13. Übung zur Festkörperphysik WS 2016/17

Ausgabe: 27.01.2017
Abgabe: bis 03.02.2017 12:00 Uhr
Briefkästen: 247-249

Prof. Dr. D. Suter

Aufgabe 1: Temperaturabhängigkeit im n-dotierten Hableiter — 4 Punkte

Ein Halbleiter wird mit Donatoren der Dichte N_D dotiert. Zwischen der Unterkante des Leitungsbandes und dem Grundniveau der Donatoren liegt die Energielücke $E_d = E_L - E_D$.

a) Skizzieren Sie die Dichte n der freien Elektronen gegen die inverse Temperatur. Teilen Sie den Verlauf in 3 charakteristische Abschnitte ein und erklären Sie ihr Zustandekommen.

b) Leiten Sie her, dass die Ladungsträgerdichte ohne Beiträge der intrinsischen Leitfähigkeit durch

$$n(T) = \frac{2N_D}{1 + \sqrt{1 + 4\frac{N_D}{n_0} \cdot \exp(\frac{E_d}{k_B T})}} \tag{1}$$

ausgedrückt werden kann, wobei $n_0 := 2\left(\frac{m_e k_B T}{2\pi\hbar^2}\right)^{3/2}$

c) Zeigen Sie, welche der oben genannten Bereiche durch die Formel (1) beschrieben werden.

Aufgabe 2: Zyklotronfrequenz — 3 Punkte

In einem Magnetfeld mit Flussdichte B bewegen sich die Elektronen eines einfach kubischen Gitters im reziproken Raum auf Flächen konstanter Energie, welche senkrecht zum Magnetfeld liegen. Für den Fall geschlossener Bahnen lautet die Umlaufdauer

$$T = \frac{\hbar^2}{eB}\left(\frac{\mathrm{d}A_k}{\mathrm{d}E}\right) , \tag{2}$$

wobei A_k die eingeschlossene Fläche bezeichnet.

a) Schätzen Sie zuerst die minimale Leitfähigkeit σ_{min} ab, die ein Metall mit Ladungsträgerkonzentration n haben muss, um Zyklotronresonanzen beobachten zu können. Nehmen Sie dazu an, dass die Zyklotronmasse m_C und die effektive Masse an der Leitfähigkeit beteiligten Ladungsträger m^* gleich sei.

b) Weiterführend unterscheide sich nun die Energiedispersion in longitudinaler (z-Achse) und transversaler (xy-Ebene) Richtung. Geben sie die Dispersion mit Hilfe der effektiven Massen $m^*_{lon}l$ und m^*_{tan} an.

c) Berechnen Sie die Zyklotronfrequenz ω_c für den Fall, dass das Magnetfeld in z-Richtung orientiert ist.

d) Wie ändert sich ω_c, wenn das Magnetfeld senkrecht zur z-Richtung angelegt wird?

Aufgabe 3: Landau-Röhren **2 Punkte**

Bei Anwesenheit eines Magnetfeldes $\vec{B} = B\vec{e}_z$ wird die Elektronenenergie durch

$$E(n, k_z) = (n + \frac{1}{2})\hbar\omega_c + \frac{\hbar^2 k_z^2}{2m^*} \tag{3}$$

beschrieben, mit der Quantenzahl ($n \in \mathbb{N}$).

a) Erläutern Sie, warum sich diese Bahnquantisierung zur Bestimmung von Fermiflächen verwenden lässt.

b) Experimentell wird bei Gold in [001]-Richtung eine Oszillation mit der Periode $\Delta\left(\frac{1}{B}\right) 1{,}95 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{T}^{-1}$ beobachtet. In [111]-Richtung wird eine Überlagerung zweier Oszillationen mit Perioden $2{,}05 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{T}^{-1}$ und $6 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{T}^{-1}$ gemessen. Berechnen Sie die entsprechenden umschlossenen Flächen A_k. Skizzieren Sie die Fermifläche von Gold.