

Übungen zur Vorlesung Halbleiterphysik

Übungsblatt 6 vom 04.06.2013

Aufgabe 1: Debyesches Modell der Phononen

Im Übungsblatt 5 wurden die Phononen-Dispersionsrelationen von Si und Diamant diskutiert und für beide Materialien wurden die longitudinalen und transversalen Schallgeschwindigkeiten ausgewertet. Wir erhielten für Si $v_{LA} = 9,5 \text{ km/s}$ und $v_{TA} = 5,3 \text{ km/s}$ und für Diamant $v_{LA} = 17 \text{ km/s}$ und $v_{TA} = 12 \text{ km/s}$.

In der **Debyeschen Näherung** werden die Phononenmoden durch drei akustische Zweige mit isotropen und linearen Dispersionsrelation entsprechend den o.g. Schallgeschwindigkeiten und einer gemeinsamen Maximalfrequenz beschrieben. Die Maximalfrequenz $f_D = \frac{\omega_D}{2\pi}$ heißt Debye-Frequenz und wird so gewählt, dass die Gesamtzahl der Phononemoden (optische und akustische) korrekt von dem Modell reproduziert wird. (Vgl. web-site zur VL, Zusammenfassung Phononen). Die Temperatur Θ , für die die thermische Energie $k_B \Theta$ gleich der Quantenenergie $\hbar \omega_D$ der Debye-Frequenz ist, bezeichnet man als Debye-Temperatur.

- Bestimmen Sie die Debye-Frequenz für Si (kubische Gitterkonstante $a = 534 \text{ pm}$) und Diamant ($a = 356 \text{ pm}$)
- Zeichnen Sie die Dispersionsrelation des Debye-Modells in die wirklichen Dispersionsrelationen der Phononen in Ihrem Übungsblatt 5 längs der Linie Δ von Γ nach X ein. Diskutieren Sie sie im Hinblick auf die longitudinalen und transversalen akustischen Zweige in dem Diagramm. Welcher Zweig ist für das Debye-Modell dominierend und warum?
- Berechnen Sie die Debye-Temperatur für Si und Diamant (Plancksches Wirkungsquantum: $h = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV s}$, Boltzmannkonstante $k_B = \frac{25 \text{ meV}}{290 \text{ K}}$).
- Drücken Sie die Phononenzustandsdichte des Debye-Modells mit den Parametern Atomdichte N/V und Debye-Frequenz ω_D aus.
- Werten Sie die molare (exakter: auf die Atomzahl bezogene) Wärmekapazität C_N im Rahmen des Debye-Modells als Funktion der Temperatur aus und zeigen Sie: C_N ist ausschließlich eine Funktion der **Relativ**-Temperatur zur Debye-Temperatur, also eine Funktion von T/Θ .