

De l'atome à la puce

Devoir surveillé – Décembre 2012

Durée : 2 heures

Calculatrices interdites (tous types)

Les exercices sont indépendants.

Vous devez expliquer le détail de votre raisonnement. Un résultat non justifié ne suffit pas à obtenir les points de la question.

Les données utiles (vous pourrez éventuellement les arrondir selon les besoins du calcul) :

Soit h la constante de Planck : $h = 6,626 \times 10^{-34}$ J s

Soit ϵ_0 la permittivité du vide. $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12}$ F m

On donne aussi $1/(4\pi\epsilon_0) = 8,9 \times 10^9$ N m² C⁻²

$c = 3 \times 10^8$ m s⁻¹ (vitesse de la lumière)

Le "gap" du silicium est $E_g = 1,12$ eV à 25°C

On prendra la charge élémentaire $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C

$k = 1,38 \times 10^{-23}$ J K⁻¹

Dans le silicium, $\mu_p = 0,04$ m² V⁻¹ s⁻¹ et $\mu_e = 0,14$ m² V⁻¹ s⁻¹

1. Questions de cours

a. Dopage

- Qu'est-ce que le dopage ? A quoi sert-il ? 1 point
- Dans le cas d'un dopage P, quels atomes peut-on utiliser ? 1 point

b. Diode PN

- Donnez la représentation schématique conventionnelle d'une diode PN. 1 point
- Faites un schéma « en coupe » d'une diode PN, faisant apparaître la jonction (précisez le dopage des différents éléments). 1 point
- Tracez les concentrations en porteurs de charge P et N dans les différentes zones de cette diode. 1 point

c. Transistor pMOS

- Donnez la représentation schématique conventionnelle d'un pMOS. 1 point

- Faites un schéma « en coupe » d'un pMOS, faisant apparaître Gate, Source, Drain, Isolant, Body (précisez le dopage des différents éléments). 1 point

2. Porte logique « NAND »

a. Transistor pMOS

Explicitez le fonctionnement d'un transistor pMOS, comme celui que vous avez décrit dans la question 1c, en répondant aux questions suivantes :

- Attribuez les polarités (Body, Source, Drain). 1 point
- Montrez que les jonctions PN présentes sont toutes « bloquées » si Body, Source, Drain et Gate sont au même potentiel. 1 point
- Si $V_G < 0$, que se passe-t-il ?
 - o Pourquoi un canal se forme-t-il ? 1 point
 - o Pourquoi le courant peut-il passer entre la Source et le Drain ? 1 point
 - o Dans quel sens circule ce courant ? 1 point
- Faites un schéma récapitulatif. 1 point
- Discutez de l'état « passant » ou « bloqué » du transistor pMOS en fonction du potentiel de Gate (faites un tableau récapitulatif). 1 point

b. Transistor nMOS

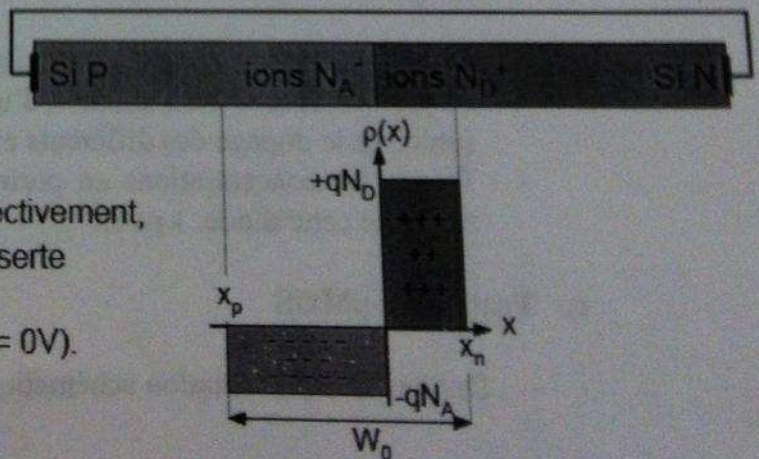
- Faites un tableau donnant l'état « passant » ou « bloqué » d'un transistor nMOS en fonction du potentiel de Gate (faites un tableau récapitulatif). 1 point

c. Porte NAND

- Faites le schéma électrique d'une porte NAND (les différents transistors pMOS et nMOS doivent apparaître). 1 point
- Donnez la table de vérité de cette porte. 1 point
- En précisant quels transistors sont passants ou bloquants, expliquez électriquement la table de vérité. 1 point

3. Zone de charges d'espace (ou zone déserte) & jonction PN

On considère une jonction PN :



Jonction PN en court-circuit ($V_{PN} = 0V$):

- $\rho(x)$: quantité de charge en fonction de x ,
- N_A et N_D : densités des dopages P et N respectivement,
- x_p et x_n : abscisses des limites de la Zone Déserte (Zone de Charge d'Espèce),
- W_0 largeur de la ZD à polarisation nulle ($V_{PN} = 0V$).

a. Calculs

Soit $E(x)$ la norme du champ électrique régnant dans la ZCE, et V_{θ} le potentiel de jonction.

- Montrez que le potentiel de jonction est : $V_{\theta} = -\int_{x_p}^{x_n} E(x) dx$ 1 point.

- Sachant que $E(x) dx = \frac{kT}{q} \frac{dp}{p(x)}$, démontrez que $V_{\theta} = +\frac{kT}{q} \ln \frac{N_D N_A}{n_i^2}$
1 point.

(avec n_i la concentration de porteurs intrinsèques)

- Application numérique. Calculez V_{θ} . 1 point.

$N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $n_i = 1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, $T = 298 \text{ K}$, $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ et
 $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$

(pour les calculs numériques, pensez que $\ln(u) = 2,3 \times \log(u)$)

b. Application : la Diode

- Tracez la caractéristique courant-tension ($i=f(V)$) de la diode composée de la jonction PN décrite ci-dessus. 1 point.
- Donnez l'expression du courant en fonction du courant inverse de saturation i_0 , de e , k , T et de V . 1 point.