① - Electronique.

ule : Physique des semi Conducteurs.

14/01/2017.

Ex01 :

1) SC intrinsèque $\Rightarrow n = p = ni \Rightarrow Nc \exp \frac{E_{F_I} - Ec}{K_B T} = Nv \exp \frac{Ev - E_{F_I}}{K_B T}$

$$\Rightarrow E_{F_I} = \frac{Ev + Ec}{2} - \frac{K_B T}{2} \ln \frac{Nc}{Nv}$$

Nc, Nv sont assez proches, donc le Terme $\frac{K_B T}{2} \ln \frac{Nc}{Nv}$ est faible par rappat a $\frac{Ev + Ec}{2}$ $\Rightarrow$ $E_{FI} \simeq \frac{Ev + Ec}{2}$

2) * $n = Nc \exp\left(\frac{EF - Ec}{K_B T}\right) \simeq N_D$ (SC type N)

$$n = Nc \exp\left(\frac{EF - Ec + EFi - EFi}{K_B T}\right) \Rightarrow n = \underbrace{Nc \exp\left(\frac{EFi - Ec}{K_B T}\right)}_{ni} \cdot \exp\left(\frac{EF - EFi}{K_B T}\right)$$

$$\boxed{n = ni \exp\left(\frac{EF - EFi}{K_B T}\right)} \Rightarrow \boxed{E_F - EFi = K_B T \ln\left(\frac{n}{ni}\right)}$$

$$*p = Nv \exp\left(\frac{Ev - EF}{K_B T}\right) = N_A \Rightarrow p = Nv \exp\left(\frac{Ev - EF + EFi - EFi}{K_B T}\right)$$

$$\Rightarrow p = \underbrace{Nv \exp\left(\frac{Ev - EFi}{K_B T}\right)}_{ni} \cdot \exp\left(\frac{EFi - EF}{K_B T}\right) \Rightarrow p = ni \exp\left(\frac{EFi - EF}{K_B T}\right)$$

$$\Rightarrow \boxed{EFi - EF = K_B T \ln \frac{p}{ni}}$$

3) a) $\rightarrow f(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - EF}{K_B T}\right)}$; $E = 6,5$ eV $\Rightarrow f(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{6,5 - 6,25}{26 \cdot 10^{-3}}\right)}$

$$\boxed{f(E) = 6,44 \cdot 10^{-5}}$$

b) $T = 950°K \Rightarrow K_B T = ?$

$$\left.\begin{array}{l} K_B T = 26 \cdot 10^{-3} \longrightarrow 300 K° \\ x \longleftarrow 950 K° \end{array}\right\} \Rightarrow K_B T = \frac{950}{300} \cdot 26 \cdot 10^{-3}$$

$$\boxed{K_B T = 82,01 \cdot 10^{-3} \text{ eV}}$$

$$\Rightarrow \boxed{f(E) = 0,047 = 4,7\%}$$

c/ : $E = 0{,}3$ en bas de E_F est vide de 1 %. => $E - E_F = -0{,}3$ et $f(E) = 0{,}99$

vide 1 % => occupé à 99 %.

$$f(E) = 0{,}99 = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{-0{,}3}{K_B T}\right)} \Rightarrow 0{,}99 + 0{,}99 \cdot \exp\left(\frac{-0{,}3}{K_B T}\right) = 1$$

$$\Rightarrow \exp\left(\frac{-0{,}3}{K_B T}\right) = 0{,}01 \Rightarrow \ln 0{,}01 = \frac{-0{,}3}{K_B T} \Rightarrow K_B T = \frac{0{,}3}{4{,}605}$$

$$\Rightarrow \boxed{T = 757{,}57\,K°}$$

exo2 :

1/ La jonction PN est la mise en commun de deux matériaux SC ayant des propriétés électriques différentes. la plus simple est la jonction abrupte

2/ quand une jonction PN est formée, les niveaux de Fermi s'allignent, et il y a donc courbure de bande d'Energie pour assurer leurs continuité et l'apparition d'une barrière de Potentiel interne appelée : Tension de Diffusion.

3/ : $\overline{n_n} = N_c \exp\left[\frac{E_F - E_{CN}}{K_B T}\right] \longrightarrow (1)$; $\overline{n_p} = N_c \exp\left[\frac{E_F - E_{cp}}{K_B T}\right] \longrightarrow (2)$

$\boxed{E_{pN} = E_{cp} - E_{CN}}$; (1) et (2) donnent : $\ln\frac{\overline{n_n}}{N_c} = \left(\frac{E_F - E_{CN}}{K_B T}\right) \longrightarrow (1\,bis)$ et

$$\ln\frac{\overline{n_p}}{N_c} = \frac{E_F - E_{cp}}{K_B T} \longrightarrow (2\,bis)$$

(1 bis – 2 bis) donne : $\boxed{E_{pN} = K_B T \ln\frac{\overline{n_n}}{\overline{n_p}}}$; $\boxed{V_{pN} = \frac{E_{pN}}{q}}$

$\overline{n_n} = N_D$; $\overline{n_p} = \frac{n_i^2}{N_A}$ $\Rightarrow$ $\boxed{V_D = U_T \ln\left(\frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2}\right)}$; $\boxed{U_T = \frac{K_B T}{q}}$

4/ : $\boxed{\frac{d^2 V}{dx^2} = \frac{-\rho}{\varepsilon}}$ $\Rightarrow$
$$\begin{cases} \frac{d^2 V}{dx^2} = \frac{q N_D}{\varepsilon} \,; & -x_p \leq x \leq 0 \\ \frac{d^2 V}{dx^2} = \frac{-q N_D}{\varepsilon} \,; & 0 \leq x \leq x_N \end{cases}$$

* le champ $E(x)$: Pour une 1ère intégration.

$$E(x) = \begin{cases} -\frac{dV}{dx} = -\left(\frac{q N_A}{\varepsilon} x + C_1\right) \,; & -x_p \leq x \leq 0 \\ -\frac{dV}{dx} = -\left(\frac{-q N_D}{\varepsilon} x + C_2\right) \,; & 0 \leq x \leq x_N \end{cases} \longrightarrow (*)$$

Pour calculer les constantes, on applique les conditions aux limites :

$$E(-x_p) = E(x_N) = 0 \Rightarrow E(x) = \begin{cases} \frac{-q N_A}{\varepsilon}(x + x_p) \,; & -x_p \leq x \leq 0 \\ \frac{q N_D}{\varepsilon}(x - x_N) \,; & 0 \leq x \leq x_N \end{cases} \longrightarrow (*)'$$

* Pour calculer la répartition du potentiel, on intègre le système (*'), et comme conditions aux limites : $\begin{cases} V(x) = V_N & ; \quad x \geq x_N \\ V(x) = V_p & ; \quad x \leq -x_p \end{cases}$

$$\Rightarrow \quad V(x) = \begin{cases} \dfrac{qN_A}{2\varepsilon}(x + x_p)^2 + V_p & ; \quad -x_p < x \leq 0 \\ \dfrac{-qN_D}{2\varepsilon}(x - x_N)^2 + V_N & ; \quad 0 < x \leq x_N \end{cases}$$

5°/ La continuité du potentiel en $x = 0$, $V(0)_N = V(0)_p \Rightarrow$

$$-q\frac{N_D}{2\varepsilon} \cdot x_N^2 + V_N = \frac{qN_A}{2\varepsilon} \cdot x_p^2 + V_p \quad ; \quad V_D = V_N - V_p$$

$$\Rightarrow \quad V_D = V_{Np} = \frac{q}{2\varepsilon}\left(N_D \cdot x_N^2 + N_A \cdot x_p^2\right) \longrightarrow (*'')$$

6°/ On a : $N_A \cdot x_p = N_D \cdot x_N \longrightarrow (\Delta)$

On combinons (Δ) et $(*)''$:

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

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

* Pour une jonction P^+N : $N_A \gg N_D$.

$$x_N = \sqrt{\frac{2\varepsilon}{q}} \cdot \frac{1}{\sqrt{N_D}} \cdot \sqrt{V_D} \quad ; \quad x_p = \sqrt{\frac{2\varepsilon}{q}} \cdot \frac{\sqrt{N_D}}{N_A} \cdot \sqrt{V_D}$$