# Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica Prova Scritta di: Fisica dello Stato Solido (Prof.Messina)

Data	Cognoma	Nome	n. matricola
Data	Cognonic	INOTHE	II. IIIau icoia

#### Problema 1

Si consideri un contatto tra oro (Au) e arseniuro di gallio (GaAs) di tipo-n drogato con  $N_d = 5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ . Determinare: (a) l'altezza di barriera teorica  $q\varphi_{B0}$ ; (b) la distanza  $E_C E_F$  fra il bordo inferiore della banda di conduzione ed il livello di Fermi; (c) l'energia potenziale di built-in  $qV_{bi}$ ; (d) la larghezza  $x_d$  della zona di svuotamento per  $V_R=5V$ ; (e) il campo elettrico  $E_{max}$  alla giunzione metallo-semiconduttore per  $V_R=5V$ ; (f) l'abbassamento  $\Delta \varphi$  della barriera Schottky; (g) la posizione  $x_m$  del massimo della barriera.

$$(N_C = 4.7 \ 10^{17} \ cm^{-3}; \ q\varphi_{Au} = 5.1 \ eV; \ q\chi_{GaAs} = 4.07 \ eV; \ \epsilon_{rel,GaAs} = 13.1; \ \epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-14} \ F/cm; \ k = 1.38 \ 10^{-23} \ J/K)$$

## **Quesito 1**

La distribuzione  $\rho(E)$  di elettroni in banda di conduzione (numero di elettroni per unità di volume e per unità di energia) con energia E sopra il fondo  $E_c$  della banda di conduzione è dato da  $\rho(E) = N(E) \cdot f(E)$  dove  $N(E) = \gamma (E - E_c)^{1/2}$  è la densità degli stati permessi, mentre f(E) è la distribuzione di Fermi-Dirac approssimabile per  $E_c$ - $E_F$  >> kT con la distribuzione di Boltzmann

$$F_c - E_F >> kT \text{ con la distribuzione di Boltzmann}$$
  $f(E) = \frac{1}{\exp\left(\frac{E - E_F}{kT}\right) + 1} \cong \exp\left(-\frac{E - E_F}{kT}\right)$ .

Dimostrare che la distribuzione di elettroni  $\rho(E)$  assume il valore massimo per  $E-E_c = \frac{1}{2}kT$ 

### Quesito 2

Si consideri una cavità ottica di lunghezza L. Se il numero di modi risonanti della cavità è N>>1, si dimostri che la separazione in lunghezza d'onda  $\Delta\lambda$  fra due modi risonanti adiacenti è  $\Delta\lambda = \lambda^2/2L$ . Nel caso di un diodo laser in GaAs  $(E_{gap}=1.42 \text{ eV})$  con lunghezza della cavità L=60 µm, calcolare la separazione tra due modi adiacenti.

## **Ouesito 3**

Una fascio di fotoni di energia hy=1.65 eV e intensità I= 0.05 W/cm2 incide su una sottile lastra di semiconduttore. Il coefficiente di assorbimento del semiconduttore a questa energia è  $\alpha$ =7·10<sup>3</sup> cm<sup>-1</sup>. Calcolare:

- (a) il rate g' di generazione di coppie elettrone-lacuna;
- (b) la concentrazione  $\delta n$  di portatori in eccesso in condizioni di stato stazionario, sapendo che il tempo di vita  $\tau$  dei portatori in eccesso è  $\tau = 10^{-7}$  s.

### **Ouesito 4**

Un cristallo di silicio a T=300~K ha una concentrazione di accettori  $N_a=10^{17}~cm^{-3}$ . Determinare la concentrazione di donori che deve essere aggiunta al cristallo affinché esso diventi di tipo n e il livello di Fermi stia 0.10 eV sotto la banda di conduzione. ( $N_C = 2.8 \ 10^{19} \ cm^{-3}$ ;  $k = 1.38 \ 10^{-23} \ J/K$ )

### **Quesito 5**

In un semiconduttore sono presenti contemporaneamente impurità donatrici e accettatrici con concentrazioni rispettivamente  $N_D$  ed  $N_A$ .

- a) Assumendo che le impurità siano completamente ionizzate, utilizzando la condizione di neutralità elettrica e la legge di azione di massa, ricavare l'espressione esatta della concentrazione n degli elettroni in funzione delle quantità note  $N_D$ ,  $N_A$  ed  $n_i$ .
- b) Ricavare l'espressione esatta della concentrazione p delle lacune in funzione delle quantità note  $N_D$ ,  $N_A$  ed  $n_i$ .
- c) Utilizzando le formule esatte ricavate nei punti a) e b), calcolare la densità degli elettroni e delle lacune nel caso in cui  $N_A = 0$  e  $N_D = 2n_i$ .
- d) Confrontare i risultati ottenuti in c) con le formule approssimate  $n \cong N_D$  e  $p \cong n_i^2/N_D$  valide per  $N_D >> n_i$ .

### **Ouesito 6**

Calcolare la densità superficiale di atomi per un cristallo di silicio (a) sul piano (100); (b) sul piano (110) e (c) sul piano (111). La costante reticolare del silicio è  $a=5.43 \ 10^{-8} \ cm$ .