Université ZIANE Achour - Djelfa
Faculté des Sciences Exactes et Informatique
Département de Physique
Niveau : 3eme année L-Physique des Matériaux **Matière : Electronique des composants**

EMD – Date : 25/01/2017, Durée 1H30

Exercice 1 (10 points):

On appelle n_i et p_i les densités d'électrons et de trous libres dans un semi-conducteur intrinsèque.

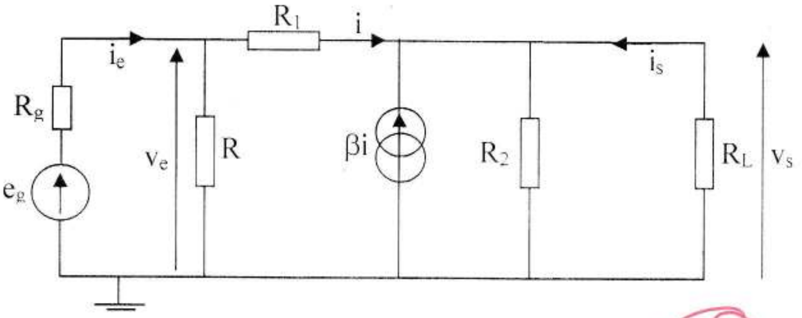
1) Classer les matériaux suivant leurs conductivités électriques. 1
2) Tracer le diagramme d'énergie d'un semi-conducteur intrinsèque. 1
3) Expliquer pourquoi $n_i = p_i$. 0,5
4) Donner les relations des concentrations : n_i, p_i. 0,5
5) Montrer que la concentration n_i s'écrit :

$$n_i = A \exp\left(\frac{-E_g}{2KT}\right)$$ 1

6) Sachant qu'à **T=300K** la concentration intrinsèque du silicium vaut (**n_i =6,4 x 10^9 cm^{-3}**) et que la hauteur de la bande interdite vaut (**E_g=1,12 eV**), déterminer la valeur de A. 0,5
7) En supposant A indépendant de la température T, calculer la concentration intrinsèque de ce matériau (Silicium) à la température d'un four à diffusion **(T=1200K).** 1
8) Déduire le niveau de Fermi E_f. 1
9) On dope ce semi-conducteur (Silicium) par des atomes donneurs (N_d=10^{15} **cm^{-3}**). On note **n** et **p** les nouvelles concentrations respectivement des électrons libres dans **BC** et des trous libres dans la **BV**.
   a) Quel est le type de ce nouveau semi-conducteur dopé. 0,5
   b) Ecrire la relation de neutralité. Expliquer les approximations. 1
   c) Montrer que $n.p=n_i^2$.
   d) Calculer les concentrations n et p à la température **300K**. 1

Exercice 2 (10 points): $k = 8,62 \times 10^{-5}$ eV/K

Soit le schéma électrique suivant :



1) Indiquer sur ce schéma les composants passifs et composants actifs. 2pts
2) Indiquer par un dessin les trois différentes parties de circuit. 2pts
3) Calculer la résistance d'entrée : **R_e=V_e/i_e**. 2pts
4) Calculer la résistance de sortie **R_s**. 2pts
5) Calculer le gain à vide : **A_{v0}=V_{s0}/V_e**. 1pt
6) Dessiner le schéma équivalent. 1pt

Données : R= R_g=2KΩ, R_L=0.2KΩ, R_1=1KΩ, R_2=4 KΩ, β=25.

Bon courage

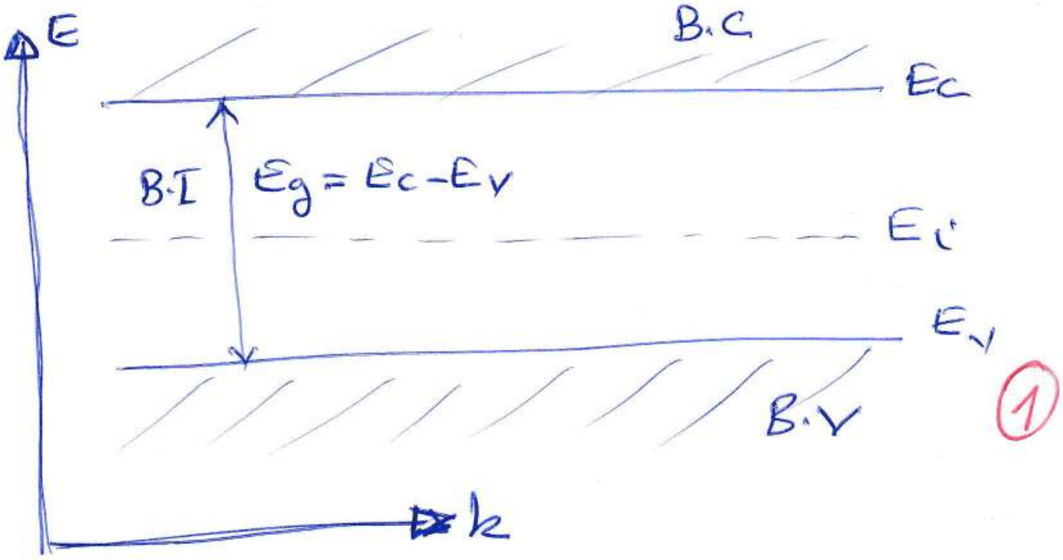
Corrigé type : Electronique des composants
L3 - phy. Mat : A.U : 2017/2018.

EXO N°1 :

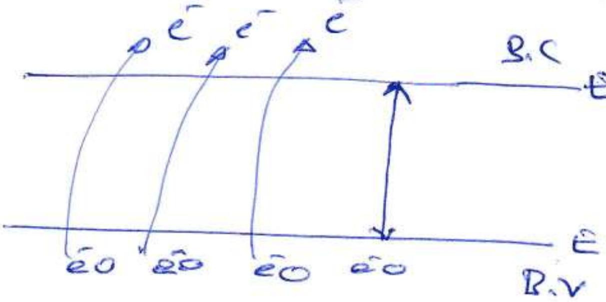
1) classement des matériaux suivant "conductivité σ" croissante

a) diélectriques (isolants) ; b) semi-conducteurs ; c) conducteurs ; d) supraconducteurs. (1)

2) Diagramme d'énergie d'un semi-conducteur intrinsèque



3) Explication pourquoi $n_i = p_i$



Les électrons à une température proche de 0K se trouvent tous dans la bande de valence.

Lorsque on augmente la température $T \neq 0K$ certains électrons qui ont une énergie (kT) vont se déplacer vers la bande de conduction (devient libres) et en laissant le même nombre de trous dans la bande valence (trous libres) $\Rightarrow n_i = p_i$ (0,5)

4) Les relations n_i et p_i :

$$n_i = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_{Fi}}{kT}\right) \; ; \quad p_i = N_v \exp\left(-\frac{E_{Fi} - E_v}{kT}\right).$$

(0,25) (0,25)

5) : calculons le produit $n_i \cdot p_i = ?$

$$n_i p_i = N_c N_v \exp\left(\frac{E_{Fi}-E_c}{kT}\right) \cdot \exp\left(\frac{E_V - E_{Fi}}{kT}\right)$$

$$= N_c N_V \exp\left(\frac{\cancel{E_{Fi}} - E_c + E_V - \cancel{E_{Fi}}}{kT}\right) = N_c N_V \exp\left(-\frac{(E_c - E_V)}{kT}\right).$$

$$= N_c N_V \exp\left(-\frac{E_g}{kT}\right).$$

comme $n_i = p_i \Rightarrow \boxed{n_i = \sqrt{N_c N_V} \cdot \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right)}$ avec

1

$A = \sqrt{N_c \cdot N_V}$

6) Calcul de la valeur de A à $T = 300K$

$$n_i = A \exp\left(\frac{-E_g}{2kT}\right) \Rightarrow \frac{n_i}{A} = \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right).$$

$$\boxed{A = n_i \exp\left(\frac{E_g}{2kT}\right)}$$

0,25

A.N : $A = 9{,}4 \times 10^9 \exp\left(\frac{1{,}12}{2 \times 8{,}62 \times 10^{-5} \times 300}\right)$

$\boxed{A \simeq 16{,}17 \cdot 10^{15}}$

0,25

7) Calculons n_i (à $T = 1200K$), on suppose que A est indépendant de la température.

$$n_i(300K) = n_i(T_1 = 300K) = A \exp\left(-\frac{E_g}{2kT_1}\right).$$

$$n_i(T_2 = 1200K) = A \exp\left(-\frac{E_g}{2kT_2}\right).$$

$$\frac{n_i(T_2)}{n_i(T_1)} = \frac{A}{A} \cdot \exp\left(\frac{-E_g}{2kT_2} + \frac{E_g}{2kT_1}\right) = \exp\left(\frac{E_g}{2k}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right).$$

$$\boxed{n_i(T_2) = n_i(T_1) \cdot \exp\left(\frac{E_g}{2k}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right)}$$

$$= n_i(T_1) \cdot \exp\left(\frac{E_g}{2k}\left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 \cdot T_2}\right)\right).$$

0,5

A.N : $\boxed{n_i(1200K) = 3{,}23 \cdot 10^{10}\ cm^{-3}}$

0,5

8) Déduction du niveau de Fermi

On $n_i = p_i \Rightarrow N_c \exp\left(\frac{E_{F_i} - E_c}{kT}\right) = N_V \exp\left(\frac{E_V - E_{F_i}}{kT}\right)$.

$$\Rightarrow \frac{N_c}{N_V} = \exp\left(\frac{E_V - E_{F_i} - E_{F_i} + E_c}{kT}\right).$$

$$\Rightarrow \frac{N_c}{N_V} = \exp\left(\frac{E_c + E_V}{kT}\right)\exp\left(\frac{-2E_{F_i}}{kT}\right).$$

$$\Rightarrow \ln\left(\frac{N_c}{N_V}\right) = \frac{E_c + E_V}{kT} - \frac{2E_{F_i}}{kT}.$$

$$\Rightarrow \frac{2E_{F_i}}{kT} = \frac{E_c + E_V}{kT} - \ln\left(\frac{N_c}{N_V}\right).$$

$$\Rightarrow \boxed{E_{F_i} = \frac{E_c + E_V}{2} - \underbrace{\frac{kT}{2}\ln\left(\frac{N_c}{N_V}\right)}_{\rightarrow 0}} \quad 0,5$$

$$\Rightarrow \boxed{E_{F_i} \simeq \frac{E_c + E_V}{2}} \quad 0,5$$

9)

a) Type de semi-conducteur dopé : (type N) : car dopé par des atomes donneurs. 0,5

b) relation de neutralité : on a : $N_d \rightarrow N_d^+ + e^-$

$N_d^+ + p = n$ 0,5 ; à température ambiante (300K) tous les atomes donneur seront ionisés $N_d^+ = N_d$.

donc on a : $\boxed{N_d + p = n}$ 0,5

c) Montrons que $n.p = n_i^2$:

On a : $n = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_F}{kT}\right) = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_{Fi} + E_{Fi} - E_F}{kT}\right)$

$$= \underbrace{\left[N_c \cdot \exp\left(-\frac{E_c - E_{Fi}}{kT}\right)\right]}_{n_i} \cdot \exp\left(-\frac{E_{Fi} - E_F}{kT}\right).$$

donc $\boxed{n = n_i \exp\left(\frac{E_F - E_{Fi}}{kT}\right)}$ 0,25

et on a aussi $p = N_V \exp\left(-\frac{E_F - E_V}{kT}\right) = N_V \exp\left(-\frac{E_F - E_{Fi} + E_{Fi} - E_V}{kT}\right).$

$$= \underbrace{\left[N_V \cdot \exp\left(-\frac{E_{Fi} - E_V}{kT}\right)\right]}_{p_i} \cdot \exp\left(\frac{E_{Fi} - E_F}{kT}\right).$$

$$\boxed{p = p_i \exp\left(\frac{E_{Fi} - E_F}{kT}\right).}$$ 0,25

Calculons le produit $n \cdot p = n_i p_i \exp\left(\frac{E_F - E_{Fi}}{kT}\right) \cdot \exp\left(\frac{E_{Fi} - E_F}{kT}\right)$

$$= n_i p_i \exp\left(\frac{\cancel{E_F} - \cancel{E_{Fi}} + \cancel{E_{Fi}} - \cancel{E_F}}{kT}\right)$$

$$= n_i p_i = n_i^2$$ 0,5

donc $\boxed{n \cdot p = n_i^2}$

d) <u>Calculons n et p à $T = 300K$:</u>

On a $\begin{cases} N_d + p = n \\ n \cdot p = n_i^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} N_d + \left(\frac{n_i^2}{n}\right) = n & \cdots (1) \\ p = \frac{n_i^2}{n} & \cdots (2) \end{cases}$

L'équation n°1 devienne : $N_d \cdot n + n_i^2 = n^2$

$n^2 - N_d \cdot n - n_i^2 = 0$; $\Delta = N_d^2 + 4n_i^2$

$$n = \begin{cases} \dfrac{N_d + \sqrt{N_d^2 + 4n_i^2}}{2} \\ \dfrac{N_d - \sqrt{N_d^2 + 4n_i^2}}{2} < 0 \text{ (rejetée)} \end{cases}$$

$$\boxed{n = \left(\frac{N_d}{2}\right) + \sqrt{\left(\frac{N_d}{2}\right)^2 + n_i^2}} .$$

comme $N_d \gg n_i$ (à $T = T_{amb}$).

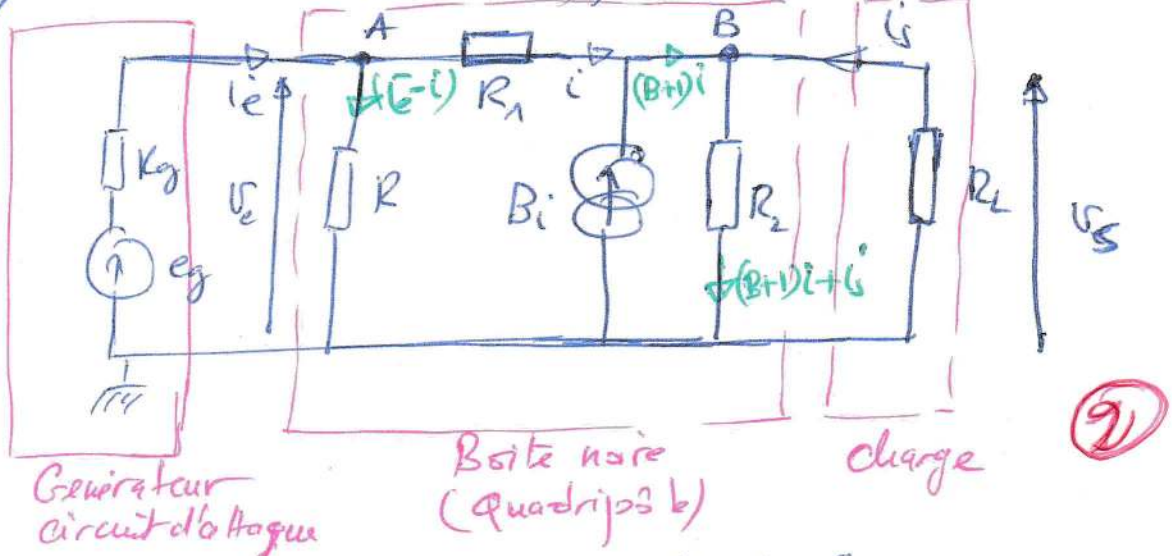
$$n \simeq \left(\frac{N_d}{2}\right) + \sqrt{\left(\frac{N_d}{2}\right)^2} = \frac{N_d}{2} + \frac{N_d}{2} = N_d .$$

$$\begin{cases} \boxed{n = N_d} \text{ (0,25)} \Rightarrow \underline{\text{A.N}} \boxed{n = N_d \simeq 10^{15}\ cm^{-3}} \text{ (0,25)} \\ p = \dfrac{n_i^2}{n} = \dfrac{n_i^2}{N_d} \text{ (0,25)} \Rightarrow \text{A.N :} \boxed{p \simeq 4,1 \times 10^4\ cm^{-3}} \text{ (0,25)} \end{cases}$$

-Corrigé type-
EMD_ Electronique de composants A.U 2017/2018

EXO N°2 (1) composant actifs : transistor (Bi), (eg) (1)
composant passifs : Rg, R, R1, R2, RL (1)

(2) Indications des trois différente partie de circuit :



(2)

(3) calcul de la resistance d'entrée :

$$R_e = \frac{v_e}{i_e} \quad ; \quad v_e = R(i_e - i) \ (1) \quad ; \quad -v_e + R_1 i + (R_2 // R_L)(\beta+1) i = 0 \ (2)$$

(0,5)

$$-R(i_e - i) + R_1 i + (R_2 // R_L)(\beta+1) i = 0$$

$$-R i_e + R i + R_1 i + (R_2 // R_L)(\beta+1) i = 0$$

$$\left[R + R_1 + (R_2 // R_L)(\beta+1)\right] i = R i_e$$

$$i = \frac{R}{R + R_1 + (R_2 // R_L)(\beta+1)} i_e$$ (0,5), on remplace cette équation

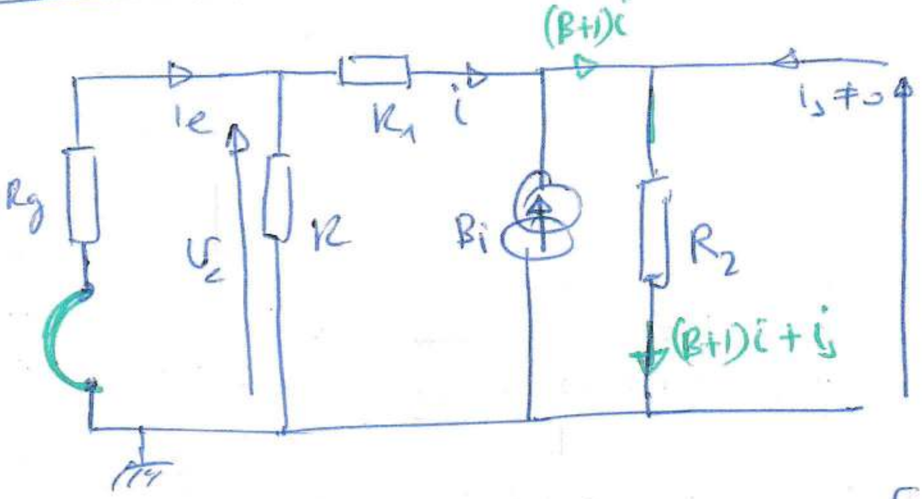
dans (1) : $$v_e = R\left[1 - \frac{R}{R + R_1 + (R_2 // R_L)(\beta+1)}\right] i_e$$

$$\boxed{R_e = R\left[1 - \frac{R}{R + R_1 + (R_2 // R_L)(\beta+1)}\right]}$$. $\boxed{A.N : R_e = 1,5 \, K\Omega}$

(0,5) (0,5)

(6)

3) calcul de résistance de sortie R_s :



0,5

$$R_s = \frac{U_s}{i_s}\Big)_{i_s \neq 0} \quad ; \quad \begin{cases} +(R_g // R)\, i + R_1 i + R_2\left[(\beta+1) i + i_s\right] = 0 & \cdots (2) \\ -U_s - R_1 i - (R_g // R)\, i = 0 & \cdots (3) \end{cases}$$

0,5

de (3) : $U_s = -\left[R_1 + (R_g // R)\right] i \quad \cdots (4)$

de (2) : $\left[(R_g // R) + R_1 + R_2(\beta+1)\right] i = -R_2\, i_s$

$$i = \frac{-R_2}{(R_g // R) + R_1 + R_2(\beta+1)}\, i_s$$, remplaçant dans (4)

$$U_s = -\left[R_1 + (R_g // R)\right] \times \frac{-R_2}{(R_g // R) + R_1 + R_2(\beta+1)}\, i_s$$

$$\boxed{R_s = \frac{R_2\left[R_1 + (R_g // R)\right]}{(R_g // R) + R_1 + R_2(\beta+1)}}$$ 0,5 ; A.N : $\boxed{R_s = 75\,\Omega}$ 0,5

4) calcul du gain à vide A_{v0} :

$$A_{v0} = \frac{U_s}{U_e}\Big)_{i_s = 0} \quad ; \quad \begin{cases} -U_e + R_1 i + R_2(\beta+1) i = 0 & \cdots (5) \\ -R_2(\beta+1) i + U_s = 0 & \cdots (6) \end{cases}$$

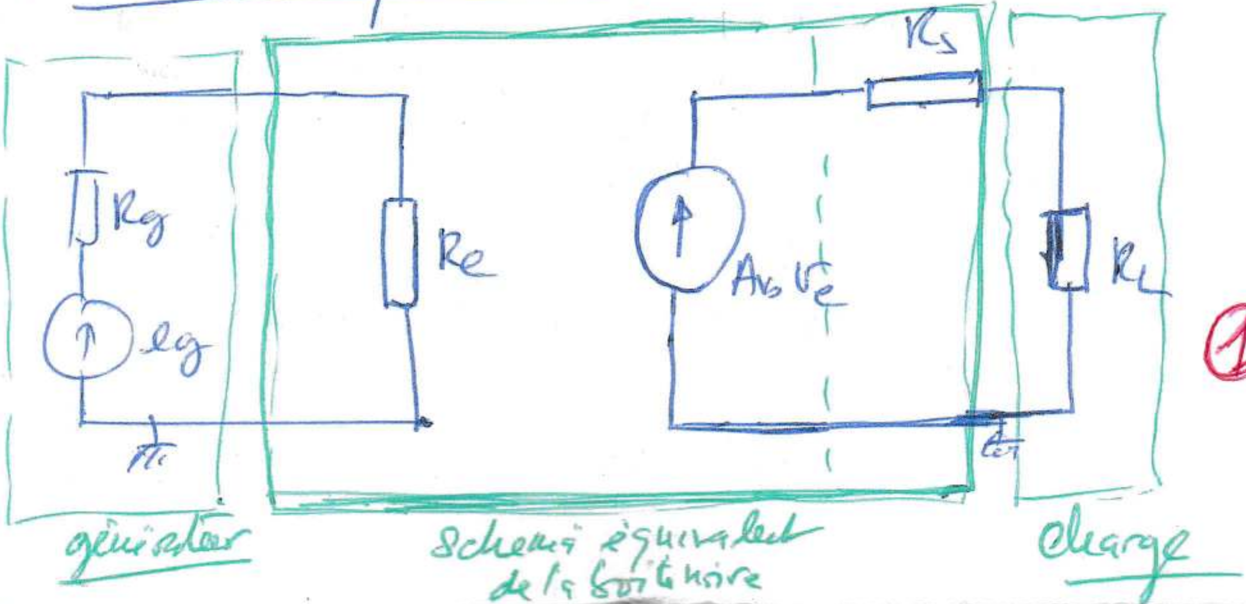
de (5) : $U_e = \left[R_1 + R_2(\beta+1)\right] i$

de (6) : $U_s = R_2(\beta+1)\, i$

$$\frac{v_s}{v_e} = \left(\frac{R_1 + R_2(\beta+1)\, i}{R_2(\beta+1)\, i} \right)^{-1} \Rightarrow \boxed{A_{v_0} = \frac{R_2(\beta+1)}{R_1 + R_2(\beta+1)}}$$ 0,5

$\boxed{A.N : A_{v_0} \simeq 1.}$ 0,5

⑤ schéma équivalent :



1

Fin

8