

Travaux dirigés – Série 3

Problème n°1 : Conductivité électrique-étude comparative

On considère un cristal de Germanium, de longueur $L=2 \text{ mm}$ et de section $S=1 \text{ mm}^2$, à $T = 300\text{K}$;

Partie 1 : Semi-conducteur intrinsèque

- 1- Déterminer la position du niveau de Fermi intrinsèque d'un tel cristal ;
- 2- Calculer la concentration intrinsèque ;
- 3- Combien d'atomes de Ge donnent naissance à une paire électron/trou ?
- 4- Calculer sa conductivité électrique ;
- 5- A quelle température doit-on porter ce cristal pour que sa conductivité électrique soit 50 fois plus élevée que celle à la température ambiante.

Partie 2 : Semi-conducteur extrinsèque

Ce cristal est fortement dopé par du phosphore dont la concentration est $N_d = 2.10^{14} \text{ cm}^{-3}$.

- 1- Quelle est la nature du dopage de ce semi conducteur ?
- 2- Tous les atomes de phosphore participent à la conduction ; expliquer cette phrase ;
- 3- Calculer la concentration en trous et électrons ;
- 4- Calculer la nouvelle conductivité électrique ;
- 5- . Interpréter ce résultat ;

$$M_{\text{Ge}}=72,59 \text{ g/mol}$$

$$\rho=5,33\text{g/cm}^3$$

$$E_g=0,66\text{eV}$$

$$m_e^* = m_t^* = \frac{1}{2} m_0$$

$$\mu_n = 4500 \text{ cm}^2/\text{V.s}$$

$$\mu_p = 3500 \text{ cm}^2/\text{V.s}$$

$$k_B = 8,625 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$$

$$\frac{\hbar^2}{2m_0} = 3,8 \text{ eV \AA}^2$$

$$m_0=9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$k_B = 8,625 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$$

$$N_{\text{avo}} = 6,02 \cdot 10^{23}$$

Problème n°2 : Semi-conducteurs intrinsèque et extrinsèque

Un semi-conducteur intrinsèque est un semi-conducteur non dopé, c'est à dire qu'il contient peu d'impuretés (atomes étrangers) en comparaison avec la quantité de trous et d'électrons générés thermiquement.

Pour mieux appréhender le comportement des semi-conducteurs, nous devons étudier plus en détail les populations d'électrons et de trous dans chacune des bandes de conduction et de valence. Aussi, nous allons réaliser un bilan électronique des semi-conducteurs intrinsèques. Pour ce faire, nous devons introduire la notion de *densité d'états* énergétique). Cette grandeur, dépendante de l'énergie électronique E , correspond à la place disponible pour les électrons dans la bande de conduction $n_c(E)$ et à la place disponible pour les trous dans la bande de valence $n_v(E)$. Pour des énergies proches des extrêmes de ces deux bandes, son tracé est parabolique.

Un semi-conducteur extrinsèque est un semi-conducteur intrinsèque dopé par des impuretés spécifiques lui conférant des propriétés électriques adaptées aux applications électroniques (diodes, transistors, etc...) et optoélectroniques (émetteurs et récepteurs de lumière, etc...).

1^{ère} partie : Semi-conducteur intrinsèque

- 1- Un semi-conducteur intrinsèque est un semi-conducteur non dopé, c'est à dire qu'il contient peu d'impuretés (atomes étrangers) : Analyser et commenter cette phrase ;
- 2- Expliquer pourquoi on doit introduire la notion de densité d'états énergétiques ;
- 3- En utilisant l'approximation de Maxwell-Boltzmann, établir les expressions des concentrations des électrons et des trous dans les bandes de conduction et de valence ;
- 4- En déduire l'expression de la concentration intrinsèque ;
- 5- Etablir l'expression du niveau de Fermi intrinsèque ;
- 6- Donner l'expression de la conductivité intrinsèque ;
- 7- Application :

2^{ème} partie : Semi-conducteur extrinsèque

On désire produire un semi-conducteur extrinsèque de type **P** en utilisant du silicium pur. À température ambiante (20 °C), ce semi-conducteur extrinsèque doit avoir une conductivité électrique **σ de valeur 200 S/m**. On supposera que tous les porteurs de charge de l'élément dopant participent à la conduction à température ambiante.

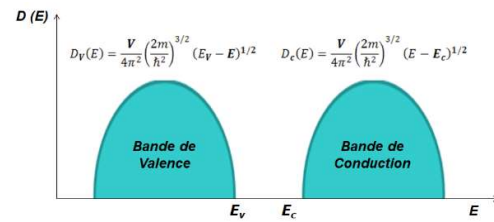
- 1- Expliquer la phrase « **tous les porteurs de charge de l'élément dopant participent à la conduction** » ;
- 2- Expliquer pourquoi la concentration des porteurs de charges est égale à celle des atomes dopants ;
- 3- À quelle température devrait-on porter le silicium pur pour qu'il ait la conductivité recherchée ;
- 4- Quel élément dopant doit-on utiliser pour obtenir un Silicium de type **P** ;
- 5- Quelle doit-être la concentration atomique d'élément dopant à ajouter au Silicium pour obtenir la conductivité recherchée ; exprimer cette concentration en **ppm**¹ atomique ;
- 6- Si on souhaite obtenir, dans les mêmes conditions, un semi-conducteur extrinsèque de type **N** ;
 - a- Quel élément dopant doit-on utiliser pour obtenir un Silicium de type **N** ;
 - b- Quelle serait la valeur de la concentration atomique d'éléments dopants ; exprimer cette concentration en **ppm** atomique ;
- 7- Donner une interprétation à ses résultats.

Recommandations

N_C et N_V sont indépendants de la température

Pour chaque type de semi-conducteur, les concentrations des porteurs minoritaires seront négligées

¹ **ppm** : **particules par million**



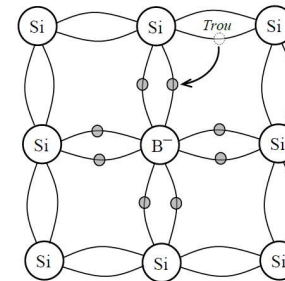
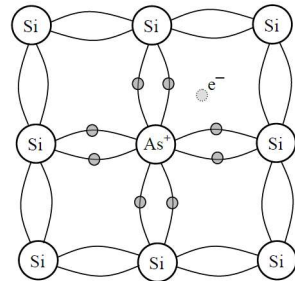
$$I(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha} \cdot e^{-x} \cdot dx = \alpha \sqrt{\pi}$$

Tableau périodique des éléments

La plupart des éléments chimiques sont des métaux

métalloïdes non - métaux

1a																	10a																	18a																	18a																																																										
1 H																	2 He																	10 Ne																	18 Ar																																																										
2 Li	3 Be																	12 Mg																	20 Ca																	28 Fe																	36 Kr																																								
3 Na	4 Mg	11b	12b	13b	14b	15b	16b	17b	18b	19b	20b	21b	22b	23b	24b	25b	26b	27b	28b	29b	30b	31b	32b	33b	34b	35b	36b	37b	38b	39b	40b	41b	42b	43b	44b	45b	46b	47b	48b	49b	50b	51b	52b	53b	54b	55b	56b	57b	58b	59b	60b	61b	62b	63b	64b	65b	66b	67b	68b	69b	70b	71b	72b	73b	74b	75b	76b	77b	78b	79b	80b	81b	82b	83b	84b	85b	86b	87b	88b	89b	90b	91b	92b	93b	94b	95b	96b	97b	98b	99b	100b	101b	102b	103b	104b	105b	106b	107b	108b	109b	110b	111b	112b	113b	114b	115b	116b	117b	118b
4 K	5 Ca	6 Sc	7 Ti	8 V	9 Cr	10 Mn	11 Fe	12 Co	13 Ni	14 Cu	15 Zn	16 Ga	17 Ge	18 As	19 Se	20 Br	21 Kr																	36 Kr																	54 Xe																	86 Rn																																									
5 Rb	6 Sr	7 Y	8 Zr	9 Nb	10 Mo	11 Tc	12 Ru	13 Rh	14 Pd	15 Ag	16 Cd	17 In	18 Sn	19 Sb	20 Te	21 I	22 Xe																	54 Xe																	86 Rn																																																										
6 Cs	7 Ba	8 La	9 Hf	10 Ta	11 W	12 Re	13 Os	14 Ir	15 Pt	16 Au	17 Hg	18 Tl	19 Pb	20 Bi	21 Po	22 At	23 Rn																	86 Rn																																																																											
7 Fr	8 Ra	9 Ac	10 Th	11 Pa	12 U	13 Np	14 Pu	15 Am	16 Cm	17 Bk	18 Cf	19 Es	20 Fm	21 Md	22 No	23 Lr																	86 Rn																																																																												



$$E_g = 1,1 \text{ eV}$$

$$N_C = 2,7 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$$

$$N_V = 1,2 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$$

$$\mu_n = 1,4 \cdot 10^5 \text{ mm}^2/\text{Vs}$$

$$\mu_p = 0,5 \cdot 10^5 \text{ mm}^2/\text{Vs}$$

$$\rho_{\text{Si}} = 2,33 \text{ g/cm}^3$$