

ÜBUNGSBLATT 5

Beispiel 17 (Ferminiveau):

Leiten Sie für einen Halbleiter mit parabolischen Bändern den Zusammenhang zwischen Elektronendichte n und Ferminiveau E_F her. Nehmen Sie an, dass der Halbleiter *nicht* entartet ist, d.h. $E_c - E_f \gg kT$.

Hinweise $\int_0^{\infty} \sqrt{x} \exp(-x) dx = \sqrt{\pi} / 2$

Zustandsdichte : $Z(E) = \frac{1}{2\pi^2 \hbar^3} (m^*)^{3/2} \sqrt{2E}$

Beispiel 18 (Flache Störstellen in Halbleitern):

Die Einelektronen-Schrödingergleichung für einen Kristall, in welchem ein Gitteratom durch ein Fremdatom ersetzt wird (punktförmige Störung) kann unter einer Reihe von vereinfachenden Voraussetzungen in eine Effektivmassengleichung überführt werden.

In einem isotropen Zweibandmodell lautet diese z.B. für Donatorzustände am Leitungsband (ein zusätzliches Valenzelektron des Dotieratoms):

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2m_c^*} \Delta - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r} \right) F_c(r) = (E - E_g) F_c(r)$$

wobei $F_c(r)$ die Einhüllende der Wellenfunktion des Elektrons im Halbleiter ist.

- (a) Schätzen Sie für die wasserstoffähnlichen Donatorzustände die Bindungsenergien nahe dem Leitungsband und die dazugehörigen Bohrradien für InSb ($\epsilon_r=17$, $m_c^*=0.014$) für GaAs ($\epsilon_r=13$, $m_c^*=0.067$) und für Si ($\epsilon_r=11.9$, $m_{c,t}^*=0.19$, $m_{c,l}^*=0.92$) ($m_{c,t}^*$ und $m_{c,l}^*$ sind die transversale und longitudinale Massen) ab.
- (b) Vergleichen Sie die so erhaltenen Bindungsenergien mit experimentell bestimmten Werten typischer Donatoren (Literatur). Womit lassen sich bei Si die Abweichungen zum Wasserstoff-Modell qualitativ erklären?

Beispiel 19: (Ladungsträgerkonzentration):

- (a) Leiten Sie aus der Bedingung der Ladungsneutralität und dem Massenwirkungsgesetz einen Ausdruck für die Elektronen- bzw. Löcherkonzentration in einem undotierten und in einem n-dotierten Halbleiter her.
- (b) Eine homogene Indiumantimonid (InSb) Probe ist mit $3 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ Selenatomen (Donatoren) dotiert. Die Bandgewichte von InSb bei $T = 300 \text{ K}$ betragen $N_c = 4.2 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ sowie $N_v = 7.3 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Der Bandabstand bei $T = 300 \text{ K}$ ist 0.17 eV . Wie groß sind die Elektronen- und Löcherkonzentrationen bei 300 K ?

Beispiel 20 (Effektive Masse):

- (a) Zeigen Sie, dass man ausgehend von der Definition der Gruppengeschwindigkeit für ein allgemeines Energieband $E(k)$ folgenden Ausdruck für die effektive Masse erhält:

$$m^* = \hbar^2 \left(\frac{\partial^2 E(k)}{\partial k^2} \right)^{-1}$$

- (b) Zeigen Sie, dass in einem parabolischen Band die effektive Masse konstant ist.
- (c) Welchen Wert hat die Masse in einem linearen Band?