

De l'atome à la puce

Devoir surveillé – Décembre 2015

Durée : 1h45 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

La constante de Boltzmann vaut $k = 1,38 \times 10^{-23}$ 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

Exercice 1

Le silicium est, non dopé, un semi-conducteur intrinsèque. On négligera la présence d'éventuelles impuretés avant dopage. Sa conductivité intrinsèque vaut $\sigma_i = 2,5 \times 10^{-4}$ S.m⁻¹.

a) Qu'est-ce que le dopage ? Quelle est son utilité ?

b) Après dopage, un semi-conducteur est-il intrinsèque ou extrinsèque ?

c) Citez un élément utilisable pour doper n. Justifier.

d) Calculer la concentration N_D d'atomes de dopant à introduire dans le Si pour augmenter sa conductivité jusqu'à 150 S.m⁻¹. Justifier et détailler les calculs (préciser notamment les 2 principales hypothèses effectuées).

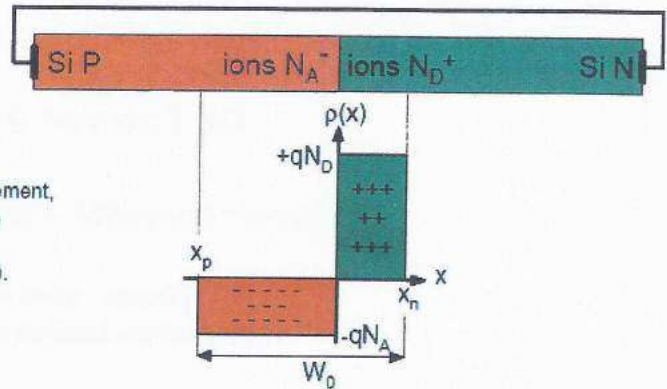
e) Vérifier les hypothèses que vous avez effectué à la question d.

f) On donne les expressions des concentrations en électrons (n) et en trous (p) dans les bandes de conduction et de valence : $n = N_C \exp[-(E_C - E_F)/kT]$ et $p = N_V \exp[(E_V - E_F)/kT]$

Calculer la variation de l'énergie du niveau de Fermi (E_F) pour le silicium dopé n de la question b), par rapport au silicium intrinsèque, pour une température de 300K. La représenter sur un schéma d'énergie.

Exercice 2.

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'Espace),
- W_0 largeur de la ZD à polarisation nulle ($V_{PN} = 0V$).

- Dans quel sens diffusent les électrons et les trous ?
- Dans quel sens dérivent les électrons et les trous ?
- Tracez les concentrations en porteurs de charge p et n dans les différentes zones de cette diode.
- Soit $E(x)$ la norme du champ électrique régnant dans la ZCE, et V_0 le potentiel de jonction.

Sachant que $V_0 = -\int_{x_p}^{x_n} E(x) dx$

et que $E(x) dx = \frac{kT}{q} \frac{dp}{p(x)}$, démontrez que $V_0 = +\frac{kT}{q} \ln \frac{N_D N_A}{n_i^2}$

(avec n_i la concentration de porteurs intrinsèques)

- Application numérique : Calculez V_0 en considérant $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, $T = 300 \text{ K}$, $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ et $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$.

Exercice 3.

- Donnez la représentation schématique conventionnelle d'un nMOS.
- Que signifie l'acronyme MOSFET ?
- Porte logique « NOR »

c1) Transistor nMOS

Explicitez le fonctionnement d'un transistor nMOS en répondant aux questions suivantes :

* Montrez que les jonctions PN présentes sont toutes « bloquées » si Body, Source, Drain et Gate sont au même potentiel.

* Si $V_G > 0$:

- Que se passe-t-il ?
- Dans quel sens circule ce courant ?

* Discutez de l'état « passant » ou « bloqué » du transistor nMOS en fonction du potentiel de Gate (faites un tableau récapitulatif).

c2) Transistor pMOS

Discutez de l'état « passant » ou « bloqué » du transistor pMOS en fonction du potentiel de Gate (faites un tableau récapitulatif).

c3) Porte NOR

Faire le schéma électrique d'une porte NOR (les différents transistors pMOS et nMOS doivent apparaître).

- Donner la table de vérité de cette porte NOR.

e) En raisonnant sur le caractère passant ou bloquant des transistors, expliquez électriquement la table de vérité.