

Fiche : Semi-conducteur

Annabelle Peyronnet

13 juin 2022

Biblio

- Introduction à la chimie du solide, Smart Moore
- L'indispensable en état solide
- Chimie des solides, Marucco
- exercices de chimie des solides, marucco
- BUP 683 Semis-conducteurs et diode
- Agrégation interne de sc physiques opt phys chimie 2010, composition avec exercices d'application
- Cours Martin et Tanguy sur la chimie du solide
- Cours ESPCI <https://cours.espci.fr/site.php?id=26&fileid=1418>

Introduction

1 Les semi-conducteurs

1.1 Structure de bandes

Source : Marucco p.136, 170, 284

Les propriétés électroniques des solides peuvent être mises en évidence grâce aux diagrammes de bandes d'énergie. Ces diagrammes sont établis à partir des niveaux atomiques des éléments du solide. Une bande non totalement remplie est conductrice, le solide a un comportement métallique.

On peut classer les solides selon leurs propriétés de conduction :

- Métal : conducteur, la dernière bande d'énergie occupée n'est pas complètement remplie, les électrons qui conduisent le courant se trouvent au voisinage du niveau de Fermi
- Isolant : ne conduit pas le courant, la dernière bande d'énergie occupée est pleine et séparée de la première bande vide par un gap de plusieurs eV
- Semi-conducteur : début identique à isolant sauf que le gap est faible (inférieur à 3 eV)

Ordre de grandeur de σ à T_{amb} : pour un isolant 10^{-22} - 10^{-9} S/cm ; pour un semi-conducteur 10^{-9} - 10^2 S/cm ; pour un métal $> 10^2$ S/cm.

Si on prend l'exemple de la colonne 14, la structure électronique des éléments est $ns^2 np^2$, soit 4 e- de valence. Les 3 premiers éléments sont semi-conducteurs ou isolant, les 2 derniers sont des métaux. Les niveaux liants et anti-liants sont séparés d'un gap. On a une bande de conduction, une bande interdite et une bande de valence.

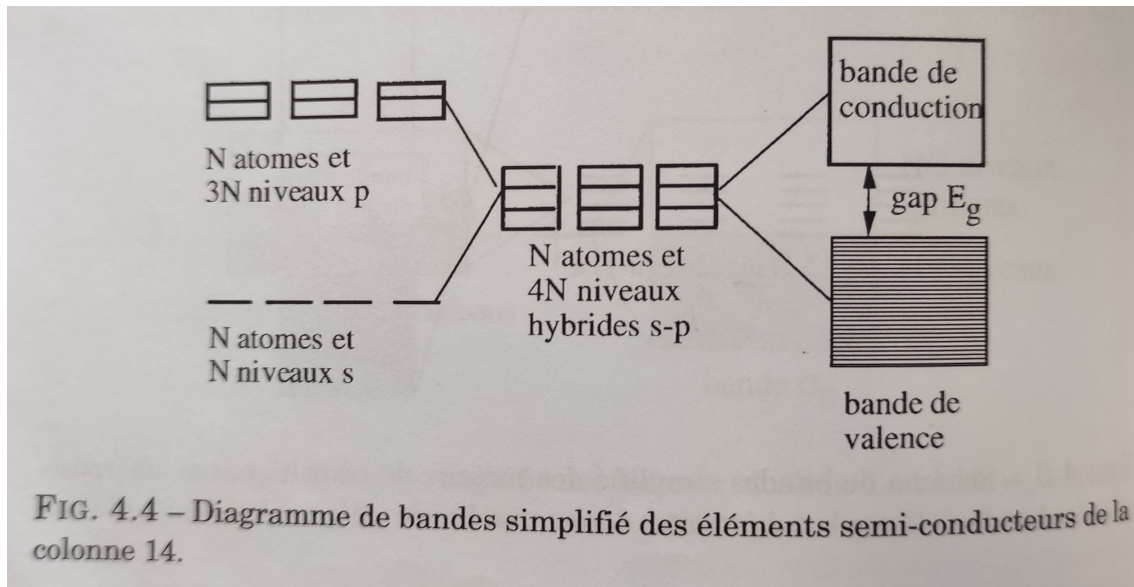


FIGURE 1 – (Marucco p.170)

On caractérise les semi-conducteurs par leur gap E_g . Pour les semi-conducteurs dont le gap est inférieur à 2 eV on parle de semi-conducteur intrinsèque. Pour un semi-conducteur intrinsèque on a $n=p$ où n est le nombre d'électron de valence excités et p le nombre de trous.

TAB. 4.1 – Propriétés de conduction de C, Si et Ge à 300 K.

Élément	E_g (eV)	résistivité ρ ($\Omega.m$)	
C	7	10^{12}	isolant
Si	1,1	10^3	très peu conducteur
Ge	0,67	10^0	peu conducteur

FIGURE 2 – (Marucco p.170)

Le gap diminue si on prend des atomes du bas du tableau périodique car β (recouvrement) augmente (bandes s'élargissent).

1.2 Evolution de la conductivité avec la température, masse effective

Dans le cas général, la conductivité σ s'exprime comme :

$$\sigma = ne^2 \frac{\tau}{m^*}$$

où n est la densité de porteur de charge, e la charge élémentaire, τ le temps entre deux collisions dans le réseau et m^* la masse effective.

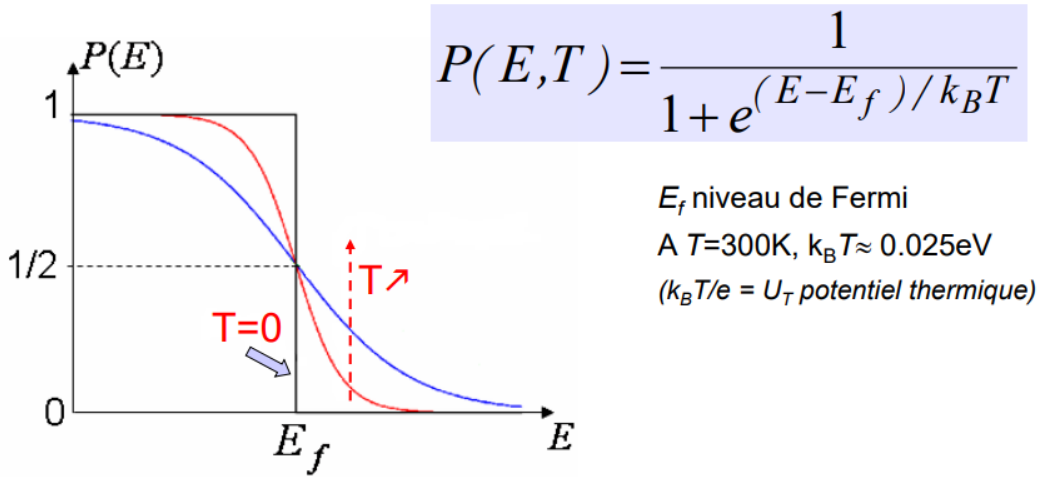
L'accélération ressentie par les e^- dans un champ électrique est d'autant plus grande que sa masse effective est faible : meilleure conduction.

Pour un métal, lorsque T augmente, le nombre de collision augmente, donc le temps entre deux collisions diminue, ainsi que la conductivité. Pour un semi-conducteur, la conductivité augmente lorsque T augmente.

En effet, l'agitation thermique permet de passer le gap. A $T > 0K$, le peuplement d'une bande à un niveau d'énergie E est ajustée par la fonction de Fermi Dirac :

$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_f}{k_B T}\right)}$$

Probabilité d'occupation par un électron d'un niveau d'énergie E à la température T : fonction de FERMII-DIRAC



- A $0^\circ K$, $P(E)=1 \Rightarrow$ Tous les états d'énergie au-dessous du niveau de Fermi E_f sont occupés, au-dessus ils sont vides
- Niveau d'énergie à $E_f + 3k_B T$: probabilité de 5% d'être occupé

FIGURE 3 – (Cours ESPCI)

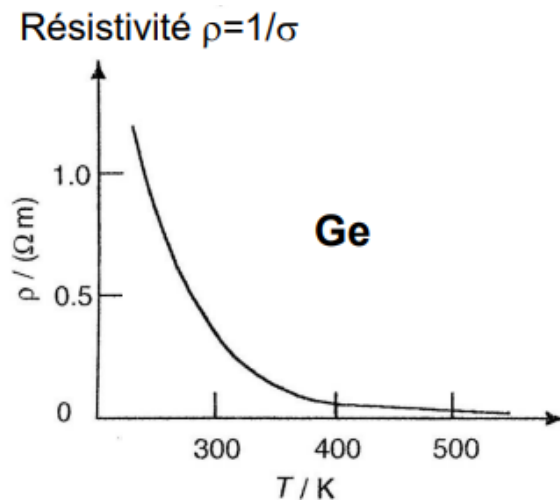


FIGURE 4 – (Cours ESPCI)

2 Dopage

On peut augmenter la conductivité des semi-conducteurs en introduisant une faible quantité d'impuretés. On appelle alors les semi-conducteurs : semi-conducteurs dopés ou semi-conducteurs extrinsèques.

2.1 Type N

On substitue des éléments du matériau par un élément de valence supérieure. C'est le cas si P substitue Si. Les électrons sont les porteurs de charges majoritaires.

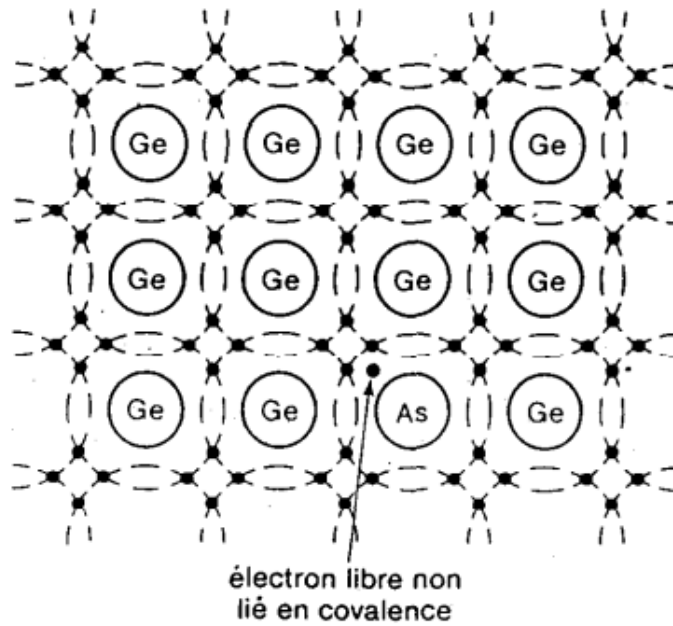


Fig. 3. — Dopage d'un cristal avec une impureté pentavalente pour produire des électrons libres.

FIGURE 5 – (BUP 683)

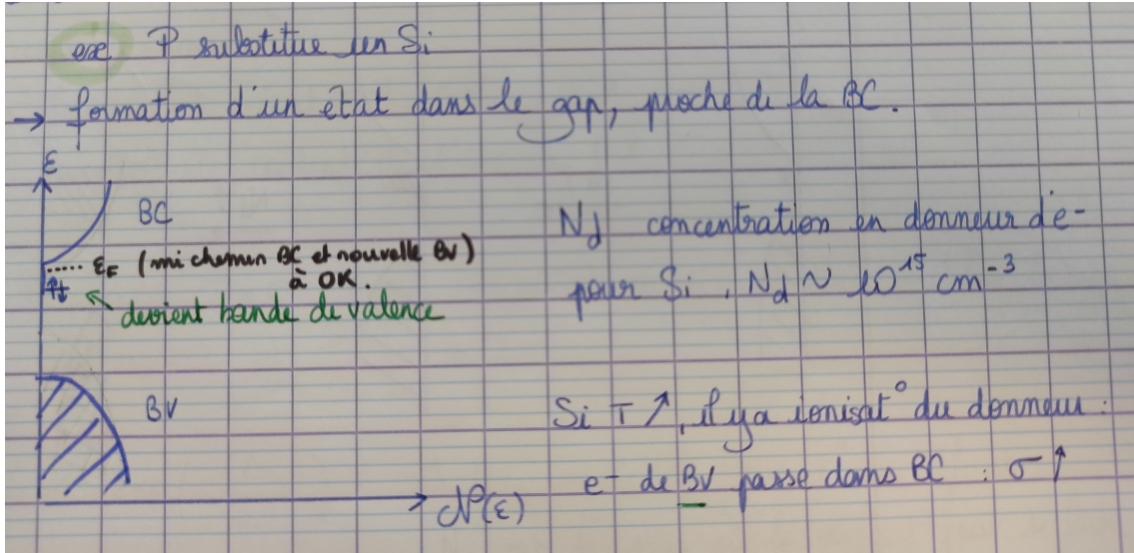
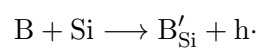


FIGURE 6 – (Cours Tanguy)

Exercice 9.3 de exercices de chimie des solides Marucco sur le germanium dopé par le phosphore, avec des valeurs.

2.2 Type P

C'est le cas du silicium dopé par le bore. Le bore a un électron de valence de moins que le silicium.



$$p = [\text{h}\cdot] = [\text{B}'_{\text{Si}}]$$

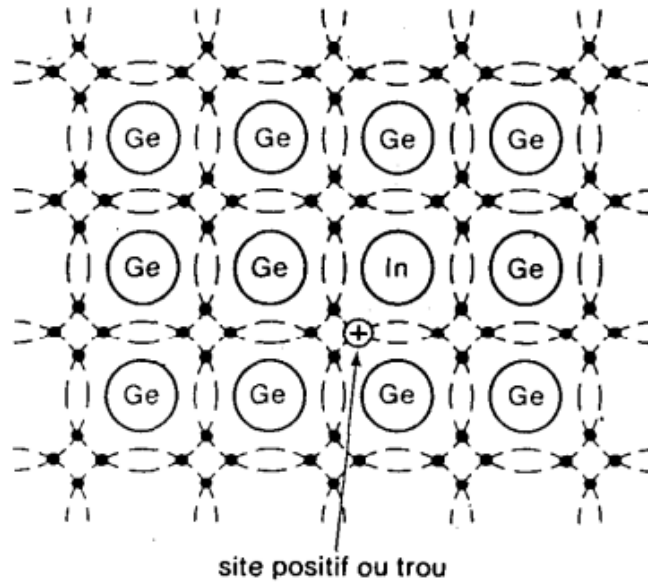


Fig. 5. — Dopage d'un cristal avec une impureté trivalente pour produire des « trous » ou « sites positifs ».

FIGURE 7 – (BUP 683)

Pour chaque atome de silicium remplacé par un atome de bore, il manque un électron dans la bande de valence. Il y a donc des trous positifs qui permettent aux électrons proches de du sommet de la bande de conduire le courant.

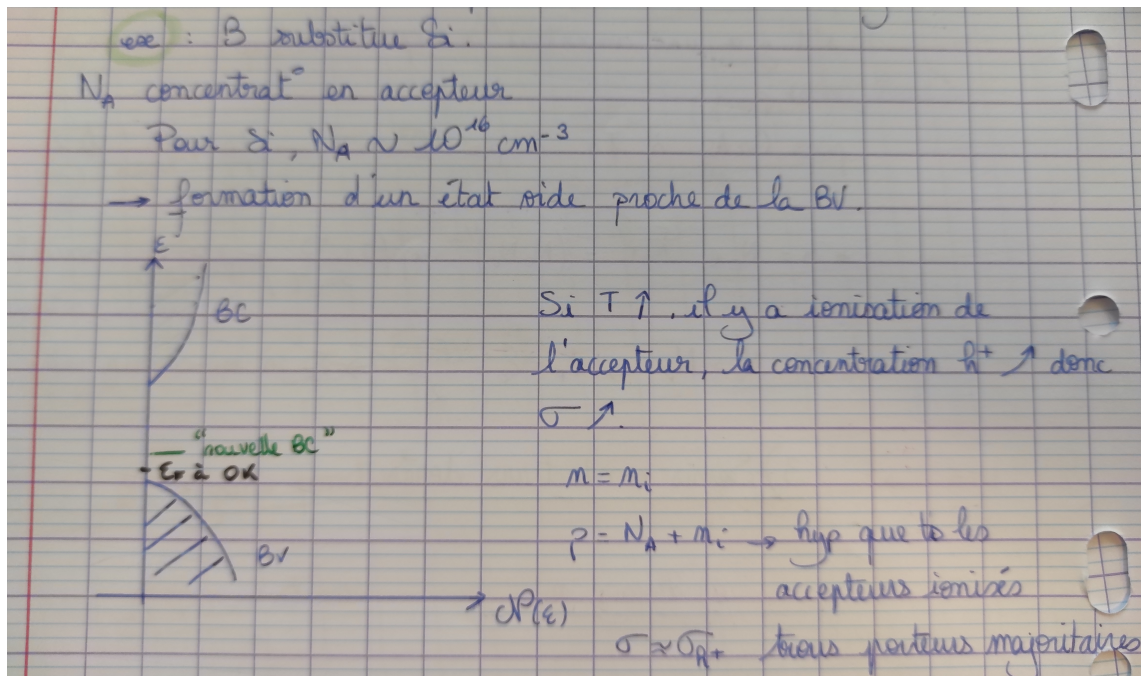


FIGURE 8 – (Cours Tanguy)

3 Application des semi-conducteurs

3.1 Jonction p-n

Source : Smart p.140, cours Tanguy

Si on met des semis-conducteurs de type n et p en contact, on a une discontinuité de la concentration des électrons. Pour égaliser cette concentration, les électrons se déplacent de la zone n vers la zone p, le champ électrique créé un retour des électrons vers la zone n.

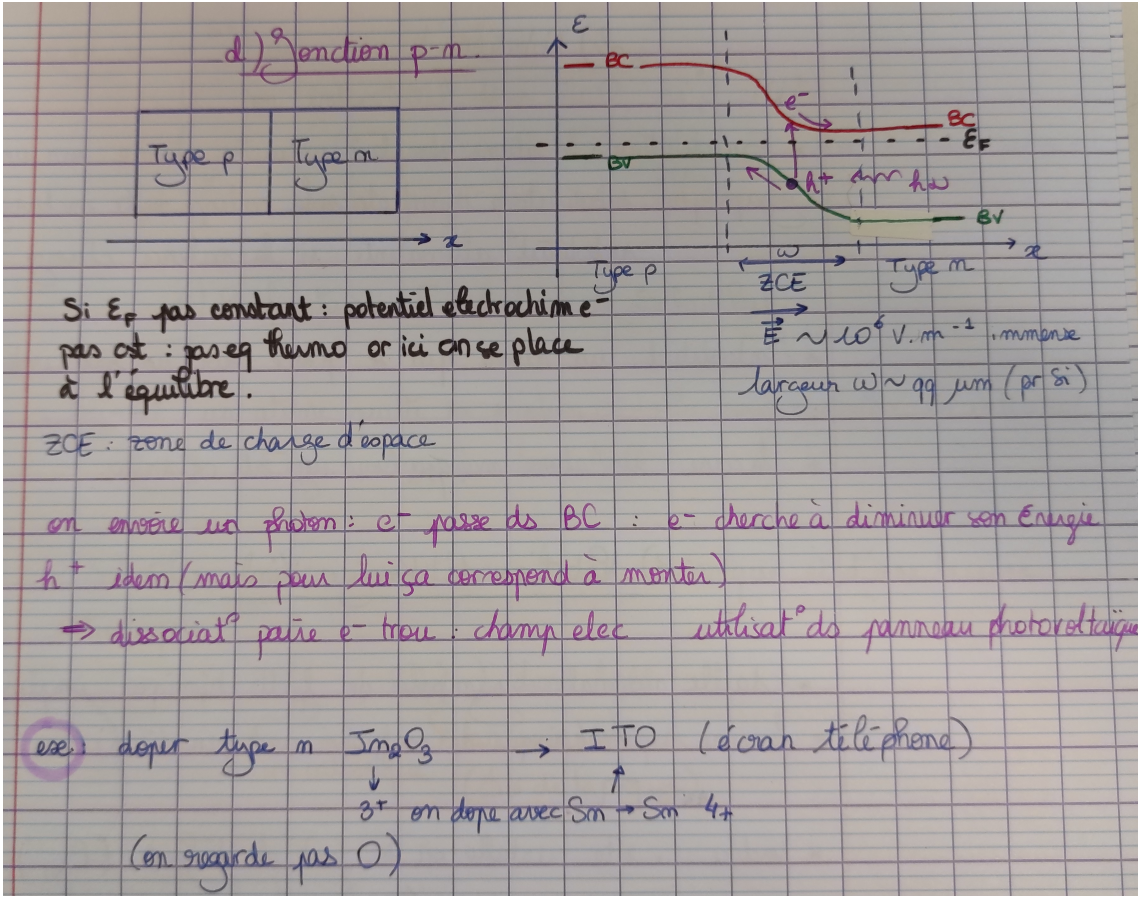


FIGURE 9 – (Cours Tanguy)

3.2 Application au panneau photovoltaïque

Source : Agreg interne 2010

On peut fabriquer une cellule photovoltaïque à base de silicium en utilisant une jonction p-n. Sous l'action de la lumière (absorption d'un photon permet à un électron de passer de la bande de valence à la bande de conduction), il va y avoir formation d'une paire e^- - trou, le champ électrique de la jonction p-n permet de séparer ces charges. Leur migration est à l'origine du courant électrique.

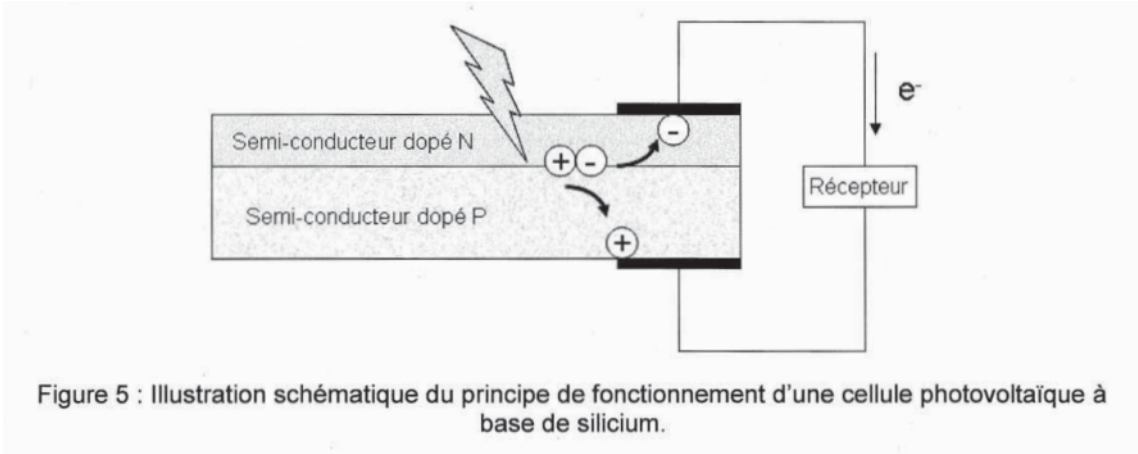


FIGURE 10 – (Agreg interne 2010)

3.3 Application pour une diode

Source : BUP 683