FÍSICA DE SEMICONDUTORES
E NANOESTRUTURAS

04/11/2022

(continuação da ficha 5)

② (100) ⇒ vale

$K = \frac{2\pi}{a}(0{,}95;\ 0{,}1;\ 0)$ → vetor de onda dos $e^-$ de Si na BC

$\underbrace{K_{min}}_{\text{mínimo do vale}} = \frac{2\pi}{a}(0{,}85;\ 0;\ 0)$

$\underbrace{E_{e^-}}_{\text{energia dos } e^- \text{ relativamente à aresta da banda}} = ??$

→ neste vale,

$$E(k) = \underbrace{E_c}_{} + \frac{\hbar^2}{2}\left[\frac{(k_x - k_{x_0})^2}{m_e^*} + \frac{k_y^2}{m_t^*} + \frac{k_z^2}{m_t^*}\right]$$

neste exercício é 0 pois estamos a considerar em relação à aresta da banda

Dados:

$a = 5{,}43\ \text{Å}$ → $= a\ 0{,}1\ \text{nm}$

$m_e^* = 0{,}98\ m_0$

$m_t^* = 0{,}19\ m_0$

$m_0 = 9{,}1\times10^{-31}\ \text{kg}$

Basicamente, só temos que saber os valores de:

- $k_z = 0$
- $k_y = 0{,}1 \cdot \frac{2\pi}{a} = 1{,}2\times10^{9}\ \text{m}^{-1}$
- $k_x - k_{x_0} = \frac{2\pi}{a}(0{,}95 - 0{,}85) = 0{,}1 \cdot \frac{2\pi}{a} = 1{,}2\times10^{9}\ \text{m}^{-1}$

Logo,

$$E(k) = \frac{\hbar^2}{2}\left[\frac{(1,2\times 10^9)^2}{0,98\times 9,1\times 10^{-31}} + \frac{(1,2\times 10^9)^2}{0,19\times 9,1\times 10^{-31}} + 0\right] =$$

$$= 5,08\times 10^{-20}\ J = 0,315\ eV$$

③

$\hbar k = ?$ → quase-momento

↳ $e^-$ na BC do GaAs

$E_e = 0,5\ eV$ → energia do $e^-$ (medida relativamente à aresta)

$m_e^* = 0,067\ m_0$

(NOTA: este exercício é praticamente = ao exercício ①)

$$E(k) = \underbrace{E_c}_{=0} + \frac{\hbar^2 k^2}{2m_e^*}$$

$$\Downarrow$$

daqui retira-se que:

$$\hbar^2 k^2 = E(k)\cdot 2m_e^* \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \hbar k = \sqrt{2m_e^* E(k)} \Leftrightarrow \hbar k = 9,83\times 10^{-26}\ kg\ m/s$$

Se tivessem pedido o vetor de onda:

$$k = \ldots = 0,09\ Å^{-1}$$

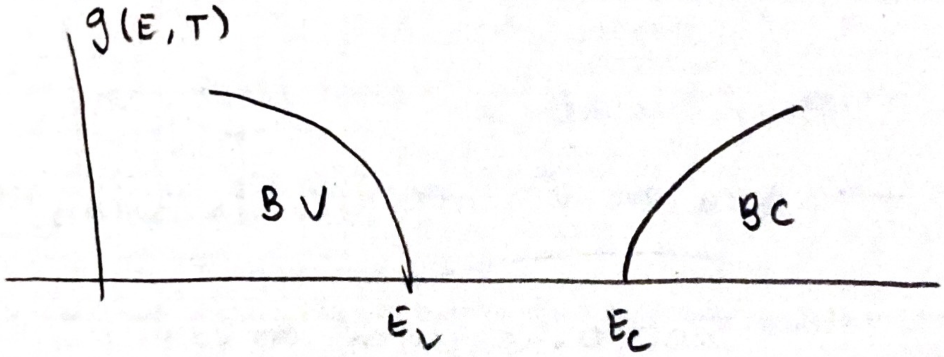
a densidade de estados tem de ser definida para cada uma das bandas (BC e BV).

↓

a energia destas n̄ começam em ∅ e temos de ter em atenção que aqui a massa será a massa efetiva do $e^-$

(...) → pedir a alguém

Logo, a descrição da densidade de estados vai ser dada por:




$g(E) \propto \sqrt{E}$

mas nos semicondutores:

- BC: $\propto \sqrt{E - E_C}$
- BV: $\propto \sqrt{\hat{E}_V - E}$

(...) → pedir a alguém

(4)

No silício:

- $m^*_{el} = 0{,}98\, m_0$
- $m^*_{hh} = 0{,}49\, m_0$
- $m^*_{et} = 0{,}19\, m_0$
- $m^*_{lh} = 0{,}16\, m_0$

Queremos saber as massas efetivas das densidades de estados!

↓

tem que ser para as 2 bandas

- Para a BC:

$$m^*_{dos} = \left[ 6^2 \, m^*_l \, m^{*2}_t \right]^{1/3} = 1{,}08 \, m_0$$

↳ isto vem dos 6 mínimos equivalentes

- Para a BV:

$$m^*_{dos} = \left( m^{*\,3/2}_{hh} + m^{*\,3/2}_{lh} \right)^{2/3} = 0{,}55 \, m_0$$

5

$m^*_{dos} = ??$ → para os $e^-$ na BC do GaAs

como é um material isotrópico e de Gap direto então vamos ter que:

$$m^*_{dos} = m^*_e$$

6

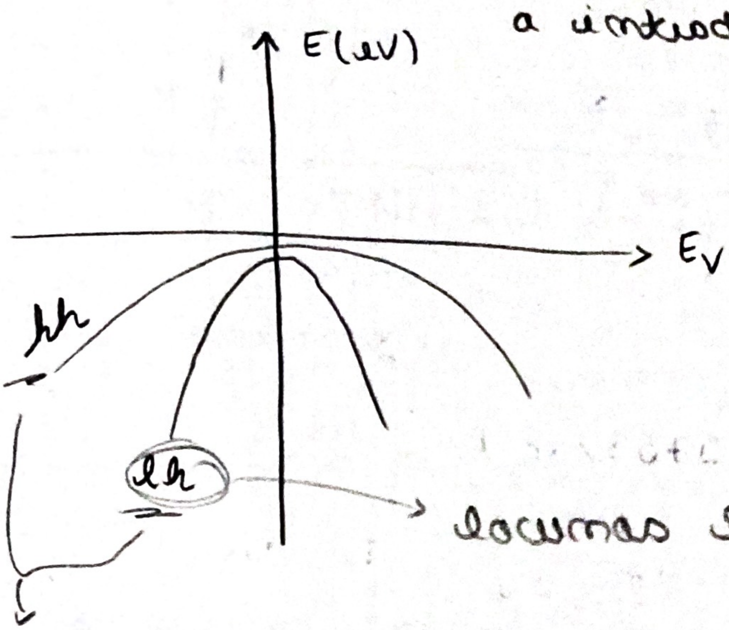
$E_{e^-} = ?$ → quando $k = 0{,}1 \, \mathring{A}$

$E_h = ?$ } na banda das lacunas pesadas ($hh$) de um SC

Não esquecer que: $m^*_{hh} = 0{,}5 \, m_0$

Podemos começar por considerar : $E_V = 0$

no final voltamos a introduzir este valor




→ lacunas leves

sabe-se isto através da curvatura

Não esquecer que: a lacuna tem uma massa simétrico e um vetor de onda do $e^-$.

Começando, aplicando a consideração :

$$E_{e^-}(\vec{k_e}) = \frac{\hbar^2 k_e^2}{2 m_e^*}$$ → é menor do que 0

Logo,

pois $m_h^* = -m_e^*$
(mas $|m_h^*| = |m_e^*|$)

$$E_{e^-}(\vec{k_e}) = -\frac{\hbar^2 k_e^2}{2 m_h^*}$$

↳ o que vai implicar que:

sem considerar o $E_V$ } $E_h(\vec{K_h}) = \frac{\hbar^2 (k_h^2)}{2 m_h^*}$

Daqui retira-se que:

$$E_h(\vec{k_h}) = E_h(-\vec{k_e}) = -E_e(\vec{k_e})$$

Portanto,

$$E_{e^-}(k) = E_V - \frac{\hbar^2 k^2}{2 m_{e^-}^*}$$ e

$$E_h(k) = E_V + \frac{\hbar^2 k^2}{2 m_h^*}$$

**NOTA:**

$k_e^2 = k_h^2 = k$

Logo,

$$E_{e^-}(k) = E_V - 0{,}0753 \ eV$$

$$E_h(k) = E_V + 0{,}0735 \ eV$$