

Master 2 Recherche “Electronique et automatique”

Procédés submicroniques

Terminal, durée 1h30

*Tous types de document autorisés*

*Calculatrice autorisée*

---

Chaque candidat doit, en début d'épreuve, porter son nom dans le coin de la copie qu'il cachera par collage après avoir été pointé. Il devra, en outre, porter son numéro de place sur chacune des copies, intercalaires ou pièces annexées.

---

## 1 Question de cours

- 1. La miniaturisation des composants engendre des compromis entre la puissance active vitesse puissance passive (nommée “crise des puissances”). Expliquer les causes de cette “crise des puissances”.
- 2. La mobilité est le seul paramètre physique qui peut apporter des solutions au dilemme vitesse/puissance.
  - Justifier pourquoi?
  - Citez des choix technologiques qui peuvent être faits pour améliorer la mobilité des porteurs dans le canal du transistor ultracourt (nanométrique).
- 3. Le rendement des cellules solaires en silicium est faible. Malgré tout, ce matériau semble devoir être toujours utilisé dans les prochaines décennies. Donner quelques éléments justifiant ce choix industriel.

## 2 Exercice

On considère la loi de réduction d'échelle de Bacarani ( $k < \lambda$ ). Une comparaison qualitative entre les différents paramètres caractéristiques des deux technologies successives CMOS (0,35 $\mu\text{m}$  vers 0,1 $\mu\text{m}$ ) est présentée dans le tableau ci-dessous :

Paramètre Physique	Technologie 0,35 $\mu\text{m}$	Technologie 0,1 $\mu\text{m}$
Largeur/longueur $W(\mu\text{m})/L(\mu\text{m})$	30/0,35	10/0,1
Epaisseur d'oxyde $T_{ox}$	8	2,5
$V_D(V)$	3,8	1,5
Dopage $N_A(\text{cm}^{-3})$	$1 \cdot 10^{17}$	$4 \cdot 10^{17}$
Delay (ps/bloc)	94	25

- 1. Calculer les valeurs numériques des facteurs d'échelle  $k$  et  $\lambda$  pour chaque paramètre physique du tableau. Vérifiez que les valeurs données dans cet exemple justifient l'hypothèse de champ électrique quasi-constant dans la structure MOS de dimensions submicroniques.
- 2. Quelle doit être l'épaisseur de l'oxyde de grille pour une technologie CMOS 22nm ? (passage d'une technologie 0,1  $\mu\text{m}$  vers 22 nm)
- 3. Utilisant le résultat de la question 2 et sachant que la molécule de silice  $\text{SiO}_2$  est d'environ 5 nm, peut-on utiliser ce diélectrique dans une technologie 22nm ? Si oui, quelles seront les conséquences ? Si non, quelles sont les solutions technologiques qui doivent être utilisées pour assurer un bon fonctionnement du transistor MOS en technologie 22 nm ?
- 4. Considérons une technologie 22 nm (longueur de grille  $LG = 22$  nm). En utilisant les lois informelles de "design", estimez la profondeur des extensions source/drain ( $X_j$ ), l'épaisseur équivalente de la capacité du transistor en inversion ( $T_{INV}$ ) et l'épaisseur de la zone de déplétion sous la grille ( $T_{DEP}$ ).

### 3 Exercice

On considère la figure suivante donnant la caractéristique électrique d'un transistor MOS polarisé pour la tension  $V_{DS} = 20\text{ mV}$ .

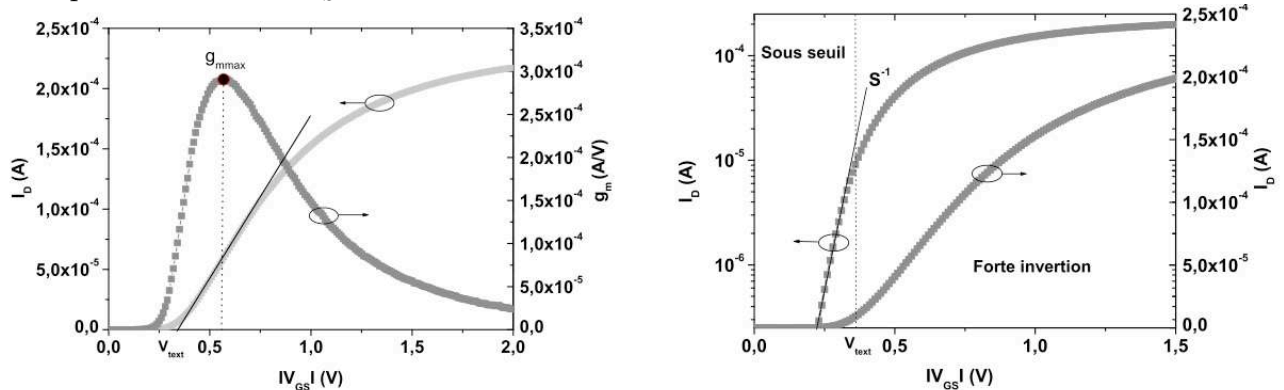


Figure : cf . thèse de W. guo, université de Caen Basse-normandie. 2009

La figure de gauche indique les caractéristiques  $I_D - V_{GS}$  et  $g_m = dI_D/dV_{GS}$  représentées en échelle linéaire. Celle de droite indique la même caractéristique  $I_D - V_{GS}$  représentées soit en échelle linéaire (échelle de droite), soit en échelle logarithmique (échelle de gauche).

- 1. Déterminer la valeur de la tension de seuil  $V_T$  que l'on peut extraire de ces caractéristiques

En zone de fonctionnement linéaire et en considérant une modélisation la plus simple possible, l'expression du courant  $I_D$  est donnée par

$$I_D = \frac{\mu \cdot C_{OX} \cdot W}{L} (V_{GS} - V_T) \cdot V_{DS}$$

avec  $\mu$  la mobilité,  $C_{OX}$  la capacité de l'oxide de grille par unité de surface, W la largeur et L la longueur. On prendra  $W/L=10$  et  $C_{OX} = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ F/m}$ .

- 2. Déterminer l'expression de  $g_m$  en utilisant ce modèle simplifié. A l'aide de la valeur numérique de  $g_m$  lue sur le graphique lorsque la quantité passe par un maximum, en déduire la valeur de la mobilité  $\mu$  compte-tenu de ce modèle simplifié.
- 3. Donner la valeur numérique de la pente sous le seuil S. On rappelle que celle-ci est donnée par  $s = \ln(10) \cdot dV_{GS}/d\ln(I_D)$ .