

GIF-3007 Physique des composantes électroniques

Examen Final - Hiver 2020

22 Avril 2020 de 15h30 à 17h30 (120 minutes)

Professeur : Mohamed Haj Taieb

Cet examen comporte 6 questions sur 6 pages (incluant celle-ci), comptabilisées sur un total de 100 points. L'examen compte pour 35% de la note totale pour la session.

- Vous avez droit à tous vos documents ;
- Utiliser du papier libre pour donner vos réponses.
- À la fin de l'épreuve, numériser ou prendre en photo votre copie.
- Assurez-vous que ce que vous allez remettre est bien lisible.
- La remise de l'examen se fait dans la boîte électronique du portail du cours (tout comme les devoirs).
- Vous devez également soumettre la déclaration d'intégrité dans la boîte de dépôt électronique.
https://www.ulaval.ca/sites/default/files/bse/continuite/Declaration_d_integrite_Ulaval.pdf
- Donner les formules et les équations utilisées avant d'effectuer le calcul numérique.
- L'examen contient quatre (3) annexes :
 - l'annexe A (p. 4) contient les constantes et la conversion d'unités ;
 - l'annexe B (p. 5) contient propriétés des semiconducteurs ;
 - l'annexe C (p. 6) contient les énergies d'ionisation des donneurs et des accepteurs ;

Question	Points	Score
1	10	
2	10	
3	15	
4	25	
5	15	
6	25	
Total:	100	

1. (10 points) Considérer un semiconducteur à une température $T = 300$ K avec un niveau de Fermi se trouvant à 0.35 eV de la bande de valence.

Déterminer la probabilité qu'un état soit vide pour une énergie :

- (a) (5 points) $E = E_v - \frac{kT}{2}$.
 - (b) (5 points) $E = E_v - \frac{3kT}{2}$.
2. (10 points) Considérer le silicium à $T = 300$ K avec un niveau de Fermi se trouvant à 0.22 eV de la bande de conduction.

Dans l'équilibre thermique, déterminer :

- (a) (5 points) La concentration des électrons.
 - (b) (5 points) La concentration des trous.
3. (15 points) Calculer la concentration intrinsèque des porteurs de charge dans le GaAs pour :
 - (a) (5 points) Une température $T = 400$ K,
 - (b) (5 points) Une température $T = 250$ K
 - (c) (5 points) Comment varie la concentration des porteurs de charge en fonction de la température ?

Supposer que le gap d'énergie est constant en fonction de la température.

4. Déterminer la position du niveau de Fermi intrinsèque par rapport au centre du gap d'énergie ($E_{Fi} - E_{midgap}$) pour le
 - (a) (5 points) GaAs à $T = 300$ K,
 - (b) (5 points) GaAs à $T = 400$ K,
 - (c) (5 points) Ge à $T = 300$ K,
 - (d) (5 points) Ge à $T = 400$ K,
 - (e) (5 points) Que peut on conclure sur la variation du niveau de Fermi intrinsèque en fonction de la température ?

Supposer que les masses effectives sont constantes en fonction de la température.

5. (15 points) Considérer le dopage du silicium avec du bore avec une concentration $N_a = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$.

Déterminer la fraction des trous qui ne sont pas ionisés pour :

- (a) (5 points) Une température $T = 400$ K,
- (b) (5 points) Une température $T = 300$ K
- (c) (5 points) Une température $T = 250$ K

6. (25 points)

(a) Considérer le GaAs avec un niveau de Fermi se trouvant à 0.25 eV de la bande de valence ($E_F - E_v = 0.25$ eV) pour une température de $T = 300$ K.

- i. (5 points) Déterminer la concentration des électrons dans la bande de conduction n_0 .
- ii. (5 points) Déterminer la concentration des trous dans la bande de valence p_0 .
- iii. (5 points) Quel est le type de ce semiconducteur? Justifier votre réponse.

(b) On augmente la température à $T = 400$ K et on constate que p_0 garde la même valeur.

- i. (5 points) Déterminer la valeur de $E_F - E_v$.
- ii. (5 points) Déterminer la valeur de n_0 .

A Annexe : Unités et constantes

A.1 Constantes

$$\text{Constante de Planck : } h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4.135 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$$

$$\text{Constante de Planck réduite : } \hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.0545 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 6.581 \times 10^{-16} \text{ eV} \cdot \text{s}$$

$$\text{Vitesse de la lumière dans le vide : } c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\text{Produit : } hc \approx 1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}$$

$$\text{Masse d'un proton : } m_{\text{proton}} = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\text{Masse d'un électron : } m_{\text{electron}} = 0.9109 \times 10^{-30} \text{ kg}$$

$$\text{Charge d'un électron : } e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ coulombs}$$

$$\text{Constante de Boltzmann : } k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1} = 8.617 \times 10^{-5} \text{ eV K}^{-1}$$

$$\text{Pour } T = 300 \text{ K : } k_B T = 0.0259 \text{ eV}$$

$$\text{Permittivité ou constante diélectrique du vide : } \epsilon_0 = 8.85418 \times 10^{-12} \text{ F m}^{-1} \quad \text{ou} \quad \text{m}^{-3} \text{ kg}^{-1} \text{ s}^4 \text{ A}^2$$

A.2 Unités

$$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} = \text{J}.$$

$$1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}.$$

$$1\text{W} = 1\text{J/s}.$$

$$T(\text{K}) - 273.15 = T(^{\circ}\text{C}).$$

B Annexe : Propriétés des semiconducteurs

Silicon, gallium arsenide, and germanium properties ($T = 300$ K)

Property	Si	GaAs	Ge
Atoms (cm^{-3})	5.0×10^{22}	4.42×10^{22}	4.42×10^{22}
Atomic weight	28.09	144.63	72.60
Crystal structure	Diamond	Zincblende	Diamond
Density (g/cm^3)	2.33	5.32	5.33
Lattice constant (\AA)	5.43	5.65	5.65
Melting point ($^{\circ}\text{C}$)	1415	1238	937
Dielectric constant	11.7	13.1	16.0
Bandgap energy (eV)	1.12	1.42	0.66
Electron affinity, χ (V)	4.01	4.07	4.13
Effective density of states in conduction band, N_c (cm^{-3})	2.8×10^{19}	4.7×10^{17}	1.04×10^{19}
Effective density of states in valence band, N_v (cm^{-3})	1.04×10^{19}	7.0×10^{18}	6.0×10^{18}
Intrinsic carrier concentration (cm^{-3})	1.5×10^{10}	1.8×10^6	2.4×10^{13}
Mobility ($\text{cm}^2/\text{V-s}$)			
Electron, μ_n	1350	8500	3900
Hole, μ_p	480	400	1900
Effective mass ($\frac{m^*}{m_0}$)			
Electrons	$m_l^* = 0.98$ $m_t^* = 0.19$	0.067	1.64 0.082
Holes	$m_{lh}^* = 0.16$ $m_{hh}^* = 0.49$	0.082 0.45	0.044 0.28
Density of states effective mass			
Electrons ($\frac{m_{dn}^*}{m_0}$)	1.08	0.067	0.55
Holes ($\frac{m_{dp}^*}{m_0}$)	0.56	0.48	0.37
Conductivity effective mass			
Electrons ($\frac{m_{cn}^*}{m_0}$)	0.26	0.067	0.12
Holes ($\frac{m_{cp}^*}{m_0}$)	0.37	0.34	0.21

C Annexe : Énergie d'ionisation d'impureté

Impurity ionization energies in silicon and germanium

Impurity	Ionization energy (eV)	
	Si	Ge
<i>Donors</i>		
Phosphorus	0.045	0.012
Arsenic	0.05	0.0127
<i>Acceptors</i>		
Boron	0.045	0.0104
Aluminum	0.06	0.0102

Impurity ionization energies in gallium arsenide

Impurity	Ionization energy (eV)
<i>Donors</i>	
Selenium	0.0059
Tellurium	0.0058
Silicon	0.0058
Germanium	0.0061
<i>Acceptors</i>	
Beryllium	0.028
Zinc	0.0307
Cadmium	0.0347
Silicon	0.0345
Germanium	0.0404