Corrigé de l'exercice sur les CCD

13 décembre 2006

Question 1
cf poly
Question 2
La densité de courant d'électrons est due à un champ induit $\overrightarrow{E_s}$ et à la diffusion des porteurs selon l'axe x :

$$j_n = q\mu_n n_s(x,t)E_s + qD_n\frac{\partial n_s}{\partial x}$$

Question 3
Appliquons la relation reliant le potentiel appliqué V_G (dans un MOS) en fonction du potentiel de surface V_s et de la tension aux bornes de la capacité formée par l'isolant (en négligeant la charge de désertion devant la charge d'inversion) :

$$V_G = V_s + \frac{qn_s(x,t)}{C_o}$$

Cette tension de surface V_s engendre un champ induit E_s :

$$E_s = -\frac{\partial V_s}{\partial x} = \frac{q}{C_o}\frac{\partial n_s}{\partial x}$$

En reportant cette valeur de E_s dans l'équation de la densité de courant :

$$\begin{aligned} j_n &= \frac{q^2\mu_n}{C_o}n_s(x,t)\frac{\partial n_s}{\partial x} + qD_n\frac{\partial n_s}{\partial x} \\ &= q(\underbrace{\frac{q\mu_n}{C_o}n_s(x,t)}_{=D'} + D_n)\frac{\partial n_s}{\partial x} \end{aligned}$$

Question 4
Appliquons l'équation de continuité relative aux électrons (en considérant qu'il n'y a pas de création de porteurs : g=0 et pas de recombinaisons : r=0) :

$$\frac{\partial n_s(x,t)}{\partial t} = \frac{1}{q}div j_n = \frac{\partial}{\partial x}\left[\left(\underbrace{\frac{q\mu_n}{C_o}n_s(x,t) + D_n}_{D_eff=D_n+D'}\right)\frac{\partial n_s(x,t)}{\partial x}\right]$$

On obtient $D' = D$ pour $n_s = n_0 = 5.710^{13} m^{-2}$ Ainsi, pour $n > n_0$, $D' > D_n$: l'action du champ domine (par rapport à la diffusion). Pour $n < n_0$, $D_n > D'$: la diffusion est le phénomène le plus important.

Question 5

On considère $D_{eff} = D'$. En remplaçant $n_s(x,t)$ par le produit $h(x) \times g(t)$ dans l'équation différentielle précédente on aboutit à l'équation suivante :

$$\frac{g'(t)}{g^2(t)} = \frac{q\mu_n}{C_o}\left(\frac{h''(x)}{h(x} + \frac{h'^2(x)}{h(x}\right)$$

Les deux membres sont donc des fonctions de deux variables différentes. Il en résulte que ces deux expressions sont constantes. Soit A cette constante. La fonction g vérifie alors l'équation :

$\frac{g'(t)}{g^2(t)} = A$, ce qui s'écrit encore :$\frac{dg}{g^2(t)} = Adt$, soit en intégrant : $-\frac{1}{g(t)} = At + B$

Finalement, la fonction g se met sous la forme :

$$g(t) = -\frac{1}{At + B}$$

g est donc une hyperbole : la loi temporelle du transfert des électrons d'une capacité MOS vers une autre est hyperbolique.

Question 6

En remplaçant n par l'expression fournie (et en supposant $D_{eff} = D_n$), on montre que cette expression est bien solution de l'équation à condition d'avoir la relation suivante vérifiée :

$$\tau_d = \frac{4L^2}{D_n \pi^2}$$

La décroissance (temporelle) de n_s en fin de transfert est donc exponentielle, de paramètre caractéristique τ_d. On peut montrer que la pente de cette exponentielle est plus faible que la pente de l'hyperbole précédente.

Remarque : on peut écrire τ_d différemment : $\tau_d = (8/\pi^2)TT \approx TT$ où TT est le temps de transit (cf 1ère année).