

Lichttechnisches Institut

Karlsruher Institut für Technologie
Prof. Dr. rer. nat. Uli Lemmer /
Dipl.-Ing. Jens Czolk /
Dipl.-Phys. Manuel Reinhard
Engesserstraße 13
76131 Karlsruhe

Festkörperelektronik

6. Übungsblatt
22. Juni 2012
Besprechung:
Übung 6. Juli 2012
Tutorien 2. - 6. Juli 2012

39. Zustandsdichte (\ddot{U} - V9)

- Beschreiben Sie, was man unter dem Begriff „Zustandsdichte“ versteht! (★)
- Skizzieren Sie den Verlauf der elektronischen Zustandsdichte $g_L(W)$ im Leitungsband eines Halbleiters. Welche Annahmen wurden gemacht, um diesen Ausdruck zu erhalten? (★)
- Berechnen Sie die Zustandsdichte $g(W)$ für eine zweidimensionale Struktur. Gehen Sie dazu von einem zweidimensionalen k-Raum aus und benutzen Sie die gleiche Strategie wie in der Vorlesung für drei Dimensionen gezeigt. (★★★)
- Nun betrachten wir die Zustandsdichte in einem „Quantendraht“. Das sind Gebilde, die in erster Näherung als eindimensional angenommen werden können. Führen Sie im eindimensionalen k-Raum die Ableitung der Zustandsdichte durch! (★★★)

40. Fermi-Verteilung (T - V9)

- Skizzieren Sie die Fermiverteilung für $T_1 = 200$ K, $T_2 = 300$ K und $T_3 = 400$ K. (★)
- Wie groß ist bei einer Temperatur von $T = 250$ K die Besetzungswahrscheinlichkeit eines Zustands, der $\Delta W = 1$ meV über der Fermienergie liegt? (★)
- Wie groß ist die Besetzungswahrscheinlichkeit eines Zustands, der um $k_B T$ über der Fermienergie liegt? (★)
- Wie groß ist die Besetzungswahrscheinlichkeit eines Zustands am absoluten Temperaturnullpunkt, d.h. bei $T = 0$ K, der $\Delta W = 1$ meV über der Fermienergie liegt? (★)
- Erklären Sie mit Hilfe der erhaltenen Ergebnisse, wann die Boltzmann-Verteilung die Fermi-Verteilung ausreichend gut approximiert! (★★)

41. Intrinsische Halbleiter (\ddot{U} - V9)

Germanium hat eine Bandlücke von 0,69 eV. Die effektive Masse der Elektronen und der Löcher entspreche der Masse des freien Elektrons.

- Bestimmen Sie die Ladungsträgerdichten von Elektronen und Löchern bei 0 K und bei Raumtemperatur. (★)

- b) Bestimmen Sie die Stromdichte durch einen 1 mm langen Germanium-Kristall, bei einer angelegten Spannung von 2 V. Recherchieren Sie dazu die Beweglichkeiten der Elektronen und Löcher! (★)

42. Zustandsdichte im unendlichen Potentialtopf (T - V9)

Gegeben sei ein 1-dimensionaler mit N Elektronen „gefüllter“ unendlicher Potentialtopf der Breite L . Die Temperatur betrage 0 K, die Anzahl N kann als gerade angenommen werden.

- a) Zeigen Sie, dass sich die Fermi-Energie (hier: die Energie des energetisch höchsten Elektrons), mit $W_F = \frac{\hbar^2}{2m} \cdot \left(\frac{N}{4L}\right)^2$ angeben lässt (Zur Erinnerung: $\hbar = \frac{h}{2\pi}$). (★)
- b) Geben Sie die Gesamtenergie W_{total} aller Elektronen im ∞ -Potentialtopf an. Vereinfachen Sie das Ergebnis für große N (also $N \rightarrow \infty$). Benutzen Sie

$$\sum_{n=1}^{N/2} n^2 = \frac{1}{6}(N/2)(N/2 + 1)(N + 1) \xrightarrow{N \rightarrow \infty} \frac{1}{3}(N/2)^3$$

(★★)

- c) Zeigen Sie, dass sich die mittlere Energie pro Elektron als $\frac{1}{3}W_F$ schreiben lässt. (★)
- d) Berechnen Sie die Zustandsdichte $D(W) = \frac{dn}{dW}$ für die niedrigen Energieniveaus des unendlichen Potentialtopfs. Gehen Sie von einem „breiten“ Potentialtopf aus, so dass Sie eine quasikontinuierliche Folge der Energieniveaus annehmen können. (★★)

43. Fermi-Energie in Kupfer (T - V9)

- a) Wie groß ist die Dichte der Leitungselektronen in Kupfer wenn die Größe der Elementarzelle des fcc-Gitters $V_{\text{EZ}} = (0,36 \text{ nm})^3$ ist und vier Kupferatome mit je einem Leitungselektron pro Elementarzelle vorhanden sind? (★)
- b) Berechnen Sie die Energie des höchsten besetzten Zustands in einem Kupferwürfel mit 1 mm Kantenlänge bei $T = 0 \text{ K}$. Rechnen Sie in Parabelnäherung und unter Annahme periodischer Randbedingungen $\psi(x + L) = \psi(x)$. Für die Masse der Elektronen gelte $m_{\text{eff}} = m$. (★★)

44. Fermi-Energie im intrinsischen Halbleiter (Ü - V9)

In einem intrinsischen Halbleiter betrage die effektive Masse von Elektronen im Minimum des Leitungsbandes ein Drittel der effektiven Masse von Löchern im Maximum des Valenzbandes. Wo liegt das Fermi-Niveau im Falle der Eigenleitung bei Raumtemperatur? Die Boltzmann-Näherung sei gültig. (★)