DIFFUSION DES PORTEURS

1 Equa0 de Maxwell

2 Equa0 de continuité

$\vec{J} = \vec{J_n} + \vec{J_p}$ à T = 300K de

$\vec{E}$ entraîné par $\vec{J}$, courant d'entraînement

si gradient de concentrat° → courant de diffusion

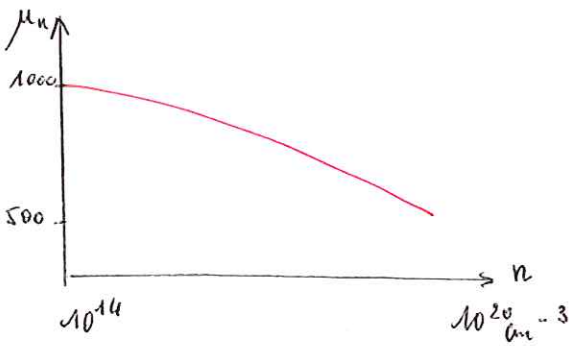
21 Courant d'entraînemt et de conduct°

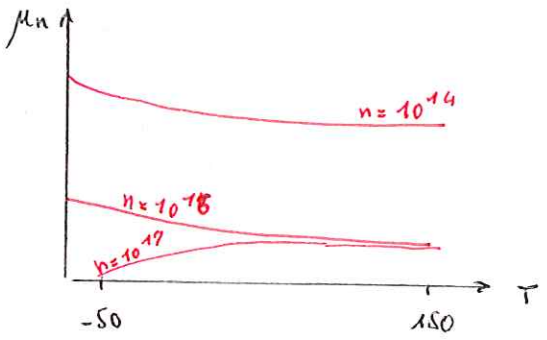
$\vec{J_{ne}} = n q \mu_n \vec{E}$ $\quad \mu_n = \frac{q \tau_n}{m_n^*}$ $\quad \tau_n$: temps de relaxat°. $(cm^2 V^{-1} s^{-1})$

$\vec{J_{pe}} = p q \mu_p \vec{E}$ $\quad$ varie peu avec [porteurs] et peu avec T

Tamb :

(Si)





μ_n est ↑↑ $\gg \mu_p$

22 Courant de diffusion

rendance au retour à l'éq thermo = éq en [porteur] => déplacemt porteurs, diffusent

en sens inverse de $\overrightarrow{\text{grad}}\, C$, de régions de forte C vers faibles C.

D = constante de diffusion :

$$D = \frac{-\text{flux de particules}}{\overrightarrow{\text{grad}}\, C}$$

densité de courant = flux de particules · charge

→ $\boxed{\vec{J}_n = q D_n \overrightarrow{\text{grad}}\, n \qquad \vec{J}_p = -q D_p \overrightarrow{\text{grad}}\, p}$

relat d'Einstein : $\boxed{D_n = \frac{kT}{q}\mu_n \qquad D_p = \frac{kT}{q}\mu_p}$

→ $\left.\begin{aligned} \vec{J}_n &= n q \mu_n \vec{E} + q D_n \overrightarrow{\text{grad}}\, n \\ \vec{J}_p &= p q \mu_p \vec{E} - q D_p \overrightarrow{\text{grad}}\, p \end{aligned}\right\} \quad \vec{J} = (n q \mu_n + p q \mu_p)\vec{E} + q D_n \overrightarrow{\text{grad}}\, n - q D_p \overrightarrow{\text{grad}}\, p$

en $A m^{-2}$

soit en modèle 1D : $E \parallel \overrightarrow{\text{grad}}\, n$

→ $\vec{J} = (n q \mu_n + p q \mu_p)\vec{E} + q D_n \frac{\partial n}{\partial x} - q D_p \frac{\partial p}{\partial x}$

justification de la relat d'Einstein

modèle 1D : gaz d'électron ds 1 champ $\vec{E}$ uniforme.

à l'éq : $j_n = 0$ → $n q \mu_n \vec{E} + q D_n \overrightarrow{\text{grad}}\, n = 0$

$$n(x) = C \exp\left(-\frac{E}{kT}\right)$$

E dérive d'1 potentiel V : $E = -qV = qEx \qquad V = -Ex$

$$n q \mu_n \vec{E} = \frac{q^2}{kT} D_n \frac{qE}{kT} n(x) = 0 \quad \rightarrow \quad \mu_n = D_n \frac{q}{kT} = 0$$

→ $D_n = \frac{kT}{q}\mu_n$

équat de continuité

|porteurs| = f(t) sous l'influence de cond ext. Il y aura après retour à l'équilibre par recombinaison. Le taux de variat d'1 type de porteur est $\frac{\partial n}{\partial t}$, est lié au flux de porteurs qui quittent cette région.

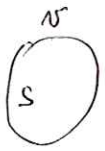
$$\frac{\partial n}{\partial t} = G_n - R_n + \frac{1}{q}\,\mathrm{div}\left(\vec{J_n}\right)$$

G_n : taux de génération des e^- en volume

R_n : taux de recomb des e^- en volume

$\vec{J_n}$: flux d'e^- quittant l'endroit considéré, en $(m^{-3}\,s^{-1})$

pour les trous : $\dfrac{\partial p}{\partial t} = G_p - R_p - \dfrac{1}{q}\,\mathrm{div}\left(\vec{J_p}\right)$



$\iiint_v n\,dv$ = n^b d'e^- ds l'élément de volume.

si n^b d'e^- contenu ds v ↘ par unité de t : $\Rightarrow -\dfrac{d}{dt}\iiint_v n\,dv$

ceux qui entrent ds le volume : $\oint -\dfrac{\vec{J^n}}{q}\,d\vec{S}$

bilan global : $-\dfrac{\partial}{dt}\iiint_v n\,dv = \oint -\dfrac{\vec{J^n}}{q}\,d\vec{S} = \iiint (G_n - R_n)\,dv$

3 Faible écart à l'équilibre : modèle 1D

$n_n \gg p_n$: à l'instant t

n_{no} p_{no} : à l'éq

On suppose que pour les trous, le taux de recombinaisons est proportionnel à $p_n - p_{no}$: $R_p = \alpha\,(p_n - p_{no})$ α en s^{-1}

$\Rightarrow R_p = \dfrac{p_n - p_{no}}{\tau_p}$ τ_p en s

τ_p est appelé durée de vie des minoritaires : Ge et Si : $\tau \simeq 99$ ms

à l'eq électrique : $p_n - p_{no} = n_n - n_{no}$

$\Rightarrow \dfrac{p_n - p_{no}}{p_n} \gg \dfrac{n_n - n_{no}}{n_n}$

---

on s'intéressera donc aux minoritaires.

$$\frac{\partial p_n}{\partial t} = G_p - \frac{p_n - p_{n0}}{\tau_p} - \frac{1}{q}\frac{\partial j_p}{\partial x}$$

$$j_p = p_n q \mu_n E - q D_p \frac{\partial p_n}{\partial x}$$

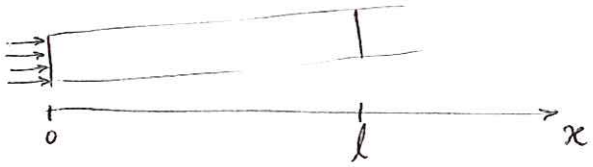
$$\rightarrow \frac{\partial p_n}{\partial t} = G_p - \frac{p_n - p_{n0}}{\tau_p} - \mu_p \frac{\partial p_n E}{\partial x} + D_p \frac{\partial^2 p_n}{\partial x^2}$$

$$\frac{\partial n_p}{\partial t} = G_n - \frac{n_p - n_{p0}}{\tau_n} - \mu_n \frac{\partial n_p E}{\partial x} + D_n \frac{\partial^2 n_p}{\partial x^2}$$

4 faible injecθ de paires e⁻-trou ds 1 sc extrinséques

41 : temps de relaxaθ ∞

$R = 0$ sur 1 longueur l.



en $x = l$, il y a recombinaison instantanée (contact ohmique)

on éclaire à la surface en $x = 0$ → généraθ de paires e⁻-trou.

taux de généraθ en surface : G

——— volume supposé nul.

en régime permanent :

entre 0 et l : $\frac{\partial p}{\partial t} = 0 = 0 - 0 - \frac{1}{q}\frac{\partial j_p}{\partial x}$

$x = 0$: $j_p = qG = cte$ → en $x = l$ aussi et entre aussi

$j_{tot} = 0 \rightarrow j_n = -qG$

$$j_n = q\left(\mu_n E + D_n \frac{\partial n}{\partial x}\right) = -qG$$

$$j_p = q\left(\mu_p E + D_p \frac{\partial p}{\partial x}\right) = qG$$

hypothèse de la quasi-neutralité du SC : $\frac{\partial n}{\partial x} = + \frac{\partial \rho}{\partial x}$

$$E = \frac{(D_n - D_p)\, G}{D_n \mu_p p + D_p \mu_n n}$$

$$\frac{\partial n}{\partial x} = \frac{\partial \rho}{\partial x} = \frac{-G(p\mu_p + n\mu_n)}{D_n \mu_p p + D_p \mu_n n}$$

régime transitoire : diffusion des trous - rapide que celle de e^-.

→ amalgame de trous en $x \simeq 0$

→ dipole : couche dipolaire → crée le champ $\vec{E}$

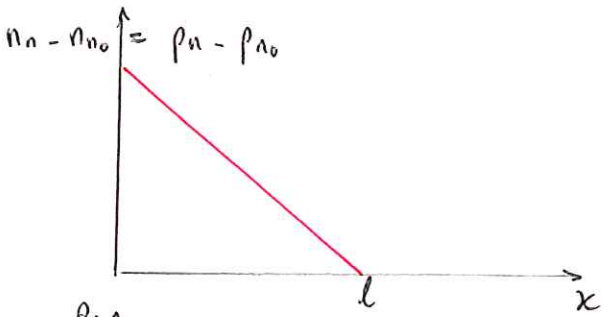
$\frac{\partial \rho}{\partial x} = \frac{\partial n}{\partial x} = -\frac{G}{D_p}$ d'après la relat d'Einstein, pour 1 faible injec° : $p_n - p_{no} \ll n$

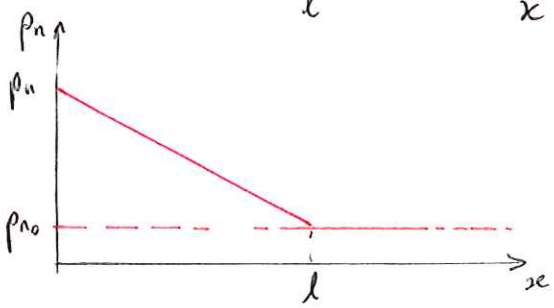
→ $n_n = -\frac{G}{D_p} x + cte.$

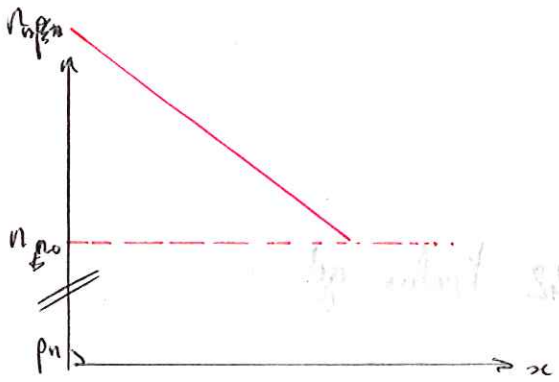
pour $x = 0$: général
$x = l$: $n_n - n_{no} = 0$

$$n_n = \frac{G(l-x)}{D_p} + n_{no}$$

$$p_n = \frac{G(l-x)}{D_n} + p_{no}$$







$$j_p = q\mu_p E = \underbrace{p q \mu_p \frac{G(D_n - D_p)}{n\mu_n D_p}}_{\text{courant de dérive}} + \underbrace{q D_p \frac{G}{D_p}}_{\text{courant de diffusion.}} = qG$$

$\downarrow$ négligeable puisque $j_p = qG$.

→ le courant électrique ne joue pas sur les minoritaires. Le courant des minoritaires est essentiellement 1 courant de diff.

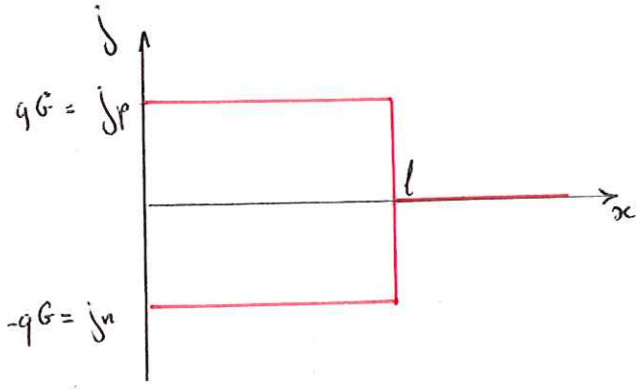
Au contraire, sur les majoritaires :

$$j_n = q n \mu_n E = \underbrace{q n \mu_n \frac{G(D_n - D_p)}{n\mu_n D_p}}_{\text{courant dû au champ électrique}} = \underbrace{q \frac{D_n}{D_p} G}_{\text{diffusion}}$$

$\sim$

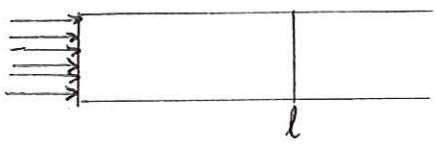
→ pour les porteurs majoritaires, les 2 courant sont $\simeq$

Donc, l'injection des paires e⁻-trou va créer 1 courant électrique, agissant essentiellement sur les majoritaires. Les minoritaires donnent lieu à 1 courant de diffusion essentiellement.



42 Trelax gd mais ≠ ∞

→ $\frac{1}{\tau_p}$ petit.

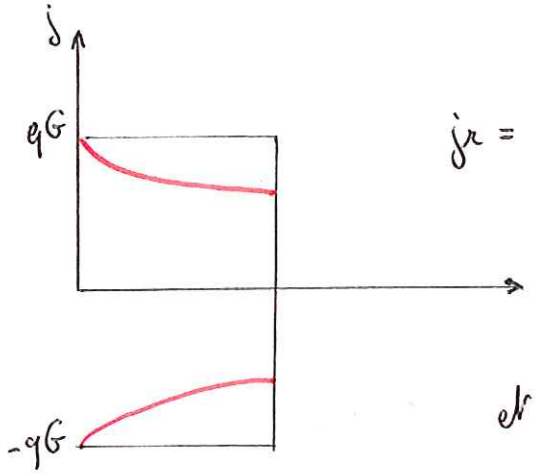


$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial n}{\partial t} = 0 = -\frac{\rho - \rho_0}{\tau} - \frac{1}{q}\frac{dj_p}{dx} \quad \text{éq de continuité}$$

$$\rho - \rho_0 = \frac{G}{D_p}(l-x) \quad \rightarrow \quad \frac{dj_p}{dx} = -\frac{Gq}{D_p \tau}(l-x)$$

$$\int_0^l dj_p = -\frac{qG}{D_p \tau}\int_0^l (l-x)\,dx$$

$$\rightarrow \quad j_p(l) - j_p(0) = -\frac{qG}{D_p \tau}\left(l^2 - \frac{l^2}{2}\right) = -\frac{1}{2}\frac{qG}{D_p}\frac{l^2}{\tau}$$



$$j_r = j_p(l) - j_p(0) = -\frac{qGl^2}{2D_p\tau}$$

= courant de recombinaison j_r

et $\frac{j_r}{j_p(0)} = \frac{l^2}{2D_p\tau}$

si $l \infty$

courant de porteurs mino = courant de diffusion

$$\rightarrow \quad j_p = -qD_p\frac{\partial \rho}{\partial x}$$

avec $$0 = -\frac{\rho - \rho_0}{\tau} - \frac{1}{q}\frac{dj_p}{dx}$$

$$= -\frac{\rho - \rho_0}{\tau} + D_p\frac{d^2(\rho-\rho_0)}{dx^2} \quad \text{équa diff de 2e ordre.}$$

$$\rightarrow \quad r^2 - \frac{1}{D_p\tau} = 0 \quad \rightarrow \quad r = \pm\frac{1}{\sqrt{D_p\tau}}$$

$$\rightarrow \quad \rho - \rho_0 = K e^{-\frac{x}{\sqrt{D_p\tau}}} + K' e^{\frac{x}{\sqrt{D_p\tau}}}$$

ψ^t : e croissante n'a pas de sens : $\rightarrow \quad \rho - \rho_0 = K e^{-\frac{x}{\sqrt{D_p\tau}}}$

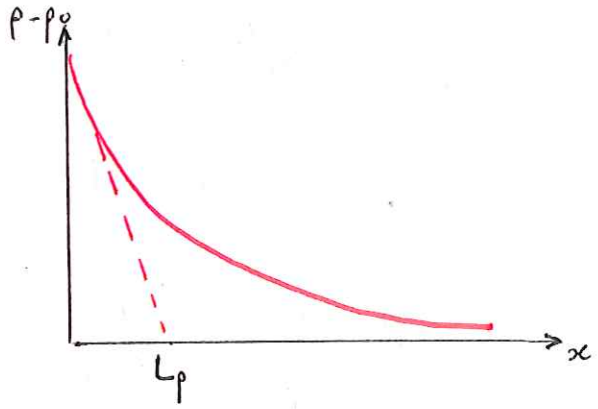
connaissant $p - p_0$ on peut avoir j_p

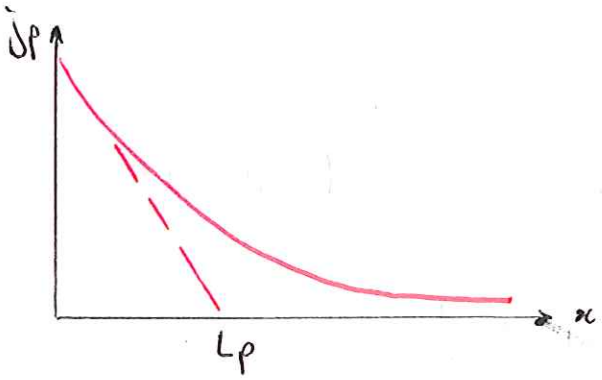
$$j_p = -q D_p \frac{\partial p}{\partial x} \rightarrow j_p = \frac{q D_p K}{\sqrt{D_p \tau}} e^{-\frac{x}{\sqrt{D_p \tau}}}$$

$x = 0 : j_p(0) = qG \qquad \sqrt{D_p \tau} = L_p =$ longueur de diffusion.

$$\rightarrow \frac{q D_p K}{L_p} = qG \rightarrow K = \frac{qG L_p}{q D_p}$$

$\rightarrow j_p =$





$$p - p_0 = \frac{G L_p}{D_p} e^{-\frac{x}{L_p}}$$