

Corrigé du TD Composant 2: SC extrinsèque

Disclaimer : Ce corrigé n'a pas pour but de vous fournir un détail des calculs vus en TD, mais de vous résumer les notions clés dont vous aurez besoin pour résoudre ces exercices, les avertissements vis à vis de certaines erreurs classiques, quelques digressions vues en séances, les détails des passages les plus techniques ainsi que les réponses aux différentes questions. Pour obtenir un corrigé détaillé, il vous faudra donc vous référer aux notes prises en TD ou reprendre vous même les calculs à partir des notions présentées dans le présent corrigé.

En cas de difficultés, **n'hésitez pas à me contacter**, nous pourrions en discuter soit par mail soit en début de séance suivante. Ce corrigé n'a pour but que d'être une base de travail pour vous et de servir de complément par rapport à ce que vous avez sûrement noté en séance, il n'est en aucun cas fait pour se suffire à lui même.

1. **Notion clé :** Reprenez l'expression du TD1 composant : $n_i = p_i = \sqrt{N_C N_V} \exp\left(-\frac{E_G}{2kT}\right)$.

AN : $n_i = p_i = 5,95 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$

2. **Notion clé :** Là encore, reprenez directement l'expression du TD1 : $\rho = \frac{1}{en_i(|\mu_n| + |\mu_p|)}$.

AN : $\rho = 3,1 \cdot 10^{-1} \Omega \cdot \text{cm}$

Notion clé :

* $R = \frac{\rho \ell}{S}$

* $U = RI$

Résultat : $I = \frac{US}{\rho \ell}$

AN : $I = 107 \text{ mA}$

3. **Notion clé :** D'après le TP1, $\rho \propto \exp\left(-\frac{E_G}{RT}\right)$

4. On dope le semi conducteur de sorte à avoir plus de porteur négatifs que positifs, il s'agit donc d'un dopage de type N.

Plus précisément, l'atome de phosphore est un atome donneur d'électron, en plus des liaisons de valence qu'il nouera dans le cristal, il restera un électron qui occupera une orbitale délocalisée autour de l'ion P^+ . Ce sont ces électrons qui contribueront à l'abondance de charges négatives dans le SC.

5. On demande ici de tracer le graphe $\frac{n}{N_D}$ en fonction de T .

Le graphe est composé de trois parties :

- * Un régime de gel qui se traduit par une augmentation exponentielle de $\frac{n}{N_D}$. Les électrons des orbitales délocalisées autour des atomes de P^+ passent dans la bande de conduction sous l'effet de la température.
- * Un régime d'épuisement où $N_D \gg n_i$, les électrons des orbitales délocalisées autour des atomes de P^+ sont tous passés sur la bande de conduction, mais l'énergie thermique n'est pas suffisante pour faire passer les électrons de la bande de valence à la bande de conduction. Ce régime est réalisé dans une large gamme de température (30-500K). On a alors $n \gg p$, le SC se comporte comme un SC extrinsèque de type N.
- * Un régime intrinsèque où $N_D \ll n_i$. La densité de porteur de charge intrinsèque augmente exponentiellement avec la température et dépasse la densité de donneur. Le SC se comporte alors comme un SC intrinsèque et $n = p = n_i$.

6. **Notions clés :**

$$* n = 10^4 p$$

$$* n = n_i + N_D$$

$$* np = n_i p_i = n_i^2$$

Résultat : $p = \frac{n_i}{100}$ et $n = 100 * n_i$

AN : $p = 5,94 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ et $n = 5,94 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

7. Notions clés :

$$* n = N_C \exp\left(-\frac{E_C - E_F}{kT}\right)$$

$$* P = N_V \exp\left(-\frac{E_F - E_V}{kT}\right)$$

$$* \text{D'après le TD1, } E_C - E_{F_i} = \frac{E_C - E_V}{2} + \frac{kT}{2} \ln\left(\frac{N_C}{N_V}\right)$$

$$* n = 10^4 p$$

Résultat : $E_C - E_F = E_C - E_{F_i} - 2kT \ln(10)$

AN : $E_C - E_{F_i} = 0,194 \text{ eV}$ et $E_C - E_F = 0,075 \text{ eV}$

remarque. Le niveau de Fermi se rapproche de la bande de conduction par rapport au SC intrinsèque.

8. Notions clés :

$$* \text{Statistique de Fermi-Dirac : } f_n(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_F}{kT}\right)}$$

$$* f_n(E_C) = \frac{\text{densité de porteur dans la bande de conduction}}{\text{densité d'états disponibles}} = \frac{n}{N_C}$$

AN : Pour la première méthode, $f_n(E_C) = 5,18 \cdot 10^{-2}$

Pour la deuxième méthode, $f_n(E_C) = 5,42 \cdot 10^{-2}$.

remarque. Dans le cas d'un SC intrinsèque, $f_n(E_C) = 5,42 \cdot 10^{-4}$.

9. Notions clés :

$$f_p(E_V) = 1 - f_n(E_V)$$

Pour calculer $f_n(E_V)$, je vous laisse adapter l'une des méthodes utilisées dans la question précédente pour E_V au lieu de E_C .

AN : Pour la première méthode, $f_p(E_V) = 1,59 \cdot 10^{-5}$

Pour la deuxième méthode, $f_p(E_V) = 1,6 \cdot 10^{-5}$.

10. Notion clé :

$$\text{Statistique de Fermi-Dirac : } f_n(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_F}{kT}\right)}$$

AN : $f_n(E_D) = 0,238$

11. Notions clés :

$$* N_D = n_D + n_+$$

* En régime d'épuisement, on considère $n_+ \approx n$

$$* f_n(E_D) = \frac{n_D}{N_D}$$

Résultat : $N_D = \frac{n}{1 - f_n(E_D)}$ et $n_D = N_D - n$

AN : $N_D = 7,795 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

$n_D = 1,85 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

12. Notions clés :

$$* \tau = \frac{N_D}{N_{InAs}}$$

$$* N_{InAs} = \frac{\rho N_A}{M_{InAs}}$$

$$* M_{InAs} = \frac{M_{In} + M_{As}}{2}$$

$$\mathbf{AN} : \tau = 2,19 \cdot 10^{-6}$$

13. Notion clé : $\rho = \frac{1}{en_i(|\mu_n| + |\mu_p|)}$.

$$\mathbf{AN} : \rho = 3,18 \cdot 10^{-3} \Omega.cm$$

remarque. La conductivité est bien plus élevée que dans le cas intrinsèque

Il est possible de la ramener à la valeur avant dopage par un dopage supplémentaire de type P.