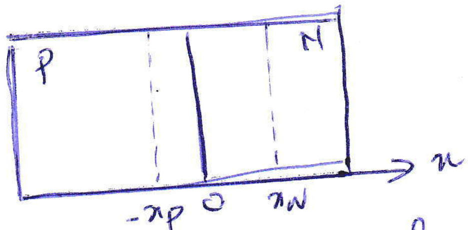
- Prof. HOBAR Farida le 15/05/2025

Corrigé du contrôle de Physique des semiconducteurs L3.

Exercice N°1 : 10 points

$$\frac{d^2V}{dx^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon_0 \varepsilon_r}$$ on pose $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r \Rightarrow \frac{d^2V}{dx^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon}$



(1)
$$\frac{d^2V}{dx^2} = \begin{cases} q\frac{N_A}{\varepsilon} & \text{pour } -x_p \leq x \leq 0 \\ -\frac{qN_D}{\varepsilon} & \text{pour } 0 \leq x \leq x_N \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases}$$

- Répartition du champ : on intègre l'équation de Poisson

(1)
$$\frac{dV}{dx} = \begin{cases} q\frac{N_A}{\varepsilon}x + C_1 & -x_p \leq x \leq 0 \\ -\frac{qN_D}{\varepsilon}x + C_2 & 0 \leq x \leq x_N \\ C_3 & \text{ailleurs} \end{cases}$$

le champ dérive d'un potentiel $\Rightarrow \vec{\mathcal{E}} = -\overrightarrow{\text{grad}}\, V$

(1)
$$\mathcal{E}(x) = \begin{cases} -\left(\frac{qN_A}{\varepsilon}x + C_1\right) & / -x_p \leq x \leq 0 \\ \frac{qN_D}{\varepsilon} - C_2 & / 0 \leq x \leq x_N \\ -C_3 & / \text{ailleurs} \end{cases}$$

(0,5) pour calculer les constantes d'intégration on pose les conditions aux limites et qui se résument au fait que le champ est nul en dehors de la ZCE
$\mathcal{E}(x) = 0$ pour $x \leq -x_p$ ou $x \geq x_N$
Ce qui donne

(0,5)
$$\mathcal{E}(x) = \begin{cases} -\frac{qN_A}{\varepsilon}(x + x_p) & -x_p \leq x < 0 \\ q\frac{N_D}{\varepsilon}(x - x_N) & x_N \leq x \leq 0 \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases}$$

continuité du champ électrique $\mathcal{E}_{(N)}(x=0) = \mathcal{E}_{(P)}(x=$

(0,5)
$$\Rightarrow \mathcal{E}_{max} = -\frac{qN_A}{\varepsilon}x_p = -\frac{qN_D}{\varepsilon}x_N$$
$$\Rightarrow \boxed{N_A x_p = N_D x_N}$$

- Répartition du potentiel

0,5 $\frac{dV}{dx} = \begin{cases} \frac{qN_A}{\varepsilon}(x+x_p) & -x_p \le x \le 0 \\ -\frac{qN_D}{\varepsilon}(x-x_N) & 0 \le x \le x_N \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases}$

1 $V(x) = \begin{cases} \frac{qN_A}{2\varepsilon}(x+x_p)^2 + K_1 & -x_p \le x \le 0 \\ -\frac{qN_D}{2\varepsilon}(x-x_N) + K_2 & 0 \le x \le x_N \\ K_3 & \text{ailleurs} \end{cases}$

Conditions aux limites :

0,5 le champ étant nul en dehors de la Z.CE, le potentiel est constant $\Rightarrow$ $V(x) = V_N$ pour $x \geq x_N$
et $V(x) = V_p$ " $x \le -x_p$.

Ce qui donne

$V(x) = \begin{cases} \frac{qN_A}{2\varepsilon}(x+x_p)^2 + V_p & \text{pour } -x_p \le x \le 0 \\ -\frac{qN_D}{2\varepsilon}(x-x_N)^2 + V_N & \text{pour } 0 \le x \le x_N \\ V_N & \text{pour } x \geq x_N \\ V_p & \text{pour } x \le -x_p \end{cases}$

1

Continuité pour potentiel

0,5 $\underset{(N)}{V(0)} = \underset{(P)}{V(0)} \Rightarrow \frac{qN_A}{2\varepsilon}x_p^2 + V_p = \frac{-qN_D}{2\varepsilon}x_N^2 + V_N$

$\Rightarrow V_N - V_p = V_D = \frac{qN_A}{2\varepsilon}x_p^2 + \frac{qN_D}{2\varepsilon}x_N^2$

Épaisseur de la ZCE

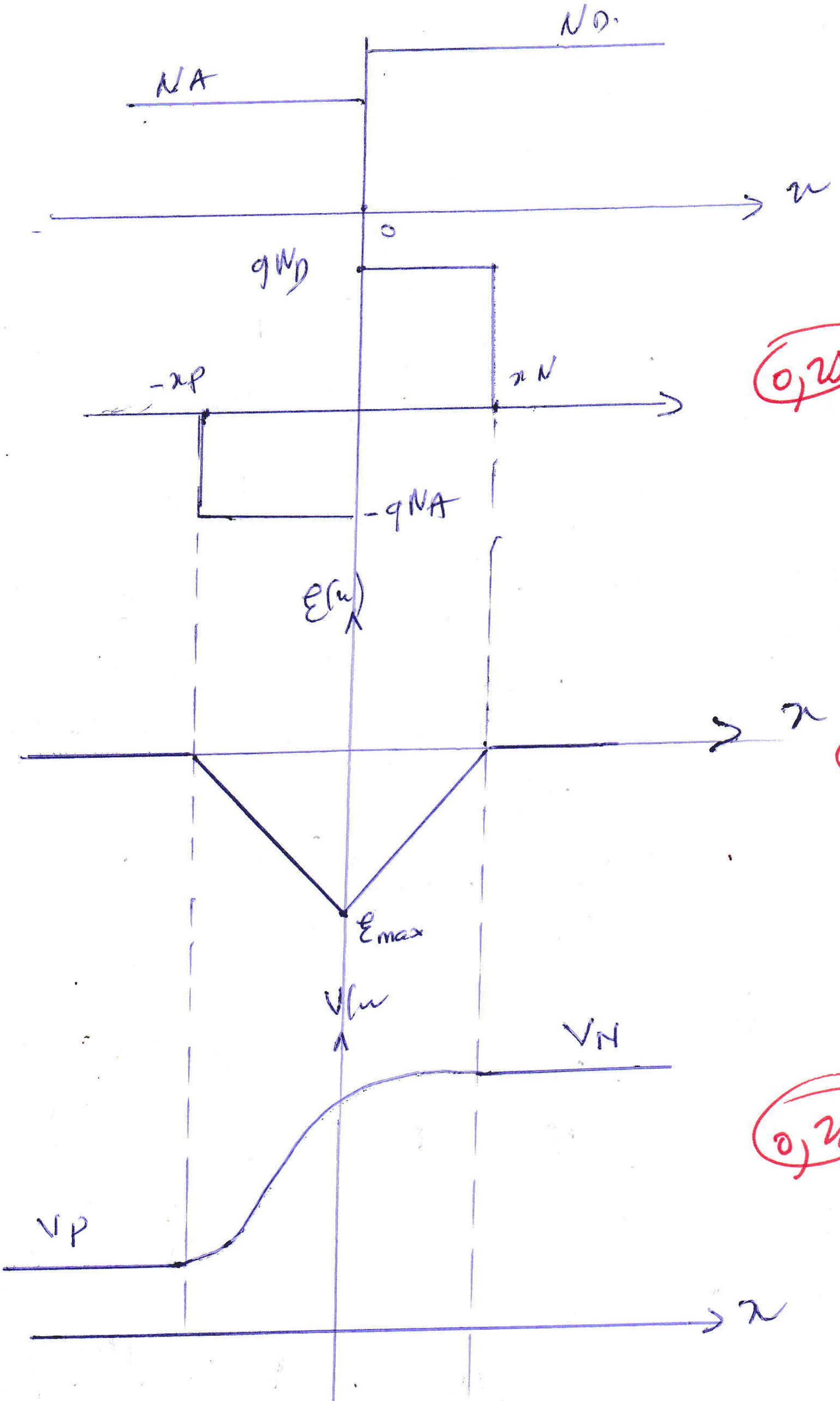
on a : $\frac{qN_A}{2\varepsilon}x_p^2 + \frac{qN_D}{2\varepsilon}x_N^2 = V_D$

~~0,5~~ et $N_A x_p = N_D x_N$

ce qui donne :

$x_N = \sqrt{\frac{2\varepsilon}{q}} \sqrt{\frac{N_A V_D}{N_D(N_A+N_D)}}$ 0,5

$x_p = \sqrt{\frac{2\varepsilon}{q}} \sqrt{\frac{N_D V_D}{N_A(N_A+N_D)}}$ 0,5



0,25

0,25

0,25

Exercice N° 2 4

jonction PN où $N_A = 15/cm^3$ et $N_D = 10^{16}/cm^3$.

1°/ $V_D = U_T \ln\left(\frac{N_A N_D}{n_i^2}\right)$ 0,5

$V_D = 26\,10^{-3} \ln\left(\frac{10^{15} \cdot 10^{16}}{2,25\,10^{20}}\right)$

$\boxed{V_D = 0,638\,V}$ 0,5

2°/ Calcul de x_N et x_p.

$x_N = \sqrt{\frac{2\varepsilon}{q} \frac{N_A \quad V_D}{N_D(N_A+N_D)}}$

$x_N = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,04\,10^{-12} \cdot 10^{16} \cdot 0,6}{1,6\,10^{-19} \cdot 10^{16} \times 1,1 \cdot 10}}$

$x_p = \sqrt{\frac{2\varepsilon}{q} \frac{N_D \cdot V_D}{N_A(N_A+N_D)}}$

$x_p = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,04\,10^{-12} \cdot 10^{16} \times 0,63}{1,6\,10^{-19} \cdot 10^{15} \times 1,1\,10^{16}}}$

$x_N = 0,087\,\mu m$. 0,5

$x_p = 0,87\,\mu m$ 0,5

3°/ $V_R = 10\,V$.

on calcul les nouvelles valeurs de x_N et x_p

$x'_p = 0,87 \cdot \sqrt{\frac{10,638}{0,638}}$

$x'_p = 3,5\,\mu m$ 0,5

$x'_N = 0,087 \cdot \sqrt{\frac{10,638}{0,638}}$

$x'_N = 0,35\,\mu m$. 0,5

$|\mathcal{E}_{max}| = \frac{q N_A}{\varepsilon} x'_p = \frac{q N_D}{\varepsilon} x'_N$ 0,5

$|\mathcal{E}_{max}| = \frac{1,6\,10^{-19} \cdot 10^{15}}{1,02\,10^{-12}} \cdot 3,5\,10^{-4}$

$|\mathcal{E}_{max}| = 5,4\,10^4\,V/cm$ 0,5

Exercice N° 3 (3,5)

La capacité d'une jonction PN est

$$C_J = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r}{x_N + x_P}$$ (0,5)

Pour une jonction polarisée avec une tension V_R

$$x_N = \sqrt{\frac{2\varepsilon}{q} \frac{N_A (V_D + V_R)}{N_D (N_A + N_D)}}$$ (0,5)

$$x_P = \sqrt{\frac{2\varepsilon}{q} \frac{N_D (V_D + V_R)}{N_A (N_A + N_D)}}$$ (0,5)

$$C_J = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r}{\sqrt{\frac{2\varepsilon}{q} \frac{N_A (V_D + V_R)}{N_D (N_A + N_D)}} + \sqrt{\frac{2\varepsilon}{q} \frac{N_A (V_D + V_R)}{N_A (N_A + N_D)}}}$$ (0,5)

$$C_J = \sqrt{\frac{q\varepsilon}{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{N_A (V_D + V_R)}{N_D (N_A + N_D)}} + \sqrt{\frac{N_D (V_D + V_R)}{N_A (N_A + N_D)}}}$$

pour $V_R = 0$

$$C_{J0} = \sqrt{\frac{q\varepsilon}{2}} \frac{1}{\sqrt{\frac{N_A}{N_D} \frac{V_D}{(N_A + N_D)}} + \sqrt{\frac{N_A V_D}{N_D (N_A + N_D)}}}$$

1

Si on fait le rapport des 2 équations on obtient

$$C_J = C_{J0} \left[1 + \frac{V_R}{V_D}\right]^{-1/2}.$$ (0,5)

Exercice N° 4 : Calcul de la tension d'avalanche (2,5)

On a :

$$\mathcal{E}_{max} = \frac{q N_A}{\varepsilon} x_p = \frac{q N_D}{\varepsilon} x_N$$

en remplaçant x_N ou x_p par leur expression on a

$$\mathcal{E}_{max} = \frac{q}{\varepsilon} N_A \cdot \sqrt{\frac{2\varepsilon}{q} \frac{N_D (V_D + V_R)}{N_A (N_A + N_D)}}$$ (0,5)

$$\mathcal{E}_{max} = \sqrt{\frac{2\varepsilon}{q} \frac{q^2}{\varepsilon^2} \frac{N_A^2 N_D (V_D + V_R)}{N_A (N_A + N_D)}}$$

$$\mathcal{E}_{max} = \sqrt{\frac{2q}{\varepsilon} \frac{N_A N_D}{N_A + N_D} \cdot (V_D + V_R)}$$ (0,5)

lorsqu'on atteint l'avalanche $\mathcal{E}_{max} = \mathcal{E}_{crit}$

$$\mathcal{E}_{crit} = \sqrt{\frac{2q}{\varepsilon} \frac{N_A N_D}{N_A + N_D} (V_D + V_{BV})}$$

$$\mathcal{E}_{crit}^2 = \frac{2q}{\varepsilon} \frac{N_A N_D}{N_A + N_D} (V_D + V_{BV})$$ (0,5)

$$\Rightarrow V_{BV} = \frac{\varepsilon}{2q} \cdot \frac{(N_A + N_D)}{N_A N_D} - V_D.$$ (0,5)

$$V_{BV} = \frac{1{,}04\ 10^{-12}}{2 \cdot \times 1{,}6\ 10^{-19}} \cdot \frac{1{,}1\ 10^{16}}{10^{15} \cdot 10^{16}} - 0{,}638$$

$$\boxed{V_{BV} = 312{,}11\,V}$$ (0,5)