Université Abbess Laghrour -Khenchela — *Année universitaire : 2024-2025*

Département Sciences de la matière — *1ere année Master physique des matériaux*

Spécialité : Physique des Matériaux — *Durée : 01H 30mn*

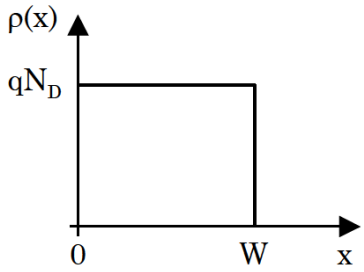
Examen Final de Physique des semi conducteurs 2

(Corrigé)

Exercice N°1 (08 pts)

La figure suivante représente la variation de la densité volumique de charge $\rho(x)$ dans un semiconducteur.

On notera W la largeur de la zone de charge d'espace (ZCE).



1. Donner l'expression de la densité volumique $\rho(x)$ de charge dans la ZCE.

$\rho(x) = qN_d$ — 1 pts

2. Écrire l'équation de poisson dans cette zone.

$$\frac{\partial^2 \mathbb{V}(x)}{\partial x^2} = -\frac{\partial \xi(x)}{\partial x} = -\frac{qN_d}{\varepsilon_{sc}}$$ — 1,5 pts

3. Déterminer le champ électrique $\xi(x)$ (conditions aux limites : $\xi_{(x=W)} = 0$.

D'après l'équation de poisson on a : $\frac{\partial \xi(x)}{\partial x} = \frac{qN_d}{\varepsilon_{sc}}$ — 0,5 pts

Le champ électrique au point x=w est nul, alors par intégration de l'équation de Poisson le champ électrique dans la ZCE s'écrit :

$$\xi(x) = \int_{\xi(x)}^{0} \partial\xi(x) = -\int_{x}^{w} \frac{qN_d}{\varepsilon_{sc}} \partial x$$ — 0,5 pts

D'où : $\xi(x) = -\frac{qN_d}{\varepsilon_{sc}}(w - x)$ — 1 pts

4. Déterminer le champ électrique maximum ξ_S (en x=0)

$$\xi_s = \xi(x = 0) = -\frac{qN_d}{\varepsilon_{sc}} w$$ — 0,5 pts

5. Déterminer l'évolution du potentiel électrique V(x) (conditions aux limites : $V_{(x=W)} = 0$.

Le potentiel électrique créé dans la ZCE est déterminé par intégration du champ électrique $\xi(x)$. Prendre $V_{(x=W)} = 0$.

$$\frac{\partial V(x)}{\partial(x)} = -\xi(x) \quad \textbf{donc :} \quad V(x) = -\int_{x}^{w} \xi(x)\, \partial(x)$$ — 0,5 pts

$$V(x) = \int_{x}^{w} \frac{qN_d}{\varepsilon_{sc}}(w - x)\, \partial(x)$$ — 0,5 pts

$$V(x) = -\frac{qN_d}{2\varepsilon_{sc}}(w - x)^2$$ — 1 pts

6. Déterminer le potentiel V_S à la surface du semi-conducteur. (en x=0)

Le Potentiel de surface V_S correspond à la ddp aux bornes de la ZCE :

$$V_s = V(x = 0) = -\frac{qN_d}{2\varepsilon_{sc}} w^2$$ 0,5 pts

7. Donner l'expression de la largeur de la zone de charge d'espace ***W*** en fonction du dopage N_D et du potentiel ***V_S***.

$$w = \sqrt{-\frac{2\varepsilon_{sc}}{qN_d} V_s}$$ 0,5 pts

Exercice N°2 (12 pts)

On considère un barreau de silicium dopé ($N_A = 10^{15}$ cm^{-3}) de longueur L = 10 cm et de section S = 0,1 cm^2. Dont les caractéristiques à 300 °K sont les suivantes:

ni = 1,5 10^{10} cm^{-3}, E_g=1,12 eV, μn = 1390 cm^2/V.s , μp =470 cm^2/V.s, , $\alpha = 10^4 cm^{-1}$, $\tau_n = 10^{-5}$ s

1. Calculer la densité des porteurs n_0 et p_0 à l'équilibre thermodynamique, ainsi que la résistance R_0 de cette structure.

Semi conducteur de type P :

- Les trous sont majoritaires : $p_0 \cong N_A \cong 10^{15} cm^{-3}$ 1 pts
- les électrons sont minoritaires : $n_0 = \frac{n_i^2}{N_A} = \frac{(1{,}5\ 10^{10})^2}{10^{15}} = 2{,}25\ 10^5 cm^{-3}$
- Conductivité : $\sigma_0 \cong \sigma_p \cong q p_0 \mu_p$

  $\sigma_0 \cong 1{,}6 . 10^{-19} . 10^{15} . 470 = 752 . 10^{-4} S/cm$

  Résistance de la structure :

  $R_0 = \rho \frac{L}{S} = \frac{1}{\sigma_0} \frac{L}{S}$ 1 pts

  $R_0 = \frac{1}{752 . 10^{-4}} . \frac{10}{0{,}1} = 1330\ \Omega$

2. A l'instant ***t = 0***, on éclaire ce barreau de silicium avec une radiation lumineuse de longueur d'onde ***λ=500 nm*** qui génère à sa surface des porteurs en excès à une vitesse G = ***10^{17} porteurs/cm^3.s***.

   a. Justifier que cette radiation est absorbée par le barreau et que l'absorption se fait à la surface .

   - Seuil d'absorption de la lumière : $\lambda_s(nm) \leq \frac{1240}{E_g(eV)}$

$\lambda_s(nm) \leq \frac{1240}{1{,}12} = 1107\ nm$

Or : $\lambda = 500nm < 1107\ nm$, condition satisfaite 1 pts

   - Profondeur de pénétration de la radiation : $e = \frac{1}{\alpha}$

$e = \frac{1}{10^5} = 10^{-5} cm = 0{,}1 \mu m$ 1 pts

Une profondeur de pénétration de $0{,}1 \mu m$ montre que l'absorption se fait à la surface du semiconducteur

b. Quel est le nombre de photo porteurs ainsi créés à la surface ? Voir si l'hypothèse du faible niveau d'injection est vérifiée.

- La radiation lumineuse crée à la surface éclairée des paires électrons trous tel que :

$\delta n = \delta p = G.\tau$

$\delta n = \delta p = 10^{17}.10^{-5} = 10^{12} cm^{-3}$ 1 pts

- Vérification de l'hypothèse du faible niveau d'injection :

On a : $\delta p = 10^{12} cm^{-3}$ et $p_0 \cong 10^{15} \mathrm{cm}^{-3}$,

La concentration de majoritaires après radiation : $p = p_0 + \delta p$

$p = 10^{15} + 10^{12} \cong 10^{15} \cong p_0$, Les majoritaires ne sont pas affectés 1 pts

Alors le régime est de faible injection.

c. Déterminer la photoconductivité du barreau sous éclairement

photoconductivité : $\delta\sigma = q\delta p(\mu_n + \mu_p)$

$\delta\sigma = 1{,}6\,.10^{-19}.10^{12}(1390 + 470) = 0{,}3\ 10^{-6}\ S/cm$ 0,75 pts

d. à **t > 0** , Quel phénomène physique se manifeste t-il dans le barreau ?

à t > 0 , le semiconducteur présente un surplus de porteurs de charges à sa surface ce qui crée un gradient de concentration de porteurs par rapport au volume , Cela déclenche un phénomène de diffusion des minoritaires de la surface vers le volume **.** 1 pts

e. Calculer la longueur de diffusion $\boldsymbol{L_n}$ des électrons et la comparer à la Longueur $\boldsymbol{L}$ du semiconducteur. On donne : $U_T = kT = 26\ meV$, $q = 1{,}6\ 10^{-19}\ C$

Calcul de D_n en utilisant la relation d'Einstein : $\boldsymbol{D_n = \mu_n \frac{kT}{q}}$

$D_n = 1390\ .\ 26\ 10^{-3} = 36{,}14\ cm^2\ s^{-1}$ 1 pts

Longueur de diffusion : $L_n = \sqrt{\tau_n D_n} = \sqrt{10^{-5}\ .\ 36{,}14} = 1{,}9\ .10^{-2} cm$

Comparaison :

$L_n = 1{,}9\ .10^{-2} cm$ et L=10 cm d'où : Ln << L 0,5 pts

La longueur de diffusion des porteurs est très inférieure à la Longueur du Barreau

f. Écrire et simplifier l'équation d'évolution des photoporteurs en régime permanant.

On a un semiconducteur de type P éclairé et selon la réponse (2-b), le régime est de faible injection alors seules les minoritaires sont affectés et l'équation d'évolution sera celle des électrons :

$\frac{dn}{dt} = +n\mu_n \frac{d\xi}{dx} + \mu_n \xi \frac{dn}{dx} + D_n \frac{d^2n}{dx^2} + G_n - R_n,$ 0,5 pts

Simplification :

- Aucun champ électrique n'est appliqué : $\xi = 0$ 0,25 pts

- seule la composante de diffusion est non nulle : $\frac{d^2n}{dx^2} = \frac{d^2(n_0+\delta n)}{dx^2} = \frac{d^2(\delta n)}{dx^2}$ 0,25 pts
- Génération en surface : $G_n = 0$ pour $\boldsymbol{x > 0}$ 0,25 pts
- Selon la réponse (2-e) il s'agit d'un semiconducteur Long où la recombinaison des porteurs minoritaires (électrons) est dominante : $R_n = {\delta n}/{\tau_n}$ 0,25 pts

En régime stationnaire, nombre de porteurs ne varie pas avec le temps ; $\frac{dn}{dt} = 0$ 0,25 pts

on aboutit donc a une équation différentielle du second ordre:

$$\frac{d^2(\delta n)}{dx^2} - \frac{\delta n}{D_n \tau_n} = 0$$ 0,5 pts

La solution de cette équation décrit l'évolution spatiale de la concentration des photoporteurs en régime permanant.

3. Si l'on coupe la radiation, Que se passe-t-il dans le barreau? Quel est le phénomène physique mis en jeu ?

Lorsqu'on coupe la radiation, la source de perturbation est supprimée, alors le semiconducteur tend à retrouver son état d'équilibre thermodynamique à travers le phénomène de recombinaison des porteurs en excès . 0,5 pts