

Concours d'accès au doctorat LMD06/10/2016

« Matériaux Optoélectroniques et énergie »

Epreuve : Optoélectronique et énergie

Durée : 1h30mn

Exercice 1 (10 points) :

I- Choix de matériaux semiconducteurs

Afin de répondre aux questions suivantes, faites référence au tableau ci-dessous ($T=300$ K).

	GaAs	Si
E_g (eV); énergie de gap	1,42	1,12
N_c (cm^{-3}); densité effective d'états dans la bande de conduction	$4,7 \times 10^{17}$	$2,5 \times 10^{19}$
N_v (cm^{-3}); densité effective d'états dans la bande de valence	7×10^{18}	10^{19}
n_i (cm^{-3}); densité de porteurs intrinsèque	$1,8 \times 10^6$	10^{10}
μ_n ($\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$); mobilité de l'électron	8500	1500
μ_p ($\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$); mobilité du trou	400	450
m_e^*/m_0 ; masse effective (électrons)	0,067	1,18
m_h^*/m_0 ; masse effective (trous)	0,45	0,81

- Nous souhaitons réaliser un dispositif optoélectronique. Nous avons à notre disposition du Si et du GaAs
 - Lequel des deux matériaux choisiriez-vous ? Expliquez.
 - Dessinez schématiquement un diagramme de bande (énergie d'un électron en fonction de son vecteur d'onde) et montrez clairement quelle propriété vous a mené à votre choix.
- Nous souhaitons fabriquer un transistor à haute vitesse.
 - Lequel des deux matériaux choisiriez-vous ? Expliquez.
 - Choisiriez-vous des électrons ou des trous comme porteurs majoritaires dans votre dispositif ? Expliquez.
- Nous souhaitons fabriquer un dispositif électronique qui fonctionne à haute température. Lequel des deux matériaux serait le meilleur choix ? Expliquez.
- Le silicium est le semiconducteur le plus utilisé dans la microélectronique. Donnez deux raisons le justifiant.

Exercice 2 (10 points) :

On désire détecter un signal de fluorescence à 894 nm. Pour cela, on utilise un photodétecteur silicium associé à un montage transimpédance comme illustré sur la Figure 4. On considère l'amplificateur opérationnel parfait, il n'apporte aucune source de bruit. La puissance moyenne du signal reçu est de l'ordre de 1 pW. Le signal reçu est de plus modulé à 100 Hz. Les caractéristiques du photodétecteur sont : surface active = 13 mm^2 , sensibilité = 0,5, courant d'obscurité = 50 fA, capacité parasite = 150 pF, résistance de shunt = 600 Mn. Les caractéristiques de l'AOP sont : produit gain-bande = 16 MHz, capacité parasite = 10 pF.

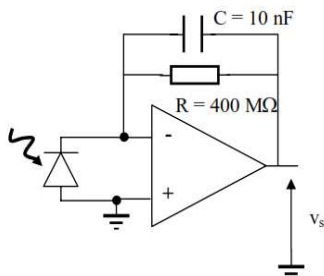


Figure 4.

Le système vous paraît-il bien dimensionné ? On justifiera par un bilan complet et des applications numériques. Pourrait-on l'améliorer ?

Solution de l'Epreuve 1

Corrigé succinct et barème des exercices d'Optoélectronique et Energie

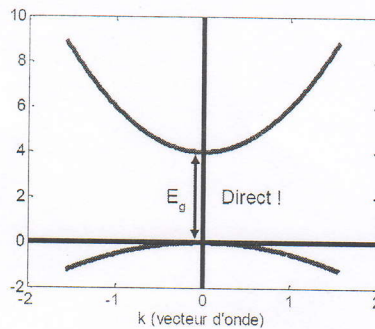
Exercice 1: (10 points)

1-

a- GaAs, car gap direct. (1pt)

Afin de conserver la quantité de mouvement/ moment cristallin, il faut que le haut de la bande de valence et le bas de la bande de conduction se trouvent à la même valeur de k , le vecteur d'onde d'un électron. (1,5pts)

b- (2 pts)



2-

a- GaAs. La mobilité des électrons dans le GaAs est très élevée.

Donc pour un champ appliqué donné, les électrons dans le GaAs iront à une vitesse plus élevée par rapport aux porteurs dans le Si. (1pt)

b- Des électrons. Leur masse effective est plus faible et donc leur mobilité est plus élevée que pour les trous. (1pt)

3-

Le GaAs, car sa bande interdite est plus grande. (1pt)

De ce fait, la plage de température où les concentrations des porteurs sont constantes (régime d'épuisement) sera plus grande, avant que le semiconducteur commence à se comporter comme un semiconducteur intrinsèque. (1,5pt)

4- (1pt)

- Deuxième élément le plus abondant dans la croûte terrestre.
- Forme un oxyde de très bonne qualité (SiO_2)

Exercice 2: (10 points)

a - (1,5 points) Choix du silicium correct (maximum de sensibilité en infrarouge).

b - (3 points) pour calcul du bruit et de la bande passante du montage.

On obtient pour le bruit (sur $B = 100$ Hz) :

- courant utile : $I_{ph} = 500$ fA.
- bruit de grenaille du courant d'obscurité = 1,3 fA
- bruit de grenaille de $I_{ph} = 4$ fA

Solution de l'Épreuve 1

Corrigé et barème succinct des exercices d'Optoélectronique et Énergie.

Exercice 2: (10 points)

1. Choix du silicium correct (maximum de sensibilité en infrarouge). (1.5 points)
pour calcul du bruit et de la bande passante du montage.

On obtient pour le bruit (sur $B = 100$ Hz) :

- courant utile : $I_{ph} = 500$ fA (0.5)
- bruit de grenaille du courant d'obscurité = $1,3$ fA (0.5)
- bruit de grenaille de $I_{ph} = 4$ fA (0.5)
- bruit thermique de $R = 64$ fA (0.5)
- bruit thermique de la résistance de shunt = 52 fA (0.5)
- bruit total = 83 fA (0.5)

Le signal à bruit risque d'être faible, mais le signal émerge tout de même. Cela peut éventuellement convenir. (1 point)

On obtient pour la bande passante : 800 Hz, ce qui convient. (1.5 points)

Le système peut donc convenir. On aurait toutefois intérêt à augmenter R , puisqu'on a de la marge sur la bande passante et que c'est la source principale de bruit. On ne pourra toutefois pas monter le rapport signal à bruit au-dessus de 10 à cause de la résistance de shunt du photodétecteur. (3 points)