Université de Biskra
Département des Sciences de la Matière

Faculté des Sciences Exactes et SNV

1 MASTER- Caractérisation des Semi-conducteurs

TD 03 : Caractéristique I(V)

Problème N 01:

On dispose d'une diode semi-conductrice dont on ignore tout, sauf qu'elle est de type PN^{++}. On supposera donc que $N_a << N_d$. Le schéma de principe d'une telle diode est rappelé en figure 1.

- Z.C.E est la zone de charge d'espace, vide de porteurs.
- V_j représente la différence de potentiel au niveau de la jonction idéale.
- V_d représente la différence de potentiel aux bornes de la jonction réelle sachant que l'on prend en compte la résistivité des zones P et N^{++}.

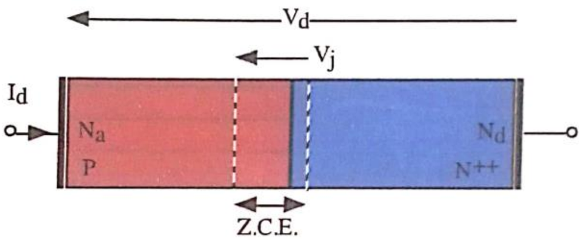


Figure 1

On rappelle les lois suivantes :

$$I_d = I_s\left[\exp(\frac{V_j}{U_T})-1\right] \ (1) \text{ avec : } U_T = \frac{kT}{q} \text{ et } V_d = V_j + R_s I_d \quad (2)$$

- I_d est le courant circulant dans la diode
- I_s le courant inverse de saturation
- R_s la résistance série correspondant aux zones dopées N^{++} et P de part et d'autre de la zone de charge d'espace.

On tiendra compte aussi de la variation du courant inverse de saturation I_s en fonction de la température :

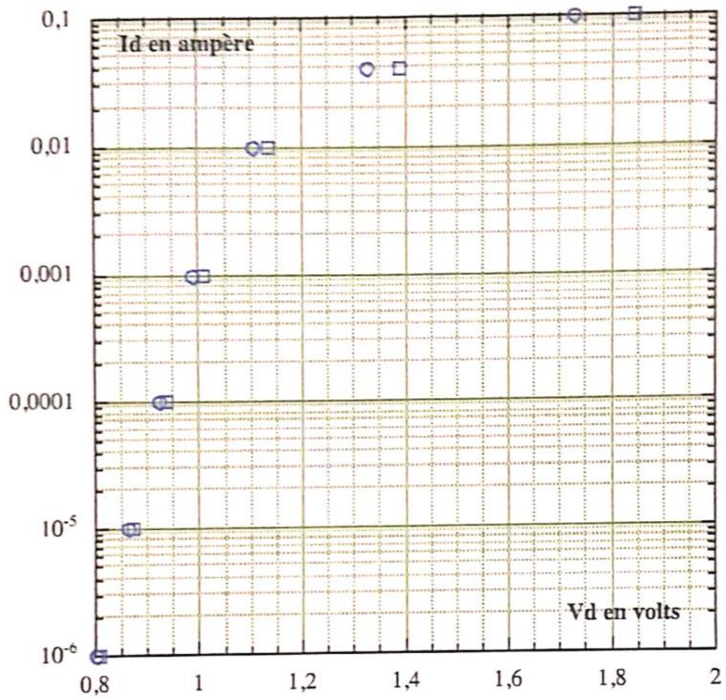
$$I_s = A\,T^3 \exp(-\frac{E_g}{k\,T}) \quad (3)$$ où E_g représente la hauteur de bande interdite

Pour déterminer les caractéristiques physiques de la diode, on a effectué la mesure de l'évolution du courant I_d en fonction de la tension V_d pour deux températures :

- $T_0 = 300$ °K où $kT_0 = 0.026$ eV
- $T_1 = 330$ °K où $kT_1 = 0.028$ eV

Id	1 µA	10 µA	100µA	1mA	10mA	40 mA	100mA
V_d (T_0) en V	0.800	0.860	0.920	0.986	1.103	1.326	1.725
V_d (T_1) en V	0.808	0.873	0.937	1.009	1.137	1.390	1.844

Les graphes du courant I_d dans la diode en fonction de la tension V_d pour les deux températures T_0 et T_1 sont donnés en figure 2.



1) A partir de quelle valeur du courant I_d, l'effet de la résistance série R_S est-elle prépondérante sur la tension V_j ?

2) En se plaçant à courant de diode très faible où l'effet de la résistance R_S est négligeable, calculer la valeur du courant inverse de saturation I_S pour les deux températures T_0 et T_1.

On se propose de déterminer le type de semi-conducteur dans lequel est réalisée la diode. Pour cela, on va déterminer une relation liant la variation relative du courant I_S avec la variation relative de la température.

3) Dans ces conditions, on suivra les étapes de calcul suivantes :

a) Calculer l'expression de la dérivée du courant I_S par rapport à la température soit : $\frac{dIs}{dT}$

b) En déduire ensuite la relation suivante :

$$\left[\frac{dI_s}{I_s}\right]_{T0} = \left(3+\frac{E_g}{k\,T_0}\right)\frac{dT}{T_0}$$

c) En remplaçant dI_S et dT par ΔI_s et ΔT, déterminer la valeur de la hauteur de bande interdite Eg et en déduire le type de semi-conducteur utilisé dans ce dispositif en utilisant les données suivantes pour la température T_0 = 300 °K.

T = 300 K	**Si**	Ge	GaAS
Eg (eV)	1.12	0.67	1.4
μ_n (V^{-1} cm^{-2} s^{-1})	1450	3800	6000
μ_p (V^{-1} cm^{-2} s^{-1})	450	1700	400

On se propose de déterminer les mobilités de ce semi-conducteur à la température T_1 .

4) Déterminer l'expression de la résistance série R_S en fonction de V_d, I_d, I_s et U_T. Calculer la résistance série de la diode pour I_d = 100 mA et ceci pour T_0 et T_1.

5) Sachant que la diode est de type PN^{++}, quelle est la zone P ou N^{++} qui est la plus résistive ?

6) En négligeant la contribution de la zone dopée la moins résistive, on peut alors écrire la relation habituelle : $R_s = \frac{1}{qp\mu_p}\frac{L}{S}$. Exprimer alors : $\frac{dR_s}{R_s}$ en fonction de $\frac{d\mu_p}{\mu_p}$.

7) La mobilité des trous est fonction de la température selon la loi : $\mu_p(T) = \mu_{p_0}\left[\frac{T}{T_0}\right]^{-\alpha}$ où μ_{p0} représente la mobilité à la température T_0 = 300 K.
Dans ces conditions, exprimer la relation liant ($d\mu_p/\mu_p$) en fonction de (dT/T).

8) En déduire l'expression du coefficient α et faire l'application numérique.
Calculer alors la mobilité des trous à T_1 = 330 K, dans le matériau semi-conducteur utilisé.

Problème N 2 :

Problème N 2 :

La relation courant tension d'une diode se met sous la forme : $I = I_S\left[\exp(\frac{kV}{kT}) - 1\right]$ *où I_S est le courant inverse. En première approximation, on suppose que le courant I_S est dû uniquement aux porteurs minoritaires des régions N et P.*

Dans ce cas, on montre que le courant I_S se met sous la forme : $I_S = K\,n_i^2$

où K est une constante indépendante de la température.

On rappelle que : $n_i^2 = AT^3 \exp(-\frac{qE_g}{kT})$

Où A est une constante indépendante de la température, E_g est la bande interdite du Si exprimé en eV et supposée indépendante de la température, k = 1,38.10^{-23} JK^{-1} est la constante de Boltzman et T la température en Kelvin.

5. Montrer que $\frac{dI_S}{dT}$ peut se mettre, pour une température T_1 quelconque, sous la forme :

$$\left.\frac{dI_S}{dT}\right|_{T_1} = I_S(T_1)B(T_1)$$

Où I_S (T_1) désigne le courant inverse à la température T_1.

6. Calculer B (T) pour T_1 = 300K, on rappelle que E_g = 1,12 eV.

7. On veut déterminer la température T_2 telle que I_S (T_2) = 2I_S (300K), on suppose que T_2 est suffisamment proche de T_1 = 300K pour considérer que la courbe I_S (T) est une droite.
   - Exprimer dans ces conditions ΔI_S en fonction de ΔT, I_S (T_1) et B (T_1).
   - En déduire la valeur de T_2.

8. La diode est maintenant utilisée comme capteur de température, à cet effet elle est insérée dans le montage de la figure 3. Sachant que I_S (300k) = 2,5 pA, donner les valeurs de la tension V_R à 300K et à la température T_2 trouvée précédemment, on donne R = 18 MΩ.

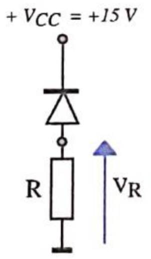


Figure 3

FACTEUR D'IDEALITE DE LA DIODE

En pratique, la relation courant tension $I = I_S\left[\exp(\frac{kV}{kT}) - 1\right]$ *n'est pas bien vérifiée, car il faut prendre en compte :*

- *La génération - recombinaison des porteurs dans la zone de charge d'espace (courant 2 de la figure 4)*
- *L'effet de la résistance série R_S de la diode*

La figure 4 montre le cas d'une jonction polarisée en inverse. Au courant I_S des porteurs minoritaires (courant (1)), il faut ajouter celui qui est dû à la génération – recombinaison (2).

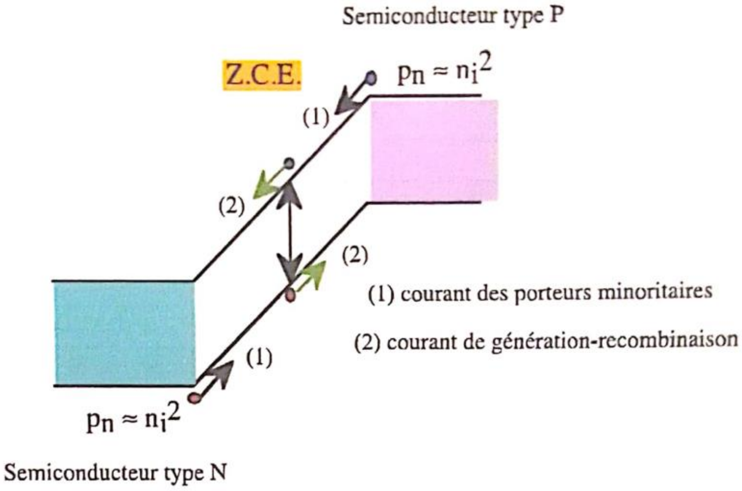


Figure 4

La prise en compte du courant de génération – recombinaison et de la résistance série modifie la relation courant – tension qui se met alors sous la forme :

$$I = I_{Sr}\left[\exp\left(\frac{q(V - R_S I)}{nkT}\right) - 1\right]$$

où n est le facteur d'idéalité compris entre 1 et 2.
On se propose de déterminer n en réalisant des mesures courant – tension dans le sens direct. Dans ce cas, la relation précédente peut être approximée selon :

$$I = I_{Sr}\exp\left(\frac{q(V - R_S I)}{nkT}\right)$$

Sur la figure 5 on a reporté log (I) en fonction de la tension V à 300K.

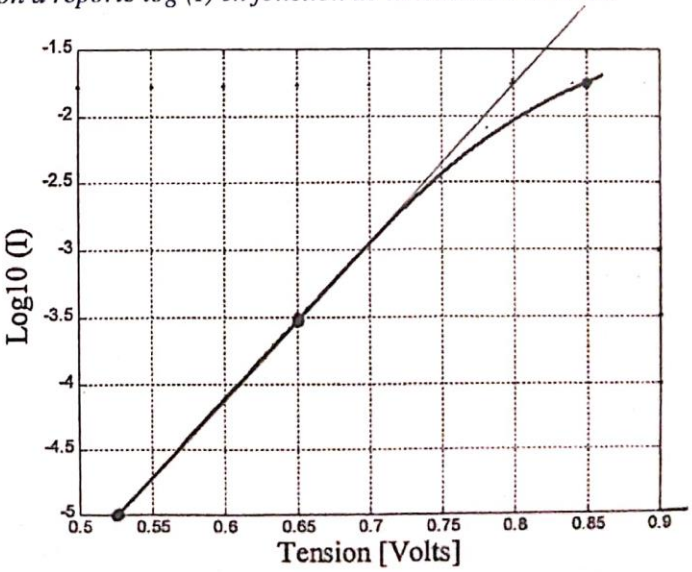


Figure 5

9. Dans le cas où $R_S I << V$, c'est-à-dire pour les faibles valeurs de V, calculer $\frac{d\ln(I)}{dV}$ et en déduire l'expression littérale de n.

10. A partir du graphe de la figure 5, déterminer la valeur de n.

11. Déterminer la valeur du courant I_{sr}.

12. L'effet de la résistance R_S se fait sentir pour les fortes valeurs de la tension V, en déduire à partir du graphe de la figure 5, la valeur de R_S.