Devoir d'entraînement de physique n° 5

Étude et application d'une diode au silicium

(Centrale-Supélec TSI 2017)

A – Étude d'une diode au silicium

Une diode au silicium est en fait constituée d'une jonction de deux semi-conducteurs dopés, l'un de type « P » et l'autre de type « N ».

Dans ces deux zones, on ajoute, en quantité limitée, des impuretés dans le silicium de telle façon que la zone « N » contient une majorité d'électrons et une minorité de trous « + » (d'où sa charge négative) alors que la zone « P » contient une majorité de trous « + » et une minorité d'électrons (d'où sa charge positive) comme illustré figure 6 où seuls les porteurs majoritaires ont été représentés.

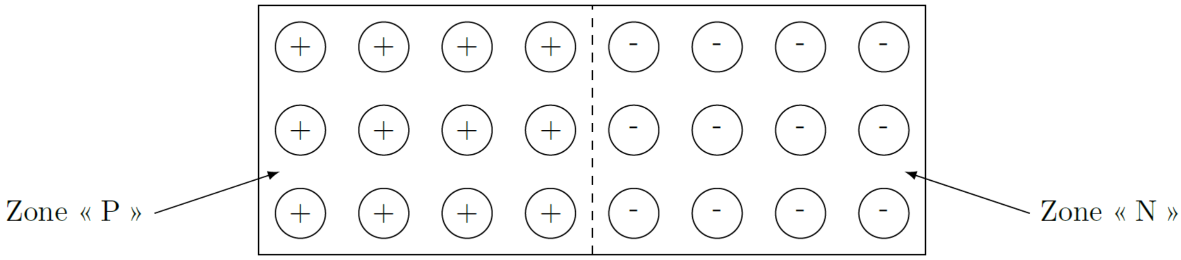

Figure 6

La proximité de ces deux zones va entrainer une migration des trous vers la zone « N » ainsi que des électrons vers la zone « P ».

Lorsqu'un électron migre vers la zone « P », il va se recombiner avec un trou et cela entraine l'apparition d'un trou dans la zone « N » ; un raisonnement analogue peut être tenu en ce qui concerne la migration d'un trou « P » vers la zone « N ».

Tout ceci entraine une zone appelée zone de charge d'espace, notée ZCE, dans laquelle la zone « N » se trouve localement chargée positivement et la zone « P » chargée négativement comme illustré figure 7.

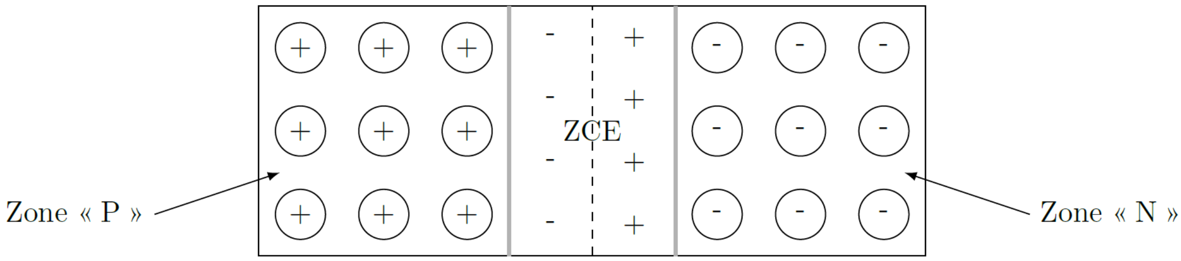

Figure 7

A.1) Préciser pourquoi la ZCE est nécessairement limitée dans l'espace.

A.2) On se propose d'étudier le vecteur champ électrostatique dans la ZCE.

La zone de charge d'espace est modélisée par deux distributions uniformes, l'une de densité volumique $\rho_1 > 0$ entre les plans d'équations $x = 0$ et $x = a$, l'autre de densité volumique $\rho_2 < 0$ située entre les plans d'équations $x = -b$ et $x = 0$.

a) La ZCE étant globalement neutre, déterminer la relation entre a, b, ρ_1 et ρ_2. Justifier rigoureusement.

Avant d'étudier la ZCE proprement dite, on envisage un cas plus simple, comportant une seule couche plane infinie.

b) On considère le cas d'une distribution uniforme de densité volumique ρ_0 comprise entre les plans d'équations $x = -\dfrac{d}{2}$ et $x = +\dfrac{d}{2}$ où d est une largeur.

i. Démontrer soigneusement que le vecteur champ électrostatique créé par cette distribution en tout point M de l'espace est de la forme $\vec{E}(M) = E(x)\vec{u}_x$.

ii. À l'aide du théorème de Gauss, déterminer soigneusement l'expression de $E(x)$ en tout point de l'espace. On montrera en particulier que $E(x) = \dfrac{\rho_0 x}{\varepsilon_0}$ si $|x| < \dfrac{d}{2}$.

On revient maintenant au cas de la ZCE, constituée de la juxtaposition d'une couche plane infinie négative et d'une couche plane infinie positive.

c) À l'aide du principe de superposition, déterminer le vecteur champ électrostatique en tout point M de la ZCE précédemment décrite. On exprimera $E(x)$ en fonction de x, ρ_1, a et b. (Attention aux changements d'origine.)

d) Représenter les variations de $E(x)$ pour x variant de $-b$ à a.

e) À l'aide de l'étude précédente, indiquer la valeur minimale de la tension $U = V_P - V_N$ à appliquer afin qu'un courant circule dans la diode.

B – Utilisation d'une diode au silicium dans un montage détecteur d'enveloppe

On considère dans cette partie une diode supposée idéale de sorte que sa caractéristique courant-tension soit celle de figure 9. La diode a donc deux modes de fonctionnement : passant ($i > 0$ et $U_d = 0$) ou bloqué ($i = 0$ et $U_d < 0$).

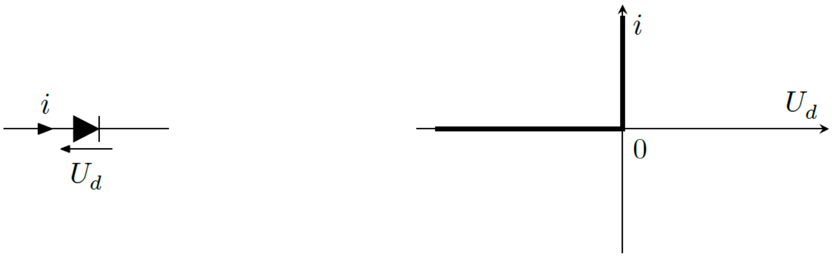

Figure 9

B.1) Mise en évidence du principe

On considère le montage figure 10 constitué d'un générateur de tension idéal délivrant une tension sinusoïdale, de la diode idéale D précédemment décrite, d'un resistor de résistance R et d'un condensateur de capacité C.

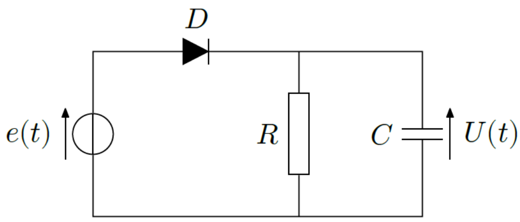

Figure 10

On suppose que $e(t) = E\cos(\omega t)$ et que la diode est passante à $t = 0$.

a) Déterminer l'expression de $U(t)$ si la diode est passante, et donner l'inégalité qui doit être vérifiée par la fonction $U(t)$ pour que la diode reste passante.

b) Déterminer la forme de $U(t)$ si la diode est bloquée, et donner de même l'inégalité pour que la diode reste bloquée.

c) Représenter sur un même graphe les allures de $e(t)$ et $U(t)$.