[1]EXPLOITATION DE LA CARACTERISTIQUE C = F (V) D'UNE DIODE EN INVERSE

La mesure de la capacité d'une diode P^+N en matériau semi-conducteur homogène G_aA_s en fonction de la tension inverse appliquée a donné les résultats suivants :

Va (Volts)	- 4	- 3	- 2	- 1	0
C (pF)	59	67	76	92	127

Cette mesure permet de déterminer les caractéristiques physiques de la diode à savoir :

- La concentration d'atomes donneurs N_d dans la région N.
- La valeur du potentiel de diffusion interne de la jonction $V\phi$.

La diode possède les caractéristiques suivantes :

- Section S = 1 mm^2
- Hauteur de la bande interdite du G_aA_s : E_g = 1,42 eV à 300 K
- Constante de Boltzmann k = 1,38 x 10^{-23} J/K
- Charge de l'électron e = 1.6 x 10^{-19} C
- Perméabilité du vide ε_o = 8,85 x 10^{-12} F/m
- Perméabilité relative $\varepsilon_r(G_aA_s)$ = 13,1.

1. Pour obtenir une représentation linéaire de la variation de la capacité de la jonction P^+N en fonction de la valeur absolue de la tension inverse $|V_a|$ appliquée, on représente en figure1 le graphe de $1/C^2$ en fonction de $|V_a|$ qui est une équation de la forme :

$$\frac{1}{C^2} = a \mid V_a \mid + b \qquad \text{(E-1)}$$

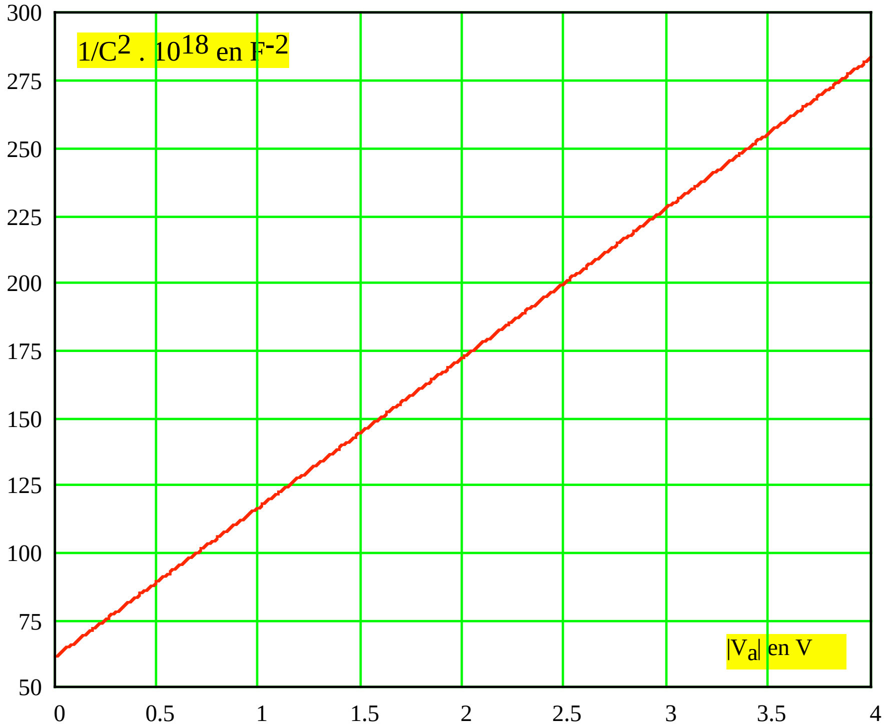

Figure 1 : Graphe de $1/C^2$ en fonction de $|V_a|$.

[1]Philippe ROUX © 2006 http://rouxphi3.perso.cegetel.net

A partir du graphe donné en figure 1, calculer le coefficient directeur a et l'ordonnée à l'origine b de l'équation E-1.

2. Les régions neutres côté N et côté P^+ (non-dépeuplées de porteurs libres) sont considérées comme faiblement ohmiques. Aussi la zone de charge d'espace (Z.C.E.) est **assimilée à la capacité mesurée C,** qui est due à la présence d'ions fixes situés de part et d'autre de la jonction (figure 2).

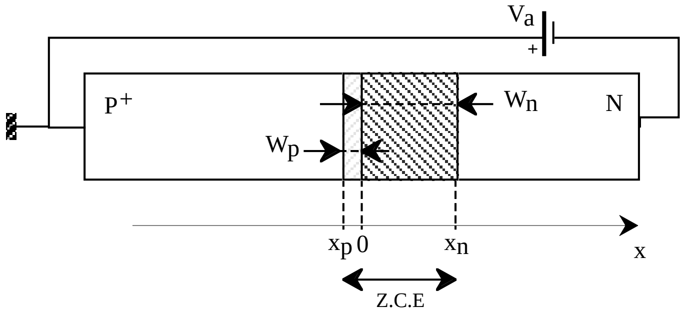

Figure 2 : La capacité de transition de la diode bloquée.

Justifier qualitativement l'approximation : $C_T = \dfrac{\varepsilon\ S}{W_n + W_p} \approx \dfrac{\varepsilon\ S}{W_n}$ (E-2)

avec : W_p = largeur de la zone de charge d'espace côté P^+.
W_n = largeur de la zone de charge d'espace côté N.
ε = permittivité du GaAs soit : $\varepsilon_o \varepsilon_r$.`

3. La diode polarisée en inverse est le siège d'une barrière de potentiel V (N) -V (P^+) qui s'établit dans la Z.C.E. On se propose de déterminer l'expression de cette barrière de potentiel. Pour cela, on va résoudre l'équation de Poisson (E-3) dans la zone de charge d'espace :

$$\frac{d^2V(x)}{dx^2} = -\frac{\rho(x)}{\varepsilon} \qquad \text{(E-3)}$$

Où $\rho(x)$ représente la densité de charges dans la Z.C.E. Justifier qualitativement que :
$\rho(x) = 0$ pour $x < x_p$ et $x > x_n$
$\rho(x) = -e.N_a$ pour $x_p < x < 0$
$\rho(x) = e.N_d$ pour $0 < x < x_n$.

4. En séparant l'étude côté P et côté N et en intégrant deux fois l'équation de Poisson (E-3), déterminer les expressions des potentiels $V_P(x)$ et $V_N(x)$.

5. En considérant que l'on a continuité du potentiel à la jonction métallurgique, en x = 0, soit : $V_P(0) = V_N(0)$, écrire la relation reliant V_ϕ, $|V_a|$, N_a, N_d, W_p et W_n.

6. A partir de la relation précédente et en écrivant que $N_aW_p = N_dW_n$, traduisant la même quantité de charges fixes de part et d'autre de la jonction, montrer que :

$$\frac{e}{2\varepsilon} N_d (W_n)^2 = V\phi + |Va|$$

7. A partir de l'expression (E-2) de C_T, montrer que : $\dfrac{1}{C_T^2} = \dfrac{2}{e.N_d.\varepsilon.S^2}[V\phi + |V_a|]$.

8. Compte tenu des valeurs trouvées pour les coefficients a et b, puis en identifiant avec la relation (E-1), en déduire les valeurs de $V\phi$ et N_d de la jonction.

CORRECTION

1. On exploite par exemple les deux points suivants du graphe.

|VA|	$1/C^2$
2,5 V	200.10^{18} F^{-2}
0,7 V	100.10^{18} F^{-2}

On en déduit : a = 55,5 10^{18} F^{-2} et b = 61,1 10^{18} F^{-2}.

2. L'expression $C_T = \dfrac{\varepsilon\ S}{W_n + W_p} \approx \dfrac{\varepsilon\ S}{W_n}$ est celle d'une capacité due à la zone de charge d'espace qui s'étend toujours du côté le moins dopé. La diode considérée est de type P^+N ce qui veut dire que la zone P est fortement dopée. On a alors : $W_p << W_n$, aussi seule la zone N est prise en considération pour l'expression de la capacité C_T.

3. Seule la zone de charge d'espace d'épaisseur (W_n+W_p) est le siège de charges fixes, à savoir :
   - Les ions négatifs de Gallium pour le semi-conducteur P^+ formant une charge ($-e.N_a$).
   - Les ions positifs d'Arsenic pour le semi-conducteur N formant une charge ($e.N_d$).

4. Résolution de l'équation de Poisson : $\dfrac{d^2V(x)}{dx^2} = -\dfrac{\rho(x)}{\varepsilon}$ pour déterminer le potentiel V (x).

   - Cas de la zone P^+ où ρ (x) = $-e.N_a$.

$$\frac{d^2V_P(x)}{dx^2} = \frac{eN_a}{\varepsilon} \ \text{->}\ \frac{dV_P(x)}{dx} = \frac{eN_a}{\varepsilon}x + K_1$$

Sachant que : $\dfrac{dV_P(-W_p)}{dx} = 0$, on obtient : $K_1 = \dfrac{eN_a}{\varepsilon}W_p$.

$$\boxed{\frac{dV_P(x)}{dx} = \frac{eN_a}{\varepsilon}(x + W_p)}$$

On intègre à nouveau : $V_P(x) = \dfrac{eN_a}{\varepsilon}(\dfrac{x^2}{2} + W_p x) + K_2$

Ce potentiel est nul pour x = - W_p.

$$\boxed{V_P(x) = \frac{eN_a}{2\varepsilon}(x + W_p)^2}$$

   - Cas de la zone N où ρ (x) = $e.N_d$.

$$\frac{d^2V_N(x)}{dx^2} = -\frac{eN_d}{\varepsilon} \ \text{->}\ \frac{dV_N(x)}{dx} = -\frac{eN_d}{\varepsilon}x + K_3$$

Sachant que : $\dfrac{dV_N(x)}{dx} = 0$ pour x = W_n, on obtient : $K_3 = \dfrac{eN_d}{\varepsilon}W_n$.

$$\boxed{\frac{dV_N(x)}{dx} = \frac{eN_d}{\varepsilon}(W_n - x)}$$

On intègre à nouveau : $V_N(x) = -\frac{eN_d}{\varepsilon}(W_n x - \frac{x^2}{2}) + K_4$

Ce potentiel prend la valeur $V_\Phi + |V_a|$ pour x = W_n.

$$\boxed{V_N(x) = -\frac{eN_d}{2\varepsilon}(x - W_n)^2 + V_\Phi + |V_a|}$$

5. Avec la continuité du potentiel à la jonction en x = 0, on obtient : $V_N(0) = V_P(0)$ soit :

$$\boxed{V_\Phi + |V_a| = \frac{e}{2\varepsilon}(N_a W_p^2 + N_d W_n^2)}$$

6. La même quantité de charges fixes se situent de part et d'autre de la Z.C.E., ce qui se traduit par la relation : $N_a W_p = N_d W_n$. On peut écrire la relation de la question précédente sous la forme : $V_\Phi + |V_a| = \frac{e}{2\varepsilon}(N_a W_p W_p + N_d W_n W_n)$

   $V_\Phi + |V_a| = \frac{e}{2\varepsilon} N_d W_n (W_p + W_n)$ où $W_n >> W_p$

$$\boxed{V_\Phi + |V_a| = \frac{e}{2\varepsilon} N_d W_n^2}$$

7. On rappelle que : $C_T \approx \frac{\varepsilon\ S}{W_n}$ soit : $\frac{1}{C_T^2} \approx \frac{W_n^2}{(\varepsilon S)^2}$

   Sachant que : $\frac{V_\Phi + |V_a|}{\frac{e}{2\varepsilon} N_d} = W_n^2$, il vient : $\boxed{\frac{1}{C_T^2} \approx \frac{2}{eN_d \varepsilon S^2}(V_\Phi + |V_a|)}$

8. La relation précédente est de la forme : $\frac{1}{C^2} = a\ |V_a| + b$

   Par comparaison, on obtient :

$$\boxed{a = \frac{2}{eN_d \varepsilon S^2} \qquad b = aV_\Phi}$$

   Application numérique : $N_d = 1{,}94\ 10^{21}$ at./m^3 et $V_\Phi = 1{,}10$ V.