



**MATERIAUX ET  
NANOTECHNOLOGIES**

---

**Cours de physique des composants à semi-conducteurs**  
**TD n°3 : Jonction pn et diodes à jonction**

---

**Exercice I**

On considère une jonction pn abrupte au silicium à 300K, à l'équilibre thermodynamique avec  $N_A=10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,  $N_D=2,6 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ,  $n_i^2=2,6 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-6}$ ,  $V_T=26 \text{ mV}$  et  $\epsilon_r \epsilon_0=10^{-12} \text{ F/cm}$ .

- Calculer la concentration de porteurs minoritaires dans chacune des zones.
- Calculer la tension de diffusion de la jonction.
- Calculer l'extension de la zone de charge d'espace en faisant les approximations habituelles. Que vaut l'extension du côté p ?
- Calculer la valeur maximale du champ électrique à la jonction métallurgique.

**Exercice II**

On considère une jonction pn abrupte au silicium à 300K dont les dopages sont uniformes avec  $N_A=5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ,  $N_D=5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,  $n_i^2=2,5 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-6}$ ,  $V_T=26 \text{ mV}$  et  $\epsilon_r \epsilon_0=10^{-12} \text{ F/cm}$ . Les mobilités de porteurs dans la zone de charge d'espace sont  $\mu_n=1200 \text{ cm}^2/\text{V.s}$  et  $\mu_p=200 \text{ cm}^2/\text{V.s}$

- Calculer la tension de diffusion de la jonction et la largeur de la zone de charge d'espace à l'équilibre thermodynamique.
- Calculer le gradient de concentration des électrons en limite de zone de charge d'espace. En déduire la composante de diffusion du courant d'électrons. Conclusion sur l'approximation de Boltzmann
- En polarisant cette jonction en direct par une tension de 540 mV, calculer les concentrations en limite de zone de charge d'espace.
- En polarisant cette jonction en inverse par une tension de 3 V, calculer les concentrations en limite de zone de charge d'espace. Conclusion.

**Exercice III**

Une diode fortement intégrée en silicium a les propriétés suivantes :  $N_A=10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,  $N_D=2 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ,  $n_i^2=5 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-6}$ ,  $W_p=0,1 \text{ }\mu\text{m}$ ,  $W_n=0,02 \text{ }\mu\text{m}$ ,  $\mu_n=320 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ ,  $\mu_p=100 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ ,

$\tau_n=1$  ns et  $\tau_p=50$  ps.

- Calculer les longueurs de diffusion. Quels sont les modèles de diodes à adopter ?
- En appliquant une tension directe de 720 mV, calculer les densités de courant injectées de part et d'autre de la zone de charge d'espace.

### Exercice IV

On considère une diode varicap en silicium de surface  $10^5 \mu\text{m}^2$ . En utilisant les données habituelles du silicium et sachant que  $N_A=10^{16} \text{cm}^{-3}$ ,  $N_D=10^{18} \text{cm}^{-3}$  :

- Calculer la tension de diffusion.
- Calculer l'extension de la zone de charge d'espace à l'équilibre thermodynamique en faisant les approximations habituelles.
- Calculer la capacité de la jonction à l'équilibre thermodynamique. Calculer la nouvelle valeur de la capacité lorsqu'une tension inverse de 5 V est appliquée.
- Pour cette polarisation de 5 V, on superpose un signal variable de faible amplitude,  $v_s$ , que l'on considère sinusoïdal. En utilisant un développement limité, déterminer l'expression numérique de la capacité en fonction de  $v_s$ .

### Exercice V

On considère une jonction p<sup>+</sup>n abrupte au silicium de section  $10000 \mu\text{m}^2$  dont les caractéristiques en faible injection sont les suivantes :  $N_A=10^{19} \text{cm}^{-3}$ ,  $W_P=5 \mu\text{m}$ ,  $N_D=10^{16} \text{cm}^{-3}$  et  $W_N=400 \mu\text{m}$ . On prendra par ailleurs :  $\mu_n=1000 \text{cm}^2/\text{V.s}$ ,  $\mu_p=400 \text{cm}^2/\text{V.s}$ ,  $\tau_n=\tau_p=1 \mu\text{s}$ ,  $n_i=10^{10} \text{cm}^{-3}$ ,  $V_T=25 \text{mV}$  et  $\epsilon=10^{-12} \text{F/cm}$ .

- Déterminer la valeur du courant inverse théorique de cette diode.
- Donner les valeurs des tensions directes correspondant à des courants de 0,1 ; 0,5 ; 1 et 5 mA.
- Evaluer la résistance série de la diode et déterminer la chute de tension correspondante pour les mêmes valeurs de courant que précédemment.
- Déterminer les valeurs du courant inverse pour les tensions appliquées  $V_a=-10, -15, -20 \text{V}$ .
- Déterminer la tension de claquage et calculer la valeur du courant à la limite du claquage. On donne le champ critique  $E_c=30 \text{V}/\mu\text{m}$ .

### Exercice VI

On considère une jonction abrupte très dissymétrique, du type p<sup>+</sup>n, courte, de section unité. On donne les caractéristiques suivantes :  $N_A=10^{19} \text{cm}^{-3}$ ,  $N_D=10^{11} \text{cm}^{-3}$ ,  $W_P=10^{-3} \text{cm}$ ,  $W_N=2 \cdot 10^{-4} \text{cm}$ ,  $\mu_n=150 \text{cm}^2/\text{V.s}$  et  $\mu_p=500 \text{cm}^2/\text{V.s}$

- Etablir l'expression de la densité de courant qui traverse la jonction en polarisation directe en fonction de la concentration des trous  $p(x)$  et du dopage  $N_D$  dans la région N (on admettra que la quasi-neutralité dans la région N est préservée quel que soit le niveau de courant).
- Déduire des calculs précédents, l'équation de la caractéristique statique  $(J, V_a)$  dans les deux cas suivants :  $p(x) \ll N_D$  et  $p(x) \gg N_D$ .
- Calculer la densité de courant  $J$  lorsque la tension appliquée  $V_a=500 \text{mV}$ .