

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

--	--	--	--	--	--	--

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

--	--	--

Contrôle sur les dispositifs à Semiconducteurs

Exercice N° 1 : Soit un transistor NPN pour lequel on a :

- Émetteur : $N_{DE} = 5 \cdot 10^{20} / \text{cm}^3$, $W_{ET} = 1 \mu\text{m}$, $\tau_{pE} = 5 \mu\text{s}$ et $D_{pE} = 7,5 \text{ cm}^2/\text{s}$
- Base : $N_{AB} = 4 \cdot 10^{19} / \text{cm}^3$, $W_{BT} = 1 \mu\text{m}$, $\tau_{pB} = 5 \mu\text{s}$ et $D_{pB} = 30 \text{ cm}^2/\text{s}$
- Collecteur $N_{DC} = 10^{15} / \text{cm}^3$, $W_C = 2 \mu\text{m}$

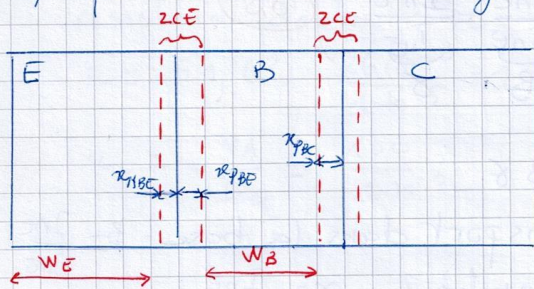
- 1°/ Calculer les épaisseurs effectives W_E et W_B de l'émetteur et de la base. (on donne $m_e \approx 1,5 \cdot 10^{10} / \text{cm}^3$ et $\epsilon_{Si} = 1,04 \cdot 10^{-12} \text{ F/cm}$)
- 2°/ Calculer le gain de ce transistor en Montage base commune puis émetteur commun. (comprendre $\beta = 1$)
- 3°/ Ce transistor est polarisé avec un courant $I_{CQ} = 1 \text{ mA}$. Sachant que la tension de Early $V_A = 100 \text{ V}$, calculer les éléments du schéma équivalent et dessiner-le.

Exercice 2 : Soit une structure MOS (Métal - Oxyde - Semiconducteur). Expliquer les différents régimes de fonctionnement de cette structure en fonction de la polarisation appliquée entre la grille et le Semiconducteur V_{GS}

Exercice 3 : Donner la coupe schématique d'un MOSFET canal N. Donner l'expression du courant en fonction des tensions de polarisation V_{GS} et V_{DS} . Quelle est l'expression du courant en régime de saturation.

Exercice N° 1:

1°) Epaisseurs effectives de la base et l'émetteur



$$W_E = W_{ET} - x_{nBE}$$

$$W_B = W_{BT} - x_{pBE} - x_{pBC}$$

Pour faire ces calculs on doit d'abord calculer les tensions de diffusion

$V_{D(BE)}$ de la jonction BE et $V_{D(BC)}$ de la jonction BC.

$$V_{D(BE)} = V_T \ln \left(\frac{N_{DE} \cdot N_{AB}}{n_i^2} \right) = 26 \cdot 10^{-3} \ln \left[\frac{5 \cdot 10^{20} \cdot 4 \cdot 10^{19}}{(1,5 \cdot 10^{10})^2} \right]$$

$$V_{D(BE)} = 1,194 \text{ V}$$

$$V_{D(BC)} = V_T \ln \left(\frac{N_{AB} \cdot N_{DC}}{n_i^2} \right) = 26 \cdot 10^{-3} \ln \left[\frac{4 \cdot 10^{19} \cdot 10^{15}}{(1,5 \cdot 10^{10})^2} \right]$$

$$V_{D(BC)} = 0,853 \text{ V}$$

$$x_{n(BE)} = \sqrt{\frac{2 \epsilon}{q} \frac{N_{AB} \cdot V_{D(BE)}}{N_{DE} (N_{AB} + N_{DE})}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,02 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot 10^{19} \cdot 1,194}{1,5 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^{20} (4 \cdot 10^{19} + 5 \cdot 10^{20})}}$$

$$x_{n(BE)} = 0,47 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$$

$$x_{p(BE)} = \frac{N_{DE} \cdot x_{n(BE)}}{N_{AB}} = \frac{5 \cdot 10^{20} \cdot 0,47}{4 \cdot 10^{19}}$$

$$x_{p(BE)} = 5,93 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$$

$$x_{p(BC)} = \sqrt{\frac{2 \epsilon}{q} \frac{N_{DC} \cdot V_{D(BC)}}{N_{AB} (N_{DC} + N_{AB})}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,02 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{15} \cdot 0,853}{1,5 \cdot 10^{-19} \cdot 4 \cdot 10^{19} (4 \cdot 10^{19} + 10^{15})}}$$

$$x_{p(BC)} = 0,25 \cdot 10^{-4} \mu\text{m}$$

$$W_E = W_{ET} - x_{nBE} = 1 - 0,47 \cdot 10^{-3} = 0,999 \approx 1 \mu\text{m}$$

$$W_B = W_{BT} - x_{pBE} - x_{pBC} = 1 - 5,93 \cdot 10^{-3} - 0,25 \cdot 10^{-4} \approx 0,99 \mu\text{m}$$

2°/ Gain du transistor en montage BC puis EC.

en montage BC le gain a

$$a = \frac{I_c}{I_E} = \frac{I_c}{I_{nc}} \cdot \frac{I_{nc}}{I_{ne}} \cdot \frac{I_{ne}}{I_E} \quad (0,5) \quad (0,5)$$

$$a = \eta \cdot B \cdot \gamma$$

$$\eta = 1 \Rightarrow a = B \gamma$$

(0,5) B: facteur de transport dans la base $B = \frac{I_{nc}}{I_{ne}}$

(0,5) γ : efficacité d'injection $\gamma = \frac{I_{ne}}{I_E}$

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{N_{AB}}{N_{DE}} \cdot \frac{W_B}{W_E(L_{pe})} \cdot \frac{D_p}{D_n}}$$

$$(0,5) L_{pe} = \sqrt{D_{pe} \cdot \tau_{pe}} = \sqrt{7,5 \cdot 5 \cdot 10^{-6}} = 6,12 \cdot 10^{-3} \text{ cm}$$

$$(0,5) L_{pe} = 61,2 \mu\text{m} \gg W_E \Rightarrow \gamma = \frac{1}{1 + \frac{N_{AB}}{N_{DE}} \cdot \frac{W_B}{W_E} \cdot \frac{D_p}{D_n}}$$

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{4 \cdot 10^{19}}{5 \cdot 10^{20}} \cdot \frac{0,99}{1} \cdot \frac{7,5}{30}} = \frac{1}{1,0198} = 0,9805$$

$$(0,5) \gamma = 0,981$$

$$B = 1 - \frac{W_B^2}{2L_n^2}$$

$$B = 1 - \frac{0,99 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-6}} = 1 - \frac{(0,99 \cdot 10^{-4})^2}{2 \cdot 30 \cdot 5 \cdot 10^{-6}}$$

$$B = 1 - \frac{0,98 \cdot 10^{-8}}{60 \cdot 5 \cdot 10^{-6}} = 1 - \frac{0,98 \cdot 10^{-8}}{300 \cdot 10^{-6}} = 1 - 3,26 \cdot 10^{-5}$$

$$(0,5) B \approx 1$$

$$(0,5) a = 0,981$$

$$(0,5) b = \frac{I_c}{I_B} = \frac{I_c}{I_E - I_c} = \frac{\frac{I_c}{I_E}}{1 - \frac{I_c}{I_E}} = \frac{a}{1 - a} = \frac{0,981}{1 - 0,981} = 51,63 \quad (0,5)$$

3° $I_{CQ} = 1 \text{ mA}$ $V_A = 100 \text{ V}$

élément du schéma équivalent

résistance d'entrée : $r_i = \frac{\Delta v_{BE}}{\Delta i_B} = \beta \cdot \frac{\Delta v_{BE}}{\Delta i_C} = \beta \cdot \frac{V_T}{I_{CQ}}$ (0,5)

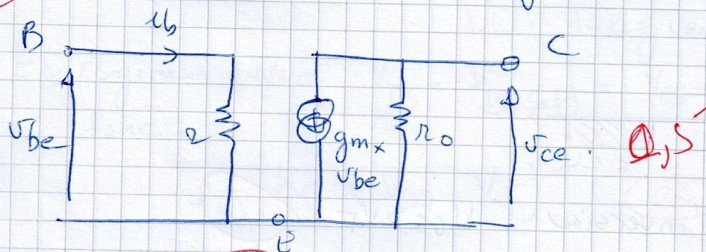
$r_i = 51,63 \cdot \frac{26 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3}} = 1342,38 \Omega$ (0,5)

(0,5) $r_o = \frac{V_A}{I_{CQ}} = \frac{100}{1 \cdot 10^{-3}} = 100 \cdot 10^3 \Omega$ (0,5)

$r_o = 100 \text{ k}\Omega$

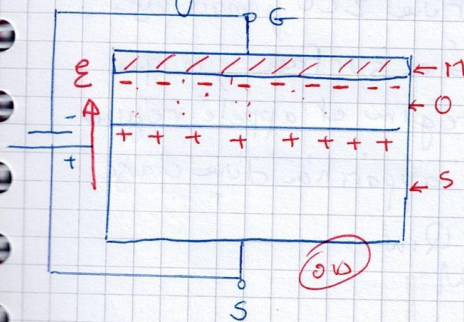
(0,5) $g_m = \frac{\Delta i_C}{\Delta v_{BE}} = \frac{I_{CQ}}{V_T} = \frac{1}{26 \cdot 10^{-3}} = 38 \text{ mA/V}$

(0,5) $g_m = 38 \text{ mA/V}$ $g_m = 38 \text{ mA/V}$

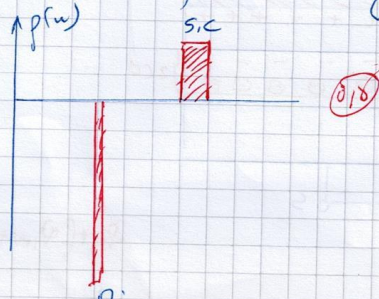


Exercice 2 :

① Régime d'accumulation $V_{GS} < 0$



Si on applique une tension $V_{GS} < 0$ entre la grille et le semiconducteur le sens du champ est tel qu'il attire les trous à la surface du S.C. ; il y a accumulation de trous en surface ; c'est le régime

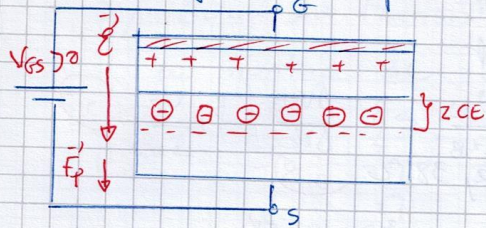


d'accumulation.

Pour assurer la neutralité électrique, il y a apparition d'une charge d'électrons (-) à l'interface n/p : $Q_M + Q_{SC} = 0$

② Régime de dépléation

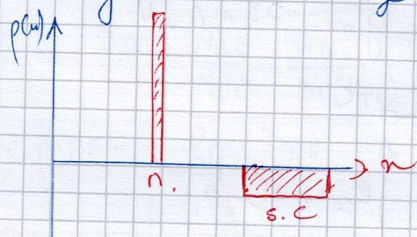
$$V_{GS} > 0 \quad (1,5)$$



Si on polarise la grille positivement par rapport au substrat, le sens du champ électrique est tel qu'il repousse les trous en volume. Ce qui

implique l'apparition d'une ZCE. Cette zone sera chargée par les ions fixes chargés négativement qui ne sont plus neutralisés par les trous repoussés en volume.

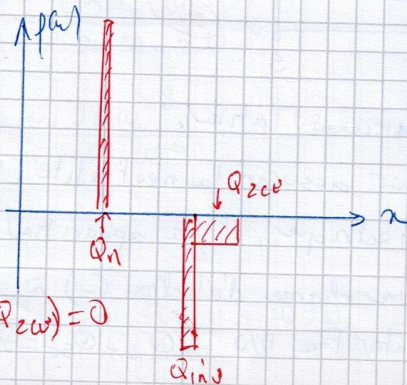
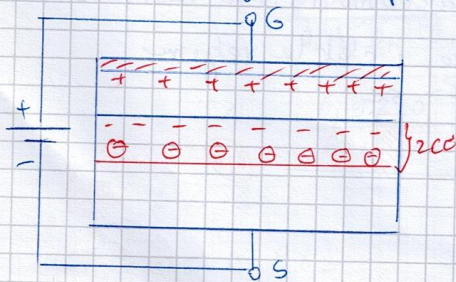
Pour assurer la neutralité électrique il y a apparition sous la grille d'une charge positive $\checkmark Q_n + Q_{ZCE} = 0$



③ Régime d'inversion : $V_{GS} > V_T$

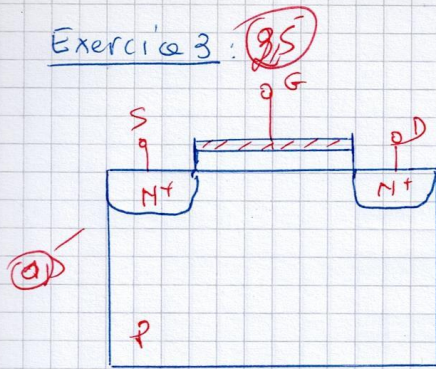
$$(1,5)$$

Si la tension V_{GS} appliquée est supérieure à une certaine valeur appelée tension de seuil d'inversion V_T , non seulement les trous sont repoussés en surface créant une ZCE, mais des électrons minoritaires sont attirés en surface, ce qui crée une couche d'inversion. Ce régime est appelé régime d'inversion. Sous la grille il y a apparition d'une charge positive égale et opposée à $Q_{ZCE} + Q_{inv}$.



$$Q_n + (Q_{inv} + Q_{ZCE}) = 0$$

Exercice 3 :



$$I_D = K_n \left[2(V_{GS} - V_T) V_{DS} - V_{DS}^2 \right]$$

$$\text{ou } K_n = \mu_n C_{ox} \frac{Z}{2L}$$

μ_n : mobilité dans la couche d'inversion

C_{ox} capacité MOS $C_{ox} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{ox}}{t_{ox}}$

t_{ox} : épaisseur de l'oxyde

Z : largeur du canal

L : longueur du canal.

En régime saturé $V_{DS} = V_{DS(sat)} = V_{GS} - V_T$ et donc :

$$I_D = K_n (V_{GS} - V_T)^2$$

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

--	--	--	--	--	--	--

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

--	--