

**Aufgabe 27: Einfluss elektrischer Felder**

An einen homogenen Kupfer-Draht von 10 cm Länge wird eine Spannung von 1 V angelegt. Die Fermi-Energie des Metalls betrage 7 eV, die Gitterkonstante  $a$  für das kfz-Gitter  $3,62 \times 10^{-10}$  m.

Beim Abschalten des elektrischen Feldes relaxiert die Nichtgleichgewichtsverteilung der Elektronen durch Stöße ins Gleichgewicht mit einer Zeitkonstante von  $\tau = 2 \cdot 10^{-13}$  s.

- Ermitteln Sie in der Näherung freier Elektronen den spezifischen elektrischen Widerstand sowie die mittlere Geschwindigkeit der Elektronen! Vergleichen Sie diese mit der Fermi-Geschwindigkeit  $v_F$ ! (Hinweis: Es gilt  $\rho = m_e/e^2 n_e \tau$ .)
- Skizzieren Sie qualitativ die Fermi-Kugel bei stationärem Stromfluss sowie bei der Gleichgewichtsverteilung der Elektronen nach Abschalten des elektrischen Feldes.
- Ermitteln Sie für die höchstangeregten Elektronen der Gleichgewichts- und der Nichtgleichgewichtsverteilung die Wellenlänge  $\lambda$ .
- Welche maximale Wellenzahländerung kann ein Elektron durch Stoßprozesse beim Wiederherstellen des Gleichgewichtszustandes erfahren? Stellen Sie in der graphischen Darstellung von b) weitere mögliche Stoßprozesse dar!

**Aufgabe 28: Modell des stark gebundenen Elektrons**

Die Energie von Elektronen in Festkörpern kann auch mit der Methode der starken Kopplung (tight binding) berechnet werden. Hierbei geht man von Wellenfunktionen der Elektronen in voneinander getrennten, einzelnen Atomen aus und betrachtet die Änderung der Energieniveaus durch Überlappung der Ladungsverteilungen benachbarter Atome in periodischer Anordnung. Die Coulomb-Wechselwirkung der Elektronen und Atomrümpfe führt zu einer Aufspaltung der Energieniveaus der Bänder.

Betrachten Sie ein Elektronengas, das sich in einem eindimensionalen periodischen Potential mit der Gitterkonstante  $a$  befindet.

- Nach dem Modell des stark gebundenen Elektrons folgt für die Energie  $E_s(k)$  der Elektronen des  $s$ -ten Bandes in erster Näherung der Ausdruck:

$$E_s(k) = E_{0s} - 2B_s \cos(ak)$$

Berechnen Sie die effektive Masse der Elektronen für den  $k$ -Bereich zwischen  $-1,5 \pi/a$  und  $+1,5 \pi/a$  für  $B_s = 0,4$  eV und  $a = 3 \cdot 10^{-10}$  m.

- Diskutieren Sie qualitativ das Bewegungsverhalten von Elektronen und Defektelektronen (unbesetzte Elektronen-Zustände) jeweils am unteren und am oberen Bandrand, wenn auf sie eine Kraft  $\mathbf{F} = q\mathbf{E}$  durch ein äußeres elektrisches Feld wirkt. Berücksichtigen Sie dabei die effektive Masse und das Vorzeichen der Ladung der Teilchen!

**Aufgabe 29: Silizium**

Silizium ist ein indirekter Halbleiter mit Diamantstruktur, bei dem das Maximum des Valenzbandes und das Minimum des Leitungsbandes im  $\mathbf{k}$ -Raum in  $[100]$ -Richtung einen

Abstand von  $0,85 \cdot \frac{2\pi}{a}$  haben. Der zugehörige minimale Bandabstand beträgt 1,12 eV bei

Raumtemperatur. Berechnen Sie, ob bei der Absorption von Lichtquanten mit  $\lambda = 4 \cdot 10^{-7}$  m

(i) der Impuls und (ii) die Energie

der Photonen ausreichen, damit die Elektronen einen Band-Band-Übergang ausführen können ( $a = 5,43 \cdot 10^{-10}$  m).

Diskutieren Sie ganz allgemein die Wahrscheinlichkeit der Licht-Absorption in einem direkten und einem indirekten Halbleiter.