

Gap direct et gap indirect

Définition des semi-conducteurs intrinsèques à gap direct et à gap indirect.

- **Semi-conducteurs intrinsèques à gap direct**

Dans les semi-conducteurs à gap direct le maximum de la bande de valence et le minimum de la bande de conduction sont au même point (même vecteur d'onde $\vec{k}$) dans la zone de Brillouin (ZB), figure 1 : La transition électronique entre le haut de la bande de valence (BV) et le bas de la bande de conduction (BC) conserve le vecteur d'onde ($\Delta\vec{k} = \vec{0}$)

Dans ce cas ; $\Delta\vec{p} = \hbar\Delta\vec{k} = \vec{0}$

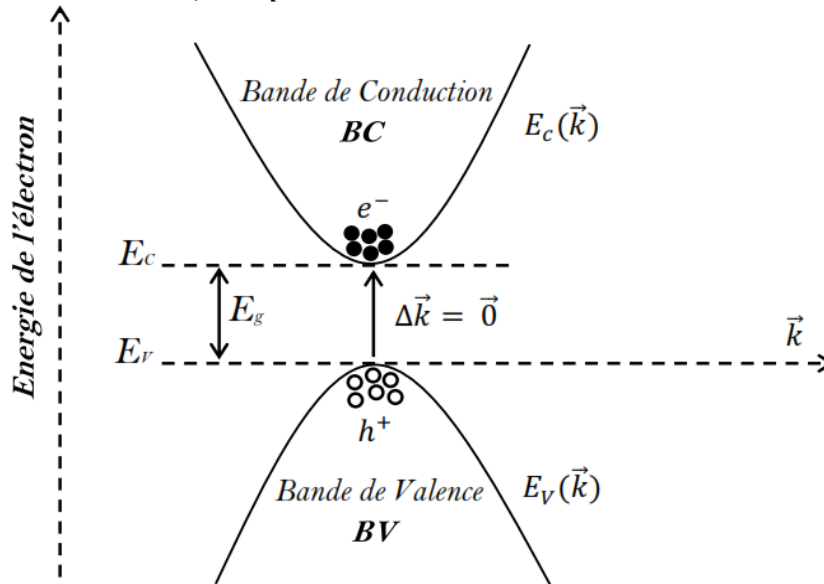


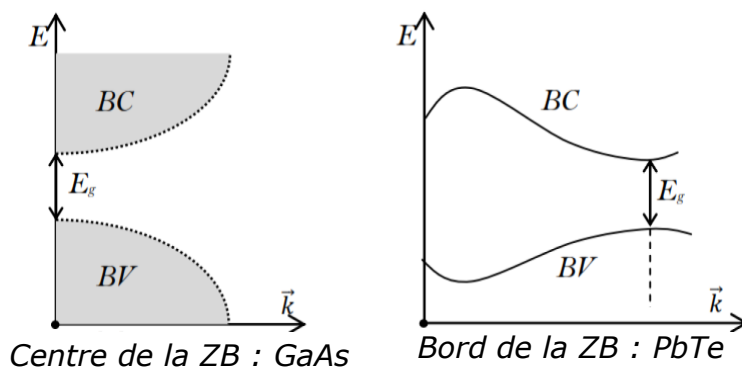
Figure1: Semi-conducteurs à gap direct

$\vec{k}$ est le vecteur d'onde associé à l'électron.

$\vec{p} = \hbar\vec{k} = m\vec{v}$: La quantité de mouvement.

$E_c(\vec{k})$ et $E_v(\vec{k})$ sont respectivement les relations de dispersion dans la bande de conduction et la bande de valence. E_c et E_v sont respectivement l'énergie minimum de la bande de conduction et l'énergie maximum de la bande de valence.

Exemples : gap direct au centre de la ZB (GaAs) et gap direct au bord de la ZB (PbTe)



- **Semi-conducteurs intrinsèques à gap indirect**

Dans le cas des semi-conducteurs à gap indirect le minimum de la bande conduction est situé à une distance $\Delta\vec{k} \neq \vec{0}$ du maximum de la bande de valence dans la zone de Brillouin (ZB), Figure 2 : La transition électronique entre le haut de la bande de valence (BV) et le bas de la bande de conduction (BC) est accompagnée par le changement de la quantité de mouvement $\Delta\vec{p}$, c'est-à-dire le vecteur d'onde n'est pas conservé ($\Delta\vec{k} \neq \vec{0}$ et $\Delta\vec{p} = \hbar\Delta\vec{k} \neq \vec{0}$)

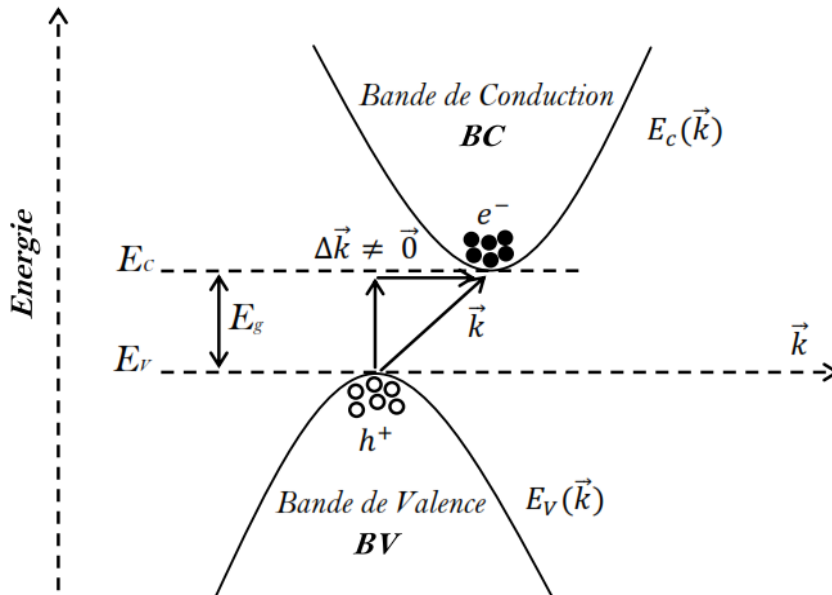
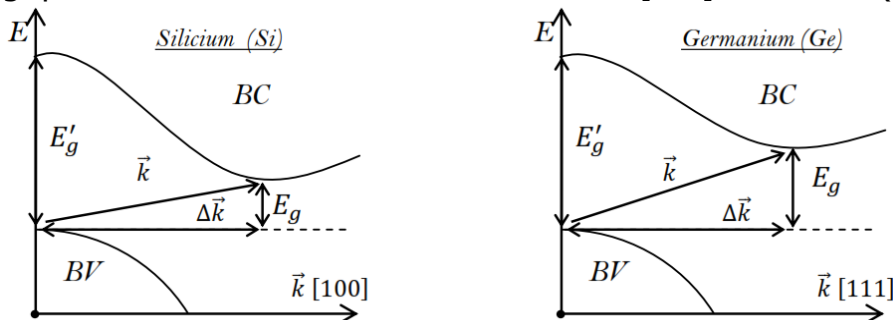


Figure2: Semi-conducteurs à gap indirect

Exemples : gap indirect suivant le vecteur d'onde $\vec{k}[100]$ de la ZB (Silicium) et gap indirect suivant le vecteur d'onde $\vec{k}[111]$ de la ZB (Germanium).



- **Porteurs de charges dans les milieux semi-conducteurs, électrons libres de conduction de la BC et les trous mobiles de la BV.**

Les propriétés électroniques des semi-conducteurs sont déterminées par les électrons excités vers la bande de conduction et les trous créés dans la bande de valence. Dans la bande de conduction, les électrons occupent les niveaux les plus proches des minima et dans la bande de valence les trous occupent les niveaux les plus proches des maxima, figures 2 et 3. Au voisinage du minimum de la bande de conduction, l'électron se comporte comme un électron libre de masse m . Afin de simplifier cette étude, on va considérer un espace à une dimension avec la bande de conduction centrée en E_c et

isotrope au voisinage de $\vec{k}_0$ La relation de dispersion $E(k)$ dans l'espace de vecteur d'onde k s'écrit :

$$E(k) = E_c + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 E}{\partial k^2} k^2$$

$$E(k) = E_c + \frac{\hbar^2}{2m_e} k^2$$

m_e : est la masse effective donnée par la relation : $m_e = \frac{\hbar^2}{\partial^2 E / \partial k^2}$ et $E_c = E(k_0)$

Dans le cas d'un semi-conducteur à gap indirect, la bande de conduction est anisotrope ($k_0 \neq 0$) avec plusieurs minima équivalents. La relation de dispersion est donnée par :

$$E(k) = E_c + \frac{\hbar^2}{2m_l} (k_{\parallel} - k_0)^2 + \frac{\hbar^2}{2m_t} (k_{\perp})^2$$

Avec : $m_l = \frac{\hbar^2}{\partial^2 E / \partial k_{\parallel}^2}$: la masse effective longitudinale.

Et $m_t = \frac{\hbar^2}{\partial^2 E / \partial k_{\perp}^2}$: la masse effective transverse

$k_{\parallel} = k_z$: Composante de k portée sur l'axe (Z)

$k_{\perp} = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$: Composante de k dans le plan (xy) perpendiculaire à l'axe Z.

Dans la bande de valence, les trous aussi se comportent comme des particules libres de masses respectives m_{hh} et m_{lh} , en figure 3, les relations de dispersion sont :

$$E_{hh}(k) = E_v - \frac{\hbar^2}{2m_{hh}} k^2$$

$$E_{lh}(k) = E_v - \frac{\hbar^2}{2m_{lh}} k^2$$

Avec $m_{hh} = \frac{m_0}{\gamma_1 - \bar{\gamma}}$: masse effective du trou lourd (*Heavy holes*)

$m_{lh} = \frac{m_0}{\gamma_1 + \bar{\gamma}}$: masse effective du trou léger (*Light holes*)

Et : $\bar{\gamma} = \sqrt{2\gamma_2^2 + 2\gamma_3^2}$; γ_1, γ_2 et γ_3 sont les paramètres de la bande de valence.

m_0 : est la masse de l'électron.

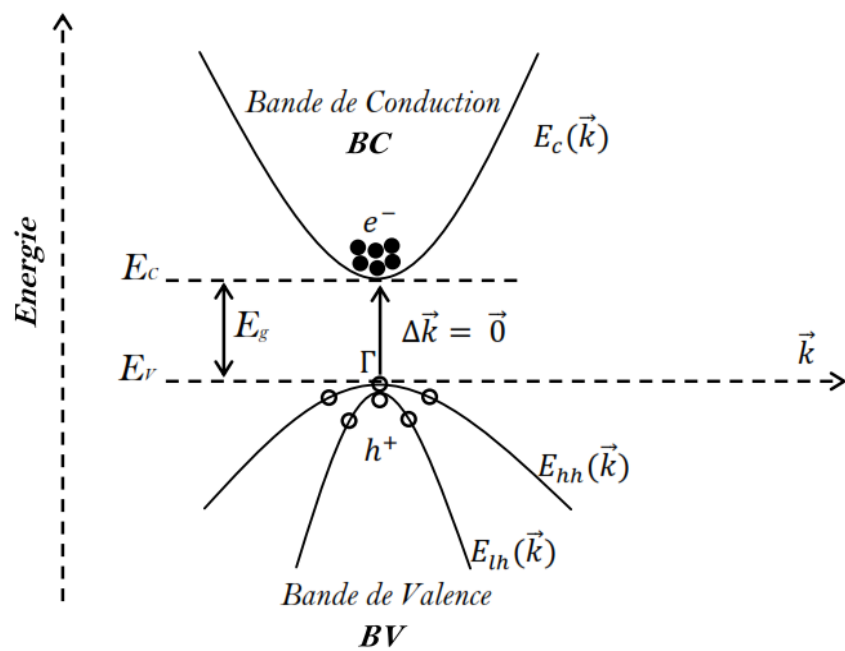


Figure 3 : Trous lourds et trous légers dans la bande de valence