Übungen zur Physik V: Festkörperphysik (WS 2010/2011)
A. Ustinov / G. Fischer

Übungsblatt 12
Besprechung am 3. Februar 2011

Aufgabe 1

Die Messung der magnetischen Suszeptibilität $\chi = \mu_0 M/B$ von reinen Metallen zeigt bei tiefen Temperaturen eine oszillierende Abhängigkeit vom angelegten Magnetfeld. Die Oszillationen sind periodisch in $1/B$. Dieser Effekt wird De Haas-van Alphen-Effekt genannt. Mit Hilfe der Beziehung

$$S_K \left(\frac{1}{B_{n+1}} - \frac{1}{B_n} \right) = \frac{2\pi e}{\hbar}$$

erlaubt die Messung des De Haas-van Alphen-Effektes die Bestimmmung der Extremalflächen S_K der Fermi-Fläche, welche im $\mathbf{k}$-Raum von Elektronenbahnen senkrecht zur Richtung des magnetischen Feldes umschlossen werden.

a) Betrachten Sie das Elektronengas von Gold als ein System freier Elektronen der Dichte $n = 5,9 \cdot 10^{22}$ cm^{-3} und schätzen Sie ab, welche Größe für die Extremalfläche der Fermi-Kugel zu erwarten ist.

b) Im Experiment beobachten wir für ein Feld parallel zur [001]-Richtung eines Gold-Einkristalles Oszillationen mit einer Periode von $\Delta(1/B) = \frac{1}{B_{n+1}} - \frac{1}{B_n} = 1,95 \cdot 10^{-5}$1/T. Ist das Magnetfeld dagegen parallel zur (111)-Richtung, so werden zwei sich überlagernde Oszillationen mit den Perioden $2,05 \cdot 10^{-5}$1/T und $6 \cdot 10^{-4}$1/T beoachtet. Berechnen Sie jeweils die Größe der dazugehörigen Extremalfläche S_K und interpretieren Sie die Ergebnisse anhand der Fermi-Fläche von Gold.

Aufgabe 2

a) Die elektrischen Eigenschaften der Halbleiter und Metalle hängen von der effektiven Masse der Ladungsträger ab. Diese lässt sich sehr genau mit Hilfe der Zyklotronresonanz bestimmen. Dabei wurde für Kupfer eine Frequenz von $\nu = 2,4 \cdot 10^{10}$1/s bei einem magnetischen Feld der Flussdichte 0,36 T, das parallel zur [001]-Richtung zeigte, gemessen. Berechnen Sie die effektive Masse von Kupfer.

b) Begründen Sie qualitativ, warum im Experiment (z.B. De Haas-van Alphen-Effekt oder Zyklotronresonanz) immer nur extremale Bahnen von Elektronen, die sich auf Flächen konstanter Energie bewegen, beobachtet werden.

Aufgabe 3

Eine Silicium-Diode soll mit Hilfe des Legierungsverfahrens hergestellt werden. Dazu wird der Silicium-Kristall im p-Gebiet mit Boratomen der Konzentration $7 \cdot 10^{14}\,1/\mathrm{cm}^3$ und im n-Gebiet mit Arsenatomen der Konzentration $1,75 \cdot 10^{14}\,1/\mathrm{cm}^3$ dotiert. Berechnen Sie die Barrierespannung des p-n-Übergangs.

Aufgabe 4

Die Temperaturabhängigkeit der Beweglichkeit von Elektronen in einem Halbleiter sei durch das folgende Modell beschrieben: Die Elektronen besitzen die Geschwindigkeitsverteilung eines klassischen idealen Gases (Maxwell-Boltzmann-Verteilung). Die Streuung der Elektronen erfolge bei hohen Temperaturen an Phononen und bei tiefen Temperaturen an einfach ionisierten Donator-Störstellen (Annahme: Rutherford-Streuung). Diskutieren Sie die Temperaturabhängigkeit der Elektronen-Beweglichkeit $\mu(T)$.