

Rappels sur les propriétés des semiconducteurs

I. Introduction

Par technologie de fabrication des dispositifs semiconducteurs, on entend l'ensemble des procédés physiques, mécaniques et chimiques de traitement des différents matériaux semiconducteurs servant à la conception des composants et circuits intégrés. Les matériaux semiconducteurs constituent la base de l'industrie de l'électronique. Les composants électroniques mettent à profit les propriétés des électrons dans les semiconducteurs, il est donc nécessaire avant d'aborder l'étude des différents procédés de fabrications de dispositifs à base de silicium ou d'autres matériaux semiconducteurs de rappeler quelques propriétés importantes de ces matériaux.

II. Propriétés des semiconducteurs

II.1. Structure de bandes d'un semiconducteur

Moyennant certaines approximations on peut restreindre le problème à un unique électron soumis à un potentiel moyen. Une résolution numérique de l'équation de **Schrödinger** dans l'espace réciproque, permet alors de connaître l'évolution de l'énergie des électrons en fonction du vecteur d'onde \vec{k} : **c'est le diagramme des bandes d'énergie**. Ce diagramme fait apparaître bandes d'énergies particulières :

- ✓ une bande de faibles énergies, appelée **bande de valence (BV)**. Les électrons présents dans cette bande sont liés aux atomes et participent aux liaisons covalentes.
- ✓ une bande de plus hautes énergies, appelée **bande de conduction (BC)**. Les électrons de cette bande sont libres de se déplacer (d'où le nom de conduction) : ils participent donc aux courants.
- ✓ une bande intermédiaire. C'est une **bande interdite**, c'est à dire qu'aucun électron ne peut se situer dans cette bande. L'énergie minimale séparant les deux bandes de conduction et de valence est appelée **énergie de gap**. Elle sera notée **Eg**.

Remarque : En réalité, il existe deux bandes de valences dans la plupart des semiconducteurs, qui coïncident en $k = 0$ (on dit alors qu'il y a dégénérescence). Par soucis de simplicité, nous n'en considérerons qu'une seule par la suite.

II.2. Description des bandes

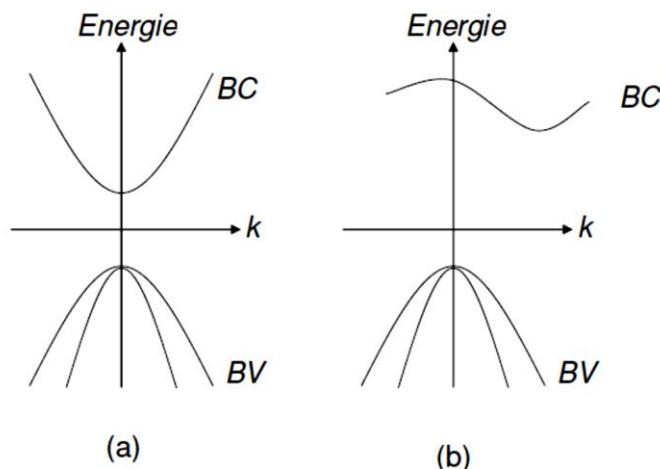


Figure 1. Allure du diagramme des bandes d'énergie : (a) GaAs ; (b) Si.

Dans l'espace réciproque (espace des \vec{k}), les positions respectives des extrema des bandes de valence et de conduction peuvent présenter deux configurations (figure 1) :

- Le maximum de la bande de valence et le minimum de la bande de conduction correspondent à la même valeur de \vec{k} : **Semiconducteurs à gap direct** : GaAs, GaN, InP...
- Les deux extrema (Minimum et maximum) sont disposés en des points différents de l'espace de \vec{k} : **Semiconducteurs sont à gap indirect** : Si, Ge, GaP...

Ordres de grandeurs à température ambiante (T=300K), on a les gaps suivants :

Semiconducteur	Gap (eV)	Nature du Gap	Groupe
Silicium	$E_g(Si) = 1.12 \text{ eV}$	Indirect	IV
Arséniure de Gallium	$E_g(GaAs) = 1.42 \text{ eV}$	Direct	III-V
Germanium	$E_g(Ge) = 0.66 \text{ eV}$	indirect	IV
Phosphore d'indium	$E_g(InP) = 1.34 \text{ eV}$	Direct	III-V
Nitrite de gallium	$E_g(GaN) = 3.4 \text{ eV}$	Direct	III-V
Oxyde de zinc	$E_g(ZnO) = 3.37 \text{ eV}$	Direct	II-VI

Tableau 1. Bande interdite de quelques Semiconducteurs à température ambiante (T= 330 K)

L'optoélectronique utilise des transitions électroniques luminescentes de la BC à la BV pour la réalisation de source de lumière comme les diodes électroluminescentes (LED) et les diodes laser.

Les énergies photoniques correspondent aux énergies des bandes interdites (Tableau 1). En fonction de la longueur d'onde d'émission souhaitée, plusieurs alliages III-V sont utilisés, l'InP en infrarouge pour les télécommunications optiques, le GaAs pour les télécommandes optiques, le GaP pour les LED vertes et l'InGaN pour les LED bleues.

III. Caractérisation d'un semiconducteur

L'étude des semiconducteurs nécessite la connaissance de plusieurs paramètres caractéristiques du matériau. On caractérisera un semiconducteur par les grandeurs suivantes :

E_c et E_v : minimum de la bande de conduction et maximum de la bande de valence,

E_g : énergie du gap,

E_F : position du niveau de Fermi,

n_i : densité intrinsèque,

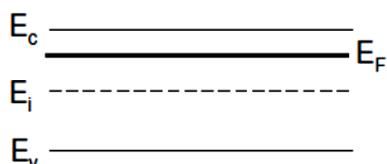
n : densité d'électrons dans la bande de conduction,

p : densité de trous dans la bande de valence,

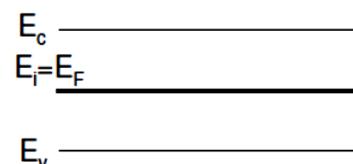
σ_n , σ_p , σ : conductivité des électrons, des trous et totale,

ρ : résistivité ($=1/\sigma$),

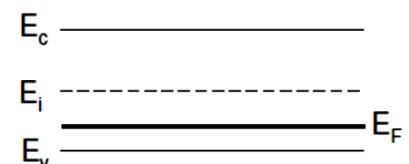
N_c , N_v : densités équivalentes d'états.



(a) : type N



(b) : intrinsèque



(c) : type P

Figure 2. Position du niveau de Fermi, à l'équilibre et dans l'espace direct : (a) dans un SC de type N, (b) dans un SC intrinsèque, (c) dans un SC de type P.

III.1. Expressions de la conductivité pour 3 types de semiconducteurs

- Pour un semiconducteur intrinsèque : $\sigma = qn_i(\mu_n + \mu_p)$.
- Pour un semiconducteur de type N : $\sigma = qN_d\mu_n + qp\mu_p \approx qN_d\mu_d$.
- Pour un semiconducteur de type P : $\sigma = qn\mu_n + qN_a\mu_p \approx qN_a\mu_p$.

Ordres de grandeurs

La mobilité est un paramètre qui varie de deux ou trois ordres de grandeurs selon le type de porteur et le type de matériaux, allant de : $100 \text{ cm}^2.\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ à environ $10000 \text{ cm}^2.\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$.

Exemples :

- Silicium (Si) : $\mu_n = 1450 \text{ cm}^2.\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$
 $\mu_p = 370 \text{ cm}^2.\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$
- Arséniure de Gallium (GaAs) : $\mu_n = 8000 \text{ cm}^2.\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$
 $\mu_p = 400 \text{ cm}^2.\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$

A partir de ces valeurs, on déduit l'intérêt de l'utilisation du GaAs en haute fréquence.

Les électrons ont une plus grande mobilité dans le GaAs que dans le Silicium.