

# TD Jonction PN

## Objectifs

- Voir et mettre en pratique la méthode du diagramme de bandes pour analyser un composant.
- Expliquer le fonctionnement de la jonction PN

## Rappels

- Dans un solide cristallin comme les semiconducteurs (SC) le niveau de Fermi :
  - est quasiment au milieu de la bande interdite dans un SC intrinsèque
  - se rapproche de  $E_c$  (niveau bas de la bande de conduction) dans un SC dopé N
  - se rapproche de  $E_v$  (niveau haut de la bande de valence) dans un SC dopé P
- Le lien entre la densité de porteurs et la distance au niveau de Fermi est donné par :

$$n = N_c \exp\left(\frac{E_F - E_c}{k_B T}\right) \quad p = N_v \exp\left(\frac{E_v - E_F}{k_B T}\right),$$

avec  $N_c \approx N_v$

- Le produit  $np$  est indépendant du niveau de Fermi et du dopage, on a

$$np = n_i^2,$$

avec  $n_i$  la densité de porteur du SC intrinsèque.

## I Équilibre thermodynamique d'un SC

**Question 1** Quelles sont les conditions permettant de caractériser l'équilibre thermodynamique ?

**Question 2** Dans un SC dopé, quelles sont les différentes charges électriques à considérer en pratique ? Lesquelles sont dominantes dans un SC dopé N ? Qu'en est-il pour un SC dopé P ?

## II Jonction PN à l'équilibre

On considère deux SC, l'un dopé N avec une densité de donneurs  $N_D$  et l'un dopé P avec une densité d'accepteurs  $N_A$ . On crée une jonction PN en venant juxtaposer ces deux SC.

**Question 3** Tracer le diagramme de bandes de chaque SC avant la juxtaposition. Tracer ensuite celui de la jonction PN loin de la zone de juxtaposition. Nous verrons par la suite l'allure du diagramme au niveau de la jonction.

**Question 4** Exprimer la différence entre les niveaux de la bande de valence/conduction de chaque côté de la jonction en fonction de  $N_A$ ,  $N_D$  et  $n_i$ .

**Question 5** Comment évolue la densité de porteurs au niveau de la jonction (on raisonnera sur la distance entre le niveau de Fermi et les bandes de conduction/valence) ? Quelle est l'allure de cette évolution (linéaire, quadratique, exponentielle) ? Comment cela se traduit-il au niveau des charges présentes dans la zone ?

**Question 6** Faire un bilan des charges dans chaque zone. En déduire le lien entre les taux de dopage et la taille de la ZCE.

**Question 7** Quelles équations de l'électrostatique permettent de faire le lien entre des zones électriquement chargées et le potentiel électrique ? En déduire l'allure du potentiel électrique en fonction de la distance à la jonction.

**Question 8** Comment se traduit ce potentiel électrique au niveau de l'énergie des bandes ? En déduire la différence de tension électrique entre les zones P et N et le diagramme de bande complet. Quelle est la valeur du potentiel électrique de la jonction pour  $N_D = 10^{22} \text{ m}^{-3}$ ,  $N_A = 10^{22} \text{ m}^{-3}$ ,  $n_i = 10^{16} \text{ m}^{-3}$ ,  $k_B T = 25 \cdot 10^{-3} \text{ eV}$  et  $q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 1 \text{ eV} \cdot \text{V}^{-1}$  ?

Il s'est donc formé une barrière de potentiel au niveau de la jonction. Seuls les électrons ayant une énergie supérieure à  $E_c(N) + qV_{NP}$  pourront la franchir.

### III Pour aller plus loin : jonction PN hors équilibre

**Question 9** Dans un matériau présentant des charges (porteurs) mobiles, quelles sont les phénomènes contribuant à leur mouvement ?

**Question 10** Faire un bilan complet (qualitatif) des déplacements des porteurs à l'équilibre.

On applique une tension  $V_{app}$  entre la zone P et la zone N. On considère le potentiel positif du côté P et le négatif du côté N.

**Question 11** Que se passe-t-il au niveau du diagramme de bande pour  $V_{app} \geq 0$  ? Et pour  $V_{app} \leq 0$  ? À quel composant électronique cela vous fait-il penser ?

**Question 12** Comment évoluent les courants avec l'application de la tension  $V_{app}$  ? En déduire l'expression du courant dans le composant en fonction de  $V_{app}$ .

### IV Pour aller plus loin : épaisseur de la ZCE

Revenons sur la zone de charge d'espace qui s'est créée au niveau de la jonction.

**Question 13** Quels sont les valeurs de  $x_p$  et  $x_n$  délimitant la ZCE ? Application numérique pour  $N_D = 10^{22} \text{ m}^{-3}$ ,  $N_A = 10^{22} \text{ m}^{-3}$ ,  $n_i = 10^{16} \text{ m}^{-3}$ ,  $k_B T = 25 \cdot 10^{-3} \text{ eV}$ ,  $\epsilon = 1.05 \cdot 10^{-10} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$  et  $q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 1 \text{ eV} \cdot \text{V}^{-1}$ .