Travaux Dirigés de Physique des Semi-conducteurs
Série N° 6

Exercice 1

1. Définir le courant de conduction et le courant de diffusion dans un semi-conducteur
2. Donner la densité totale du courant de conduction. En déduire la conductivité du matériau.
3. Donner la densité totale du courant de diffusion dans les deux cas suivants :
   - Les densités des porteurs varient uniquement suivant une dimension
   - Les densités des porteurs varient suivant trois dimensions
4. Donner la densité du courant des électrons et des trous.
5. Ecrire la densité d'électrons et de trous en tenant compte de la relation d'Einstein :

$$\frac{D_n}{\mu_n} = \frac{D_p}{\mu_p} = \frac{kT}{e}$$

Exercice 2

Dans un barreau semi-conducteur excité et parcouru par un courant dans la direction ox, on considère un élément de volume de section unitaire S dans le plan perpendiculaire à ox et d'épaisseur dx.

1. Quelle est la variation du nombre de porteurs par unité de temps dans cet élément de volume ?
2. Ecrire les équations de continuité dans le cas d'un matériau dopé en régime de faible injection.
3. Considérons maintenant un barreau semi-conducteur type p, excité en surface par un rayonnement qui crée en surface un excès Δn
   3.1. Donner l'équation d'évolution de la densité d'électron en un point quelconque du barreau.
   3.2. Si le rayonnement est peu pénétrant, déterminer en régime stationnaire la densité des porteurs en excès. On prendra $n(x=0)=n_1$ et $n(x\to\infty)=n_0$.

Exercice 3

Soit un semi-conducteur excité de manière homogène par un éclairement d'énergie $h\nu$.

1. Quelles sont les variations des densités des porteurs par unité de temps ?
2. Donner l'équation d'évolution de la densité d'électrons dans le cas d'un semi-conducteur type p en régime de faible excitation.
3. Quelle est la densité d'électrons en régime stationnaire ?
4. Quelle est la densité d'électrons en régime transitoire résultant de la suppression de l'excitation ?
5. Représenter les variations de la densité d'électrons dans le temps n(t).

Scanné avec CamScanner

Exercice 4

Soit un semi-conducteur de gap 1.1 eV à température ambiante dopé N avec une concentration $N_d = 10^{17}$ cm^{-3}. On éclaire une face de ce semi-conducteur (d'abscisse $x=0$) par un rayonnement électromagnétique monochromatique de fréquence $\upsilon = 5.10^{14}$ Hz.
Soit $\Phi_0(E)$ le flux de photons incidents d'énergie E. La face éclairée a une surface de 1 cm^2 et un coefficient de réflexion $R=0.4$.

1. La puissance de la lumière incidente est $P_0 = 6.62\ 10^{-6}$ W. calculer $\Phi_0(E)$.
2. Déterminer le flux de photons transmis à la surface.
3. Les photons sont absorbés au cours de leur passage dans le semi-conducteur. On définit $\alpha(E,x)$ le coefficient d'absorption comme la variation de la densité du rayonnement par unité de longueur dx. On prend $\alpha(E,x) = \alpha(E)$ dans tout le matériau.
   - 3.1. Donner l'expression de $\alpha(E)$.
   - 3.2. Déterminer la loi de variation de $\Phi(E,x)$.
4. Chaque photon absorbé permet de créer une paire électron-trou.
   - 4.1. Donner l'expression du taux de génération des paires électron-trou $g(E,x)$.
   - 4.2. Discuter le résultat trouvé pour :
     - $\alpha(E)$ petit
     - $\alpha(E)$ grand

Scanné avec CamScanner

** td 3 : Mécanisme de conduction **

Exercice n°1 :

1) Le courant de conduction ou courant de dérive :
Si on applique un champ électrique E, les électrons et les trous subissent des forces favorisant leur déplacement.

2) * la densité de courant de conduction des électrons $J_{Cn} = \sigma_n E = q n \mu_n E$
* la densité de courant de conduction des trous $J_{Cp} = \sigma_p E = q p \mu_p$

⇒ la densité totale du courant de conduction :

$$J_{c\,total} = J_{cp} + J_{cn} = (q\, p\mu_p + q\, n\, \mu_n) E = \sigma E$$

d'où la conductivité du matériau : $\sigma = \sigma_n + \sigma_p = q\,(p\mu_p + n\mu_n)$

3) * la densité totale du courant de diffusion si les densités des porteurs varient uniquement suivant une direction :

$$J_D = J_{Dn} + J_{Dp} = q\left(D_n \frac{dn(x)}{dx} - D_p \frac{dp(x)}{dx}\right)$$

* la densité totale du courant de diffusion si les densités des porteurs varient suivant trois dimensions :

$$\vec{J_D} = \vec{J_{Dn}} + \vec{J_{Dp}} = q\left(D_n \overrightarrow{grad}(n) - D_p \overrightarrow{grad}(p)\right)$$

4) * la densité du courant des électrons :

$$J_n = J_{Dn} + J_{cn} = q\, n\, \mu_n E + q\, D_n \overrightarrow{grad}(n)$$

* la densité du courant des trous :

$$J_p = J_{Dp} + J_{cp} = q p \mu_p E - q\, D_p \overrightarrow{grad}(p)$$

5) En tenant compte de la relation d'Einstein : $\frac{D_n}{\mu_n} = \frac{D_p}{\mu_p} = \frac{KT}{q}$

* la densité du courant des électrons : $J_n = \left(q n E + KT \overrightarrow{grad}(n)\right) \mu_n$

* la densité du courant des trous $J_p = \left(q p E + KT \overrightarrow{grad}(p)\right) \mu_p$

Scanné avec CamScanner

Exercice n°2.

1) La variation du nombre de porteurs par unité de temps dans cet élément de volume :

électron $\dfrac{\partial n}{\partial t} = \dfrac{1}{e} \dfrac{\partial J_{nx}}{\partial x} + g_n - r_n$

trou $\dfrac{\partial p}{\partial t} = \dfrac{1}{e} \dfrac{\partial J_{px}}{\partial x} + g_p - r_n$

2) Semi conducteur dopé, faible injection : $\begin{cases} r_n = \dfrac{\Delta n}{\tau_n} = \dfrac{n - n_0}{\tau_n} \\ r_p = \dfrac{\Delta p}{\tau_p} = \dfrac{p - p_0}{\tau_p} \end{cases}$

Cas des électrons :

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{1}{e} \frac{d}{dx}\left(D_n \cdot \frac{dn(x)}{\partial x} + e\mu_n n E\right) + g_n - r_n$$

$$= \left(D_n \frac{\partial^2 n(x)}{\partial x^2} + \mu_n E \frac{\partial n(x)}{\partial x} + \mu_n n \frac{\partial E}{\partial x}\right) + g_n - \frac{n - n_0}{\tau_n}$$

Cas des trous :

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -p\mu_p \frac{\partial E}{\partial x} - \mu_p E \frac{\partial p}{\partial x} + D_p \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + g_p - \frac{p - p_0}{\tau_p}$$

3) type P $\longrightarrow$ minoritaires é

$\Delta n \longrightarrow$ surface $\longrightarrow$ diffusion.

3.1) $n = n_0 + \Delta n$

$\dfrac{\partial p}{\partial t} = 0$ (car majoritaires donc leurs concentration ne varie pas au cours du temps)

$E = 0$ pas de champ électrique.

$$\rightarrow \frac{\partial n}{\partial t} = D_n \frac{\partial^2 n(x)}{\partial x^2} + g_n - \frac{n - n_0}{\tau_n}$$

3.2) régime stationnaire $\dfrac{\partial n}{\partial t} = 0$

$$\Rightarrow D_n \frac{\partial^2 n(x)}{\partial x^2} + g_n - \frac{\Delta n}{\tau_n} = 0$$

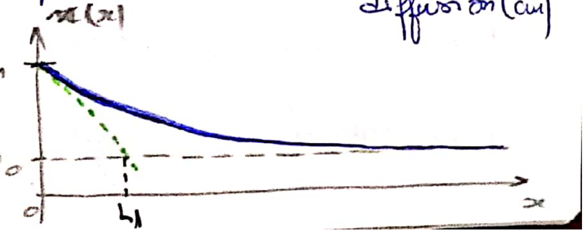
Comme le rayonnement est peu pénétrant alors $g_n = 0$

$$\Rightarrow D_n \frac{\partial^2 n(x)}{\partial x^2} - \frac{n(x) - n_0}{\tau_n} = 0$$

$$\frac{\partial^2 n(x)}{\partial x^2} - \frac{n(x) - n_0}{\tau_n \times D_n} = 0$$

on pose $\sqrt{\tau_n D_n} = L_n$ longueur de diffusion (cm)

solution : $n - n_0 = (n_1 - n_0)\exp\left(-\dfrac{x}{L_n}\right)$



Scanné avec CamScanner

Exercice n° 3 :

éclairement $\longrightarrow$ $E=0$

excitation homogène $\longrightarrow$ $\frac{dn}{dx}=0$ et $\frac{dP}{dx}=0$

1) $\frac{dn}{dt} = g_n - r_n$

$\frac{dp}{dt} = g_p - r_p$

2) dans le cas d'un semi-conducteur type P, les électrons sont les minoritaires

d'où $\begin{cases} \frac{dp}{dt}=0 \\ \frac{dn}{dt} = g_n - \frac{n-n_0}{\tau_n} \end{cases}$

3) régime stationnaire : $\frac{dn}{dt}=0$

$\Rightarrow n = n_0 + g_n \tau_n \;(cm^{-3})$

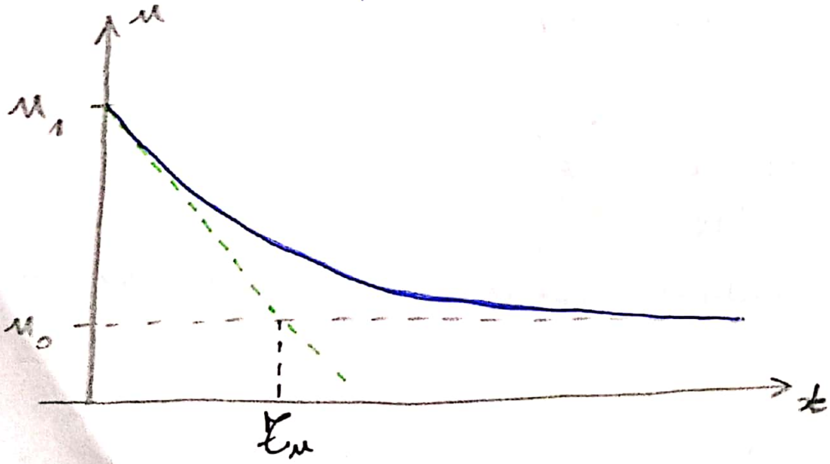
4) régime transitoire et pas d'excitation : $g_n = 0$

d'où $\frac{dn}{dt} = -r_n = \frac{n_0 - n}{\tau_n}$

conditions au limite : à $t=0$, $n = n_1$
à l'instant de l'excitation

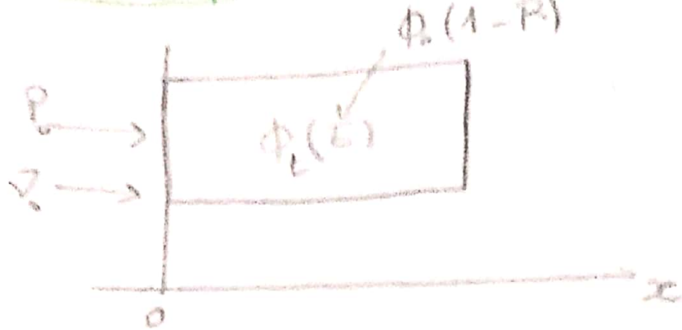
$\Rightarrow n - n_0 = (n_1 - n_0)\exp\left(-\frac{t}{\tau_n}\right)$

5) n décroit exponentiellement avec une constante de temps τ_n



Scanné avec CamScanner

Exercice n°4 :



$h\nu = 33,1 \times 10^{-20}\ J$

1) $\phi_0(E) = \dfrac{P_0}{(h\nu) \times S} = 0,2 \times 10^{14}\ s \cdot cm^2$

2) $\phi_t(E) = \phi_0(E)\ (1-R) = 0,6\ \phi_0(E)$

3.1) $\alpha(E,x) = -\dfrac{1}{\phi(E,x)} \dfrac{d\phi(E,x)}{dx}$

$d\phi(E,x) = -\alpha(E,x)\ \phi(E,x)\ dx$

Car $\dfrac{d\phi(x)}{dx} = -\alpha(E,x)\ \phi(E,x)$

3.2) $\dfrac{d\phi}{dx} = -\alpha(E)\ \phi(E,x)$

$x = 0, \quad \phi = (1-R)\ \phi_0(E) = \phi_t(E$

solution : $\phi(E,x) = \phi_t(E)\ \exp(-\alpha(E)\ x) = (1-R)\phi_0(E) \exp(-\alpha(E) \cdot x)$

4) chaque photon absorbée $\Rightarrow$ e^-/h^+ crée

$\Downarrow$

taux de diminution de flux = taux de génération.

4.1) $G(E,x) = -\dfrac{d\phi(E,x)}{dx}$

$G(E,x) = (1-R)\ \phi_0(E)\alpha \exp(-\alpha x)$

4.2) * si $\alpha(E)$ est petit

$\longrightarrow$ Le rayonnement est peu absorbée

$\longrightarrow$ pénétration profonde

$\Longrightarrow$ il crée peu de porteurs/unité de volume mais dans un grand volume

* si $\alpha(E)$ est grand.

$\longrightarrow$ Le rayonnement est très absorbée

$\longrightarrow$ Les porteurs sont créés dans un petit volume sous la surface

Scanné avec CamScanner