

Zusammenfassung vom 01.11.2011

typische Bandstruktur im Halbleiter am Γ -Punkt \rightarrow Valenzband: aufgespalten durch Spin-Bahn-W.W. in $p_{3/2}$ - (4-fach entartet) und $p_{1/2}$ -Band (2-fach entartet)

\rightarrow $p_{3/2}$ -Band spaltet häufig auf in schweres (hh) und leichtes (lh) Unterband

Leitungsbandenergie (in der Nähe der Bandkante)

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

E_c = Leitungsbandkante

m_e^* = effektive Masse des Elektrons

Leitungsbandminimum von Si und Ge

\rightarrow Ge: in [111]-Richtung (am L-Punkt)

\rightarrow Si: in [100]-Richtung (vor dem X-Punkt)

effekt. Masse von Si und Ge an der Leitungsbandkante

$$\frac{1}{m_e^{*2}} = \frac{\cos^2 \theta}{m_t^{*2}} + \frac{\sin^2 \theta}{m_l^{*2}}$$

$m_{t,l}^*$ – transversale/longitudinale effektive Masse des Elektrons

Fermi-Flächen in Si und Ge

\rightarrow Rotationsellipsoide

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

\rightarrow resonante Absorption bei Einstrahlung von Mikrowellen mit einer Frequenz entsprechend der Zyklotronresonanz-Frequenz ω_c

\rightarrow Bestimmung der über ein Elektronen- oder Lochorbital gemittelten effektiven Masse

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

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 $E-\mu \gg kT$)*

Elektronen-Konzentration (im Leitungsband) $n(T) = \int_{E_c}^{\infty} D_e(E) f_e(E, T) dE$ $\mu = \text{chemisches Potential}$

mit $x = \frac{E - E_c}{kT}$ $\rightarrow n(T) = N_{\text{eff}}^c e^{-\frac{E_c - \mu}{k_B T}}$ mit $N_{\text{eff}}^c = 2 \left(\frac{m_e^* k_B T}{2\pi \hbar^2} \right)^{\frac{3}{2}}$
 und $\int_0^{\infty} \sqrt{x} e^{-x} dx = \frac{1}{2} \sqrt{\pi}$

Valenzbandenergie (in der Nähe der Bandkante) $E(k) = E_v - \frac{\hbar^2}{2m_h^*} k^2$ $E_v = \text{Valenzbandkante}$
 $m_h^* = \text{effektive Masse des Lochs}$

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)

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

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

Gleichgewichtsbedingung für n und p

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

\rightarrow unabhängig von μ

$$E_g = E_c - E_v$$

Energielücke

intrinsische Ladungsträgerkonzentration
 n_i und p_i

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

\rightarrow folgt aus der Ladungsneutralität $n_i(T) = p_i(T)$

chemisches Potential

$$\mu(T) = \frac{1}{2}(E_c + E_v) + \frac{3}{4} k_B T \ln(m_h^* / m_e^*)$$

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

$$m_e^* = m_h^* \quad \rightarrow \quad \mu(T) = \frac{1}{2}(E_c + E_v)$$

\rightarrow μ liegt genau in der Mitte der Bandlücke!