Université de Batna2 2021/2022	Faculté de Technologie Département d'Electronique
Physique des composants semi-conducteurs 3 **TD n°2:**	

Exo.1 : Dans le modèle de Drude sur les métaux, le temps de collision des électrons est donné par : $\boldsymbol{\tau_c=(\sigma_0\, m_e)/(N_e.e^2)}$

où σ_0, m_e, N_e et e sont respectivement la conductivité électronique, la masse de l'électron , la densité volumique d'électrons et la charge de l'électron.

1.1) Donner l'expression de la densité électronique (concentration) dans le cas du cuivre en supposant qu'on a un électron de conduction par atome sachant que la masse volumique du cuivre est ρ= 8,96 x 10^3 kg·m^{-3} et sa masse molaire M = 63,5 g·mol^{-1}

1.2) Calculer le temps de collision pour les électrons du cuivre pour lequel on a : σ_0=6 × 10^7 S·m^{-1}, m_e=9.1 10^{-31} kg, N_e= 8,5 × 10^{28} m^{-3}

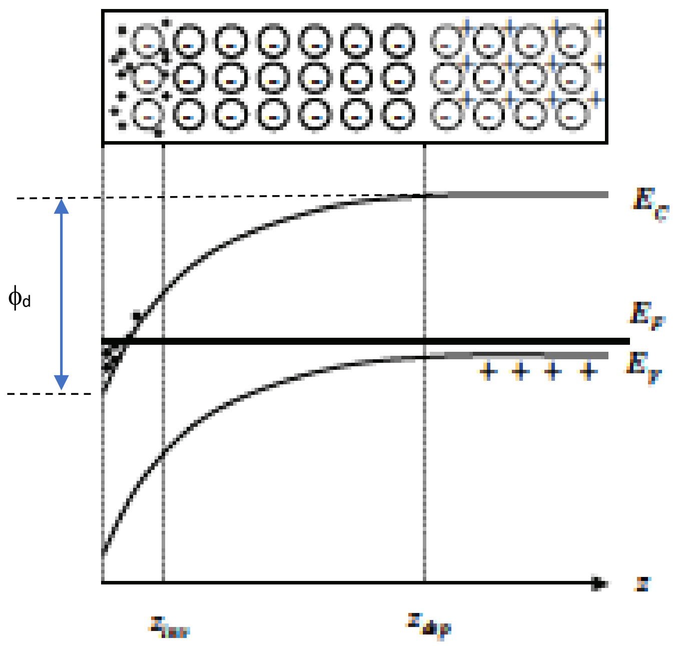
1.3) Calculer le libre parcours moyen si Vth≈ 10^5 m/s

1.4) Quelle condition doit vérifier la longueur L d'un échantillon à base de cuivre pour avoir :

14.1) Un régime diffusif.

1.4.2) Un régime balistique.

Exo2 : Si on considère une structure MIS e type Al-SiO2-Si avec N_A= 10^{15} cm^{-3}, ε_s=12ε_0 et E_g=1.15 eV



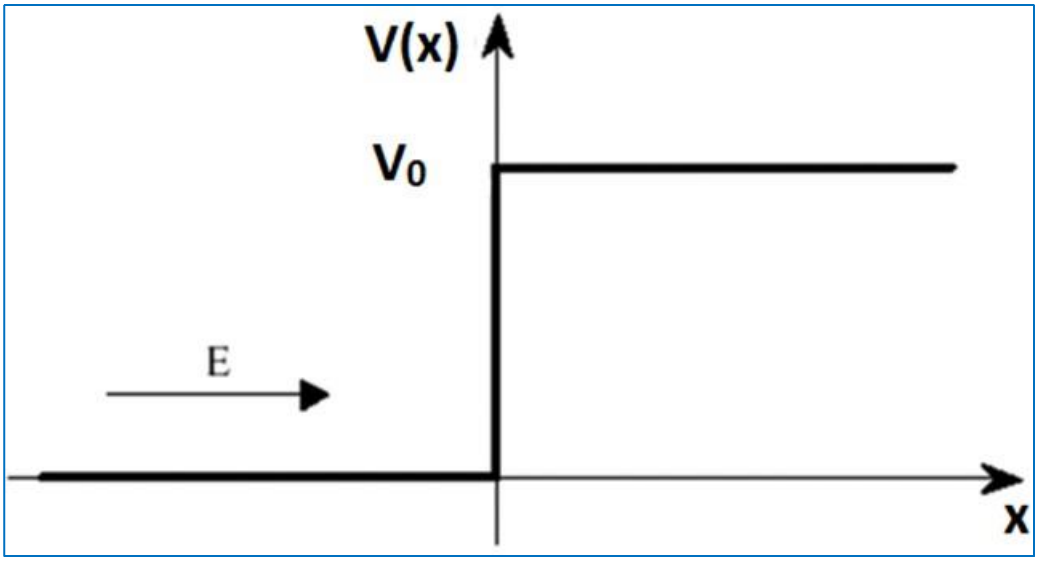
2.1. Calculer ϕ_d dans le régime de forte inversion

2.2. En déduire la largeur de la zone de déplétion z_d et la concentration de charge N_{dep}.

2.3. Comparer la largeur de la zone de charge d'espace à la largeur de la zone d'inversion qui est de l'ordre de 10 Å et le libre parcours moyen qui est de l'ordre de 25 Å.
2.4. Conclusion concernant les électrons de la zone d'inversion et leur énergie.

Exo.3

Une description plus simple des électrons dans un réseau cristallin métallique suppose que le réseau est constitué d'ions qui baignent dans un gaz d'électrons libres (les électrons de valence) de se mouvoir dans le matériau. Pour que les électrons restent dans le cristal malgré le vide qui l'entoure, on représente donc la jonction métal-vide par une marche de potentiel supérieur à l'énergie E des électrons libres comme indiqué sur la figure ci-dessous.



On vous demande :

3.1. Résoudre l'équation de Schrödinger indépendante du temps dans chaque région (I et II) en donnant les solutions générales pour $E<V_0$.

3.2. A partir de la condition de continuité de la fonction d'onde et de sa dérivée en x=0, déduire les expressions des constantes d'intégration.

3.3. A la lumière des résultats obtenus dans 3.2, donner les expressions de la fonction d'onde dans les régions I et II.

3.4. Pensez-vous qu'il est possible de trouver l'électron en dehors du métal

Correction du TD N°2

Exo.1

1.1. Expression de la densité volumique des électrons (concentration)

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\frac{M}{\aleph_A} N_a}{V} = \frac{M}{\aleph_A}\frac{N_a}{V} = \frac{M}{\aleph_A} N_e$$

$$N_e = \frac{N_A \rho}{M} = \frac{6.02\ 10^{23}\ 9\ 10^3}{63.5\ 10^{-3}} = 8.5\ 10^{28} m^{-3} = 8.5\ 10^{22} cm^{-3}$$

1.2. Le temps de collision

$$\tau_c = \frac{\sigma_0\ m_e}{N_e e^2} = \frac{6\ 10^7\ 9.110^{-31}}{8.5\ 10^{28}\ (1.6\ 10^{-19})^2} = 2.5\ 10^{-15} s$$

1.3. Le libre parcours moyen

$$l = v_{th}\tau_c = 10^5\ 2.5\ 10^{-14} = 2.5\ 10^{-9} m = 2.5\ nm$$

1.4. La condition sur L pour avoir :

1.4.1 Unrégime diffusif

Pour avoir un régime diffusif, il faut que la longueur de l'échantillon soit supérieur au libre parcours moyen.

$$L \gg l\ \Rightarrow L \gg 2.5\ nm$$

1.4.1 Un régime ballistique

Pour avoir un régime ballistique, il faut que la longueur de l'échantillon soit inférieurr au libre parcours moyen.

$$L \ll l\ \Rightarrow L \ll 2.5\ nm$$

Exo.2

2.1. Calcul de ϕ_d dans le régime de forte inversion

$$\phi_d = \frac{E_g}{e} = \frac{1.15\ 1.6\ 10^{-19}}{1.6\ 10^{-19}} = 1.15\ V$$

2.2.1. La largeur de la zone de dépletion

$$Z_d = \left(\frac{2\ \varepsilon_s \phi_d}{e\ N_a}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{2\ .\ 12\ .\ 8.85\ 10^{-12}}{1.6\ 10^{-19}\ 10^{21}}\right)^{\frac{1}{2}} = 1.23\ \mu m$$

2.2.2. La concentration des charges dans la zone de depletion

$$N_{dep} = N_a\ Z_d = 10^{21}\ 1.23\ 10^{-6} = 1.23\ 10^{15}\ m^{-2} = 1.23\ 10^{11}\ cm^{-2}$$

2.3. Comparaison de Z_{inv}, $x_d$et l

On a $Z_{inv} < l < Z_d$

2.4. Conclusion

$Z_{inv} < l < Z_d$, cela veut dire que les électrons dans la zone d'inversion se comporte comme des électrons libres dans le plan de la structure et leur énergie est quantifiée selon la direction perpendiculaire z.

Exo.3

3.1. Solution de l'équation de Schrodinger

Le potentiel est donné par :

$$\begin{array}{lll} V(x) = 0 & pour \;\; x < 0 & (Région\ I) \\ V(x) = V_0 & pour \;\; x > 0 & (Région\ II) \end{array}$$

3.1.1. La solution dans la région (I)

$$\begin{cases} \dfrac{d^2\psi_I(x)}{dx^2} + k^2\psi_I(x) = 0 \\ k^2 = \dfrac{2m_e E}{\hbar^2} \end{cases}$$

dont la solution est de la forme :

$$\psi_I(x) = A\exp(ikx) + B\exp(-ikx)$$

3.1.2. La solution dans la région (II)

$$\begin{cases} \dfrac{d^2\psi_{II}(x)}{dx^2} - K^2\psi_{II}(x) = 0 \\ K^2 = \dfrac{2m_e(V_0 - E)}{\hbar^2} \end{cases}$$

dont la solution est de la forme :

$$\psi_{II}(x) = \cancel{C\exp(Kx)} + D\exp(-Kx) = D\exp(-Kx)$$

N.B. : Le premier terme est à omettre, car il ne permet pas à ψ_{II} de rester fini.

3.2. L'expression des constantes B et D en fonction de A

La continuité de la fonction d'onde en x=0 donne :

$$A+B=D$$

La continuité de la dérivé de la fonction d'onde en x=0 donne :

$$ik(A-B)=-KD$$

Ce qui donne :

$$\begin{cases} B = A\left(\dfrac{ik + K}{ik - K}\right) \\ D = A\left(\dfrac{2ik}{ik - K}\right) \end{cases}$$

3.3. Expressions de la fonction d’onde dans les régions I et II.

En injectant les expressions de B et D dans les expressions de ψ_I et ψ_{II}, on obtient :

$$\begin{cases} \psi_I(x) = \dfrac{2iA}{ik - K}(k\cos(kx) - Ksin(kx)) \\ \psi_{II}(x) = \dfrac{2ikA}{ik - K}\ exp - (Kx) \end{cases}$$

3.4. Est- il est possible de trouver l'électron en dehors du métal ?

La fonction d'onde en dehors du métal n'est pas nulle, donc la probabilité de trouver l'électron en dehors du métal est non nul, mais elle décroît exponentiellement à mesure qu'on s'éloigne de la surface.

En effet :

$$P_{II}(x) = |\psi_{II}(x)|^2 = \frac{4k^2A^2}{k^2 + K}\ exp - 2(Kx)$$

PII(x) $\rightarrow$ 0 quand x$\rightarrow \infty$, mais a une valeur finie au voisinage de la surface (x$\rightarrow$0).