_A = 9.7 V. The beam impinges on a simple cubic lattice crystal. The first diffraction beam is at an angle 2ϑ = 20° (see Fig. 1 for reference). Find the lattice constant of the crystal and explain which plane is responsible for the first diffraction peak.
2. A free electron has the eigenfunction $\Psi(y) = A\exp[i(ky-\omega t)]$ and the eigenvalue E_1 = 4eV. Find the De Broglie wavelength and write the wave function with the same probability function but with 3x energy.
3. Consider the potential profile in Fig. 2. Find the eigenvalues of the square well in the infinite well approximation. Then, represent the transmission coefficient for an electron beam with energy E coming from the left, for energies in the range $0 \leq E \leq W_1$.
4. A 1D crystal lattice has = $5*10^4$ cells and a lattice parameter "a" = 0.2 nm. Known the electron effective mass $m^* = 0.2\ m_0$ and the electron mobility $\mu = 628\ cm^2V^{-1}s^{-1}$, determine (using the parabolic approximation in the minimum of conduction band) the stationary momentum k and the applied voltage V such that electrical power dissipated due to scattering P = 1 nW.
5. The conduction band described by the dispersion law $E(k)=E_0/2\cdot[1-\cos(2ka)]$ where E_0 = 3 eV and a = 0.8 nm. Considering an electric field F = 200 kV/cm applied to the semiconductor, calculate the Bloch oscillation frequency ν_{BLOCH}.
6. Consider the band diagram in Fig. 3. An electron is promoted (direct transition) to the conduction band by absorbing photons at the minimum energy (1→2). What is the λ of the electromagnetic wave and what is the momentum k of the electron involved in the process? Then, the electron relaxes on the bottom of the conduction band absorbing phonons with E = 20 meV (2→3). What is the average value of the momentum of the phonons?
7. A 3D metal has electron concentration = $7*10^{21}\ cm^{-3}$. Evaluate the Fermi Level with respect to the bottom of the conduction band, given that $m^* = m_0$.
8. A semiconductor has a concentration of carriers, at 300 K, of $10^{13}\ cm^{-3}$, with $N_V = 2.5*N_C = 5*10^{20}\ cm^{-3}$. Calculate the energy gap E_G.
9. A silicon bar, as in Fig. 4, is used for studying the Hall effect ($N_A = 10^{18}\ cm^{-3}$, $\mu_p = 289\ cm^2/Vs$). Calculate the dependencies between the two voltages, their ratio and draw a graph of the velocity as a function of V_L. In particular, what happens to the velocity if the saturation voltage V_{SAT} is overcome, given L and $F_{SAT} = 23\ kVcm^{-1}$?
10. Consider a bar of silicon with $E_F = E_C - 100$ meV with, at the thermal equilibrium, the 2.5% of the carriers with $E > E_c + 30$ meV. Calculate the temperature and the doping of the semiconductor considering the dopants completely ionized. Calculate also the concentration of the minority carriers.

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}]	1.45×10^{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}