11. Übungsblatt zur Einführung in die Festkörperphysik

Ausgabe: 20.12.2021 Wintersemester 2021/22
Abgabe: 10.01.2022, 08:15 im Moodle Prof. Dr. D. Suter

Aufgabe 1: GaAs-Halbleiter (6 Punkte)

Gegeben sei ein Halbleiter mit den Energieniveaus E_V für das obere Ende des Valenzbandes, E_L für das untere Ende des Leitungsbandes und μ für das Ferminiveau. Die Bandlücke sei definiert als $E_G = E_L - E_V$.

a) Skizzieren und erläutern Sie die Struktur eines direkten und eines indirekten Halbleiters

b) Berechnen Sie die Elektronenkonzentration n und die Löcherkonzentration p von undotiertem Germanium bei $T = 300$ K ($E_G = 0.66$ eV, $m_e^* = 0.56\ m_e$, $m_h^* = 0.29\ m_e$).

c) Wie hoch müsste die Temperatur von GaAs sein, damit die Ladungsträgerkonzentration der von Aufgabenteil b) entspricht? Erläutern Sie das Ergebnis. (Zum Vergleich GaAs bei $T = 300$ K: $E_G = 1.42$ eV, $m_e^* = 0.067\ m_e$, $m_h^* = 0.46\ m_e$)

d) Gegeben sei nun ein idealer, undotierter, dreidimensionaler Halbleiter mit der Bandlücke $E_G = 1.5$ eV. Berechnen Sie die Elektronen- und Löcherkonzentration sowie die Lage des chemischen Potentials μ bei $T = 1000$ K. Für die effektiven Massen gilt $m_e^* = 0.2\ m_e$ und $m_h^* = 0.1\ m_e$.

Hinweis:
Zur Berechnung des chemischen Potentials setzen Sie die Ausdrücke für die Anzahl der Elektronen und Löcher gleich.

Aufgabe 2: Hall-Effekt (5 Punkte)

Durch die Messungen des Hall-Effekts als Funktion der Temperatur lassen sich zahlreiche charakteristische Parameter von Halbleitern bestimmen.

Der Ladungstransport in Halbleitern erfolgt sowohl durch die Elektronen im Leitungsband als auch die Löcher im Valenzband. Daher muss für den Hall-Effekt der Zweiband-Ausdruck

$$R_H = \frac{\sigma_h \mu_h - \sigma_e \mu_e}{(\sigma_e + \sigma_h)^2}$$

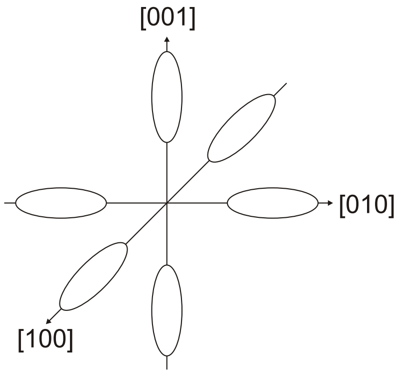
verwendet werden, mit den elektrischen Leitfähigkeiten $\sigma_e = n_e e^2 \tau_e / m_e^*$ und $\sigma_h = n_h e^2 \tau_h / m_h^*$. τ_i beschribt dabei die Streuzeiten der beiden Ladungsträger (Elektronen und Löcher), m_i^* die effektiven Massen und n_i die Dichte der Ladungsträger im jeweiligen Band.

a) Erstellen Sie Ausdrücke für den Hall-Koeffizienten eines Halbleiters einmal bei reiner Eigenleitung und einmal bei reiner Störstellenleitung (sowohl für n- und p-Leiter).

b) Wie lässt sich durch die Messung der Temperaturabhängigkeit des Hall-Koeffizienten die Energielücke E_g eines Halbleiters bestimmen, sowie bei einem n-Typ Halbleiter der Abstand E_d des Donatorniveaus von der Leitungsbandkante, bzw. bei einem p-Typ Halbleiter der Abstand E_a des Akzeptorniveaus von der Valenzbandkante?

Aufgabe 3: Effektive Masse im Leitungsband von Silizium und Zyklotronresonanz (7 Punkte)

Das Leitungsband von Silizium hat sechs Minima (Täler) auf kubischen Achsen, siehe Abbildung. In der Nähe eines solchen Minimums auf der k_x-Achse kann man die Dispersionsrelati-



on durch folgenden Tensor der reziproken Masse beschreiben:

$$\left(\frac{1}{m^*}\right)_{ij} = \begin{pmatrix} \frac{1}{m_l} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{m_t} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{m_t} \end{pmatrix}$$

Hierbei sind m_l und m_t die longitudinale und die transversale effektive Masse ($m_l = 0,92 m_e$ und $m_t = 0,19 m_e$ mit $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$kg).

(a) Geben Sie die Energiedispersion $E(k)$ in der Nähe der Minima an (die Leitungsbandunterkante liegt bei E_L). Wie sehen die Flächen konstanter Energie aus?

(b) Berechnen Sie die Zustandsdichte $D(E)$ in der Nähe der Minima als Funktion von m_l, m_t und E_L und vergleichen Sie das Ergebnis mit dem für freie Elektronen.

(c) Nun wird ein Magnetfeld $\vec{B}$ angelegt. Geben Sie die Zyklotronfrequenz $\omega_c = \frac{2\pi}{T}$ für folgende Fälle an:

a) $\vec{B}$ parallel zur longitudinalen Achse

b) $\vec{B}$ senkrecht zur longitudinalen Achse.

Hinweise:
Die Umlaufdauer T ist gegeben durch $T = \frac{\hbar^2}{eB} \frac{\partial S_E(k_\perp)}{\partial E}$. S_E ist dabei die Fläche der extremalen Bahn
Man beobachtet in der Zyklotronresonanz stets nur extremale Bahnen von Elektronen, die sich auf Flächen gleicher Energie bewegen.