Festkörperphysik - Formeln

17. Juli 2008

1 Konstanten

Name	Formelzeichen	Wert	Einheit
Lichtgeschwindigkeit	c	$2.9979 \cdot 10^{8}$	m/s
Elementarladung	e	$1.602 \cdot 10^{-19}$	J
Ruhemasse Elektron	m_e	$9.109 \cdot 10^{-31}$	Kg
Plancksches Wirkungsquantum	h	$6.626 \cdot 10^{-34}$	Js
elektr. Feldkonstante	ϵ_0	$8.854 \cdot 10^{-12}$	As/Vm
Boltzmannkonstante	k_B	$1.38 \cdot 10^{-23}$	J/K
Atomare Masseneinheit	$1u$	$1.661 \cdot 10^{-27}$	Kg
Avogadro-Konstante	N_A	$6.022 \cdot 10^{23}$	1/mol

2 Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
V_{EZ}	Volumen der Einheitszelle
V_{EZp}	Volumen der primitiven Einheitszelle = Volumen der Elementarzelle
N_{EZ}	Atome in der Einheitszelle

3 Formeln

Bindungsenergie im Ionengitter

α - Madelungkonstante

$$E_c^{gesamt} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Z^2 e^2}{r_0} \cdot \alpha \qquad \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^{9} \tag{1}$$

Reziprokes Gitter

Rücktransformation genauso.

$$\vec{b}_1 = \frac{2\pi}{V_{EZp}}\vec{a}_2 \times \vec{a}_3 \qquad \text{und zyklisch} \tag{2}$$

$$V_{EZp} = \vec{a}_1 \times \vec{a}_2 \cdot \vec{a}_3 \tag{3}$$

$$\vec{b}_i \cdot \vec{a}_j = 2\pi\delta_{ij} \tag{4}$$

Netzebenenabstände

$$d_{hkl} = \frac{2\pi}{|\vec{G}_{hkl}|} = \frac{2\pi}{|h \cdot \vec{b}_1 + k \cdot \vec{b}_2 + l \cdot \vec{b}_3|} \tag{5}$$

$$= \frac{2\pi}{\sqrt{\left(h\frac{2\pi}{a_1}\right)^2 + \left(k\frac{2\pi}{a_2}\right)^2 + \left(l\frac{2\pi}{a_3}\right)^2}} \qquad \text{(rechtwinklig)} \tag{6}$$

$$= \frac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}} \qquad \text{(kubisch primitiv)} \tag{7}$$

Bragg-Reflexion

$$n\lambda = 2d_{hkl}\sin\vartheta \tag{8}$$

$$\Leftrightarrow \vec{G}_{hkl} = \vec{k} - \vec{k}_0 \tag{9}$$

Strukturfaktor

Gibt die Intensität des Reflexes an ($I \sim |F_{hkl}|^2$). Summe läuft über Anzahl der Atome der Einheitszelle; Periodizität vereinfacht Rechnung. Bei primitiven Einheitszellen also über die Basis.
f_n - von Atomsorte abhängige Konstante

$$F_{hkl} = \sum_n f_n \cdot \exp\left(i\,\vec{G}_{hkl} \cdot \vec{r}_n\right) \tag{10}$$

$$= \sum_n f_n \cdot \exp\left(2\pi i(h\rho_n + k\sigma_n + l\tau_n)\right) \tag{11}$$

Defekte im Kristall

n_L - Anzahl der Löcher n_0 - Anzahl der Atome
E_{fehl} - mittlere Fehlordnungsenergie zur Bildung eines Defektes

$$\underbrace{n_L = n_0 \cdot \exp\left(\frac{-E_{fehl}}{k_B T}\right)}_{Frenkel} \qquad \underbrace{n_L = n_0 \cdot \exp\left(\frac{-E_{fehl}}{2k_B T}\right)}_{Schottky} \tag{12}$$

Welle - Teilchen

$$E = hf = \hbar\omega = \frac{m}{2}v^2 = \frac{p^2}{2m_e^*} = \frac{\hbar^2 k^2}{2m_e^*} \tag{13}$$

$$p = \frac{h}{\lambda} = \hbar k = mv \tag{14}$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{h}{mv} \qquad \text{(DeBroglie)} \tag{15}$$

Hall-Effekt

$$U_{Hall} = R_{Hall} \cdot \frac{IB}{d} \tag{16}$$

$$= jB\,\underbrace{\frac{1}{ne}}_{R_{Hall}}\,b \tag{17}$$

Debye - Modell

$g(\omega)$ - Zustandsdichte der Phononen

$$\hbar\omega_D = k_B\theta_D \tag{18}$$

$$U = 3\int_0^{\omega_D} \frac{g(\omega)\cdot\hbar\omega}{\exp(\frac{\hbar\omega}{k_BT}-1)}d\omega \tag{19}$$

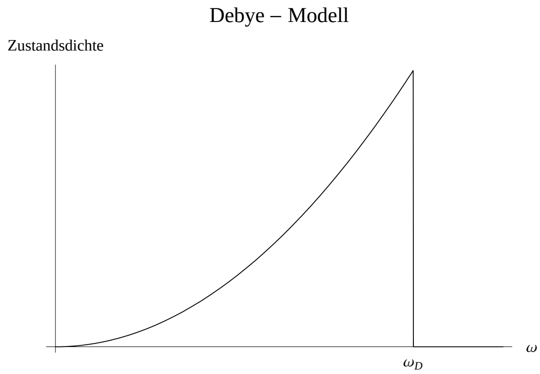

Abb. 1: Zustandsdichte der Phononen im Debye-Modell

Einstein Modell

Es gibt nur genau eine Frequenz ω_E

$$\hbar\omega_E = k_B\theta_E \tag{20}$$

Drude-Modell

n - Ladungsträgerdichte σ - Leitfähigkeit μ - Beweglichkeit der Ladungsträger
τ - Relaxationszeit (typisch: $10^{-13}\dots10^{-15}$ sek)

$$N_{EZ} = \frac{N_{Ecke}}{8} + \frac{N_{Kante}}{4} + \frac{N_{Fläche}}{2} + N_{innen} \tag{21}$$

$$n = \frac{N_{EZ}}{V_{EZ}} \tag{22}$$

$$\sigma = e(n\mu_e + p\mu_p) \approx n_{gesamt}e\mu \tag{23}$$

$$\mu = \mu_e + \mu_p \qquad \mu_e = e\frac{\tau}{m_e^*} \qquad \mu_p = e\frac{\tau}{m_p^*} \tag{24}$$

$$l = \overline{v}\tau \tag{25}$$

Halbleiter

n - Ladungsträgerdichte Elektronen p - Ladungsträgerdichte Löcher
n_D^+ - Zusätzliche Ladungsträger(dichte) durch die Dotierung n_D - Dotierungszentren(dichte)

<u>intrinsisch:</u>

$$E_F = \frac{1}{2}(E_L + E_V) \qquad (\text{bei } T = 0) \tag{26}$$

$$n = n_0 \exp\left(-\frac{E_L - E_F}{k_B T}\right) \qquad p = p_0 \exp\left(-\frac{E_F - E_V}{k_B T}\right) \tag{27}$$

$$n \stackrel{!}{=} p \rightarrow n \cdot p = n_0\, p_0\, \exp\left(-\frac{E_L - E_V}{k_B T}\right) \tag{28}$$

$$\Rightarrow n = p = \sqrt{n \cdot p} = \underbrace{\sqrt{n_0\, p_0}}_{\parallel} \cdot \underbrace{\exp\left(-\frac{E_{GAP}}{2 k_B T}\right)}_{\parallel} \tag{29}$$

$$n_{gesamt} = n + p = \overbrace{(m_e^* m_p^*)^{\frac{3}{4}} \cdot \left(\frac{k_B T}{2\pi\hbar^2}\right)^{\frac{3}{2}}} \cdot 2 \cdot \overbrace{\exp\left(-\frac{E_L - E_F}{k_B T}\right)} \tag{30}$$

<u>dotiert:</u>

$$E_F = \frac{1}{2}(E_L + E_D) \qquad (\text{bei } T = 0) \tag{31}$$

$$n \sim \exp\left(-\frac{E_L - E_D}{k_B T}\right) \tag{32}$$

$$n_D^+ = \frac{n_D}{2 \exp\left(-\frac{E_D - E_F}{k_B T}\right) + 1} \tag{33}$$