



**MATERIAUX ET
NANO TECHNOLOGIES**

Cours de Physique des composants semi-conducteurs

TD n°7 : *Structure MIS - Le transistor MOSFET*

Exercice I : On considère une structure MIS du type Al/I/Si. L'épaisseur de l'isolant I est $d=88,5$ nm. Le silicium est de type n avec une densité excédentaire de donneurs $N_D=10^{15}$ cm^{-3} . Le gap, la constante diélectrique relative, la densité de porteurs intrinsèques et l'affinité électronique du silicium sont respectivement : $E_g=1,2$ eV, $\epsilon_s=12$, $n_i=10^{10}$ cm^{-3} , $q\chi=4$ eV. La constante diélectrique relative de l'isolant est $\epsilon_i=2$. Le travail de sortie de l'aluminium est $q\phi_m=4,3$ eV. On supposera nulle la densité d'états d'interface.

- 1) Calculer dans le silicium la distance $q\phi_{Fi}$ du niveau de Fermi au niveau de Fermi intrinsèque.
- 2) Calculer la capacité surfacique C_i de l'isolant.
- 3) Calculer la tension de bandes plates V_{FB} de la structure.
- 4) Calculer la tension de seuil V_T du régime de forte inversion de la structure.
- 5) La structure est polarisée par une tension $V_g=5$ V. Calculer la valeur de sa capacité C.
- 6) La structure est polarisée par une tension $V_g=-0,8$ V. Déterminer son régime de fonctionnement. Calculer l'abscisse x_i à laquelle le semiconducteur est de nature intrinsèque. Calculer la capacité de la structure.

Exercice II :

On considère un transistor MOSFET de type Al/SiO₂/Si substrat silicium de type p dopé avec une densité d'accepteurs $N_A=10^{16}$ cm^{-3} . La longueur et la largeur de la grille sont respectivement $L=100\mu\text{m}$ et $z=100\mu\text{m}$, l'épaisseur d'oxyde est $d=88,5$ nm. On supposera nulle la charge d'interface Si/SiO₂. La source du transistor est portée à la masse, la grille au potentiel V_G , et le drain au potentiel V_D . On appelle $V(y)$ le potentiel local du canal à la distance y de la source. Le gap, la constante diélectrique relative, la densité de porteurs intrinsèques, l'affinité électronique, et la mobilité des électrons du silicium sont respectivement : $E_g=1,2$ eV, $\epsilon_r=12$, $n_i=10^{10}$ cm^{-3} , $q\chi=4$ eV, $\mu_n=1200$ $\text{cm}^2/\text{V.s}$. La constante diélectrique relative de la silice est $\epsilon_i=2$. Le travail de sortie de l'aluminium est $q\phi_m=4,3$ eV.

- 1) Calculer dans le semiconducteur la distance ϕ_{Fi} du niveau de Fermi au niveau de Fermi intrinsèque. Calculer la capacité surfacique C_i de l'oxyde.

2) Calculer la tension de bande plate V_{FB} .

3) Etablir l'expression de la densité surfacique de charges mobiles $Q_s(y)$ dans le canal à la distance y de la source.

4) Etablir l'expression du courant de drain du transistor.

5) Etude du transistor en régime linéaire

Donner une expression simplifiée du courant de drain lorsque la tension drain-source V_D est inférieure 0,5 V.

Etablir l'expression de la tension de seuil V_{th} du transistor et calculer sa valeur.

Calculer la transconductance et la conductance de drain du transistor pour $V_D=0,5$ V et $V_G=10$ V.

6) Etude du transistor en régime de saturation

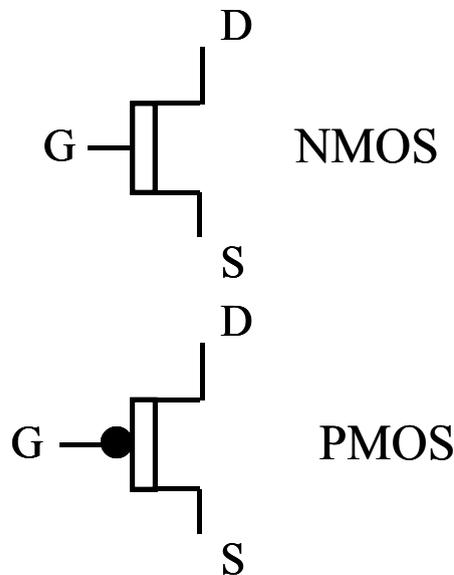
Etablir l'expression de la tension de saturation V_{DSat} du transistor et calculer sa valeur pour $V_G=20$ V.

Etablir la loi de variation du rapport I_D/I_{DSat} en fonction de la tension drain-source V_D lorsque celle-ci augmente au-delà de la tension de saturation.

Exercice III :

Pour cet exercice, on utilisera la symbolique suivante : NMOS (**N**egative **c**hannel **M**OS) est un dispositif MOS canal N, et PMOS (**P**ositive **C**hannel **M**OS) est un dispositif MOS canal P. Sous la grille, le petit rectangle vide représente le canal.

1) A partir d'un schéma de la structure, et selon les polarisations appliquées à la grille (par



rapport à V_{th}), quels sont les modes de fonctionnement du MOS. Dans quel cas les NMOS et PMOS sont-ils bloquant/passant ?

2) On considère à présent des NMOS et PMOS caractérisés par une tension seuil $V_{th}=0,6$ V.

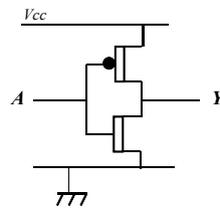
Ces MOS sont alimentés soit par une tension $V_{CC}=3,5\text{ V}$, soit par la masse $V_{masse}=0\text{V}$. On notera par '0' et '1' les niveaux bas et haut de tension, de telle sorte que '0' $\iff V_{masse}$, et '1' $\iff V_{CC}$. A et B sont les entrées, et Y la voie de sortie. Déterminer pour les cas suivants les tables de vérité et la fonction logique des différents montages :

Cas 1 : une entrée A et une sortie Y

Cas 2 : deux entrées A et B et une sortie Y.

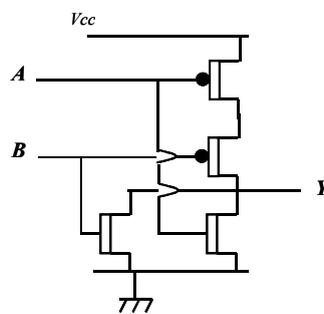
Cas 3 : deux entrées A et B et une sortie Y.

Cas 1 : une entrée A et une sortie Y



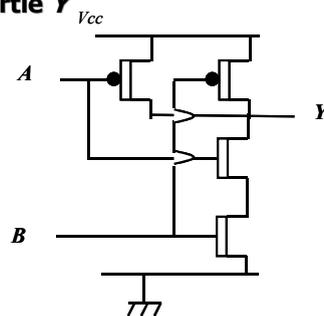
A	Y
0	
1	

Cas 2 : deux entrées A et B et une sortie Y



A	B	Y
0	0	
1	0	
0	1	
1	1	

Cas 3 : deux entrées A et B et une sortie Y



A	B	Y
0	0	
1	0	
0	1	
1	1	