Zusammenfassung vom 02.11.2010

Zyklotronresonanz $\omega_c = \frac{eB}{m^*}$

➔ *resonante Absorption bei Einstrahlung von Mikrowellen mit einer Frequenz entsprechend der Zyklotronresonanz-Frequenz*

➔ *Bestimmung der über ein Elektronen- oder Lochorbital gemittelten effektiven Masse*

Leitungsbandenergie
(in der Nähe der Bandkante)

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

E_c = *Leitungsbandkante*

m_c^* = *effektive Masse des Elektrons*

Elektronen-Zustandsdichte

$$D_e(E) = \frac{dn}{dE} = \frac{1}{2\pi^2}\left(\frac{2m_e^*}{\hbar^2}\right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{E - E_c}$$

n = *Ladungsträgerdichte*

Elektronen-Besetzungswahrscheinlichkeit

$$f_e(E,T) = \frac{1}{e^{\frac{E-\mu}{k_B T}} + 1} \cong e^{-\frac{E-\mu}{k_B T}}$$

Fermi-Dirac-Verteilung (für E-μ >> kT)

μ = *chemisches Potential*

Zusammenfassung vom 02.11.2010

Elektronen-Konzentration
(im Leitungsband)

$$n(T) = \int_{E_c}^{\infty} D_e(E)\, f_e(E,T)\, dE$$

mit $x = \dfrac{E - E_c}{kT}$

und $\displaystyle\int_0^{\infty} \sqrt{x}\, e^{-x} dx = \tfrac{1}{2}\sqrt{\pi}$

$$\Rightarrow \quad n(T) = N_{eff}^{c}\, e^{-\frac{E_c - \mu}{k_B T}} \quad \textit{mit} \quad N_{eff}^{c} = 2\left(\frac{m_e^* k_B T}{2\pi\hbar^2}\right)^{\frac{3}{2}}$$

Valenzbandenergie
(in der Nähe der Bandkante)

$$E(k) = E_v - \frac{\hbar^2}{2m_h^*} k^2$$

E_v = *Valenzbandkante*

m_h^* = *effektive Masse des Lochs*

Loch-Besetzungswahrscheinlichkeit

$$f_h(E,T) = 1 - f_e(E,T) = \frac{1}{e^{\frac{\mu - E}{k_B T}} + 1} \cong e^{-\frac{\mu - E}{k_B T}}$$

Loch-Zustandsdichte

$$D_h(E) = \frac{1}{2\pi^2}\left(\frac{2m_h^*}{\hbar^2}\right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{E_v - E}$$

Loch-Konzentration
(im Valenzband)

$$p(T) = \int_{-\infty}^{E_v} D_h(E)\, f_h(E,T)\, dE$$

$$\Rightarrow \quad p(T) = N_{eff}^{v}\, e^{\frac{E_v - \mu}{k_B T}} \quad \textit{mit} \quad N_{eff}^{v} = 2\left(\frac{m_h^* k_B T}{2\pi\hbar^2}\right)^{\frac{3}{2}}$$

Zusammenfassung vom 02.11.2010

Gleichgewichtsbedingung für n und p

$$n\,p = 4\left(\frac{k_B T}{2\pi\hbar^2}\right)^3 \left(m_e^* m_h^*\right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{E_g}{k_B T}} = N_{eff}^c \, N_{eff}^v \, e^{-\frac{E_g}{k_B T}}$$

➔ *unabhängig von μ*

$E_g = E_c - E_v$
Energielücke

intrinsische Ladungsträgerkonzentration n_i und p_i

$$n_i = p_i = 2\left(\frac{k_B T}{2\pi\hbar^2}\right)^{\frac{3}{2}} \left(m_e^* m_h^*\right)^{\frac{3}{4}} e^{-\frac{E_g}{2k_B T}} = \sqrt{N_{eff}^c \, N_{eff}^v} \, e^{-\frac{E_g}{2k_B T}}$$

➔ *folgt aus der Ladungsneutralität* $n_i(T) = p_i(T)$

chemisches Potential

$$\mu(T) = \frac{E_c + E_v}{2} + \frac{3}{4} k_B T \ln\left(\frac{m_h^*}{m_e^*}\right)$$

➔ *μ ist definiert über Ladungsneutralität bei jeder Temperatur: $n_i(T) = p_i(T)$*

$m_e^* = m_h^*$ ➔ $\mu(T) = \dfrac{E_c + E_v}{2}$

➔ *μ liegt genau in der Mitte der Bandlücke!*