

11. Übungsblatt zur "Festkörperphysik für Bachelor" WS 2009/10

M. Wolf/A. Melnikov

Ausgabe: 2. 2. 2010

Abgabe: Dienstag, den 9. 2. 2010 (vor der Vorlesung)

1. Ladungsträgerdichte in p-dotierten Halbleitern (10 P)

Ein Halbleiter mit einer Bandlücke $E_g = 1,1$ eV und effektiven Massen der Elektronen $m_e^* = 0,5 m_0$ bzw. Löcher $m_h^* = m_0$ (mit freier Elektronenmasse m_0) sei p-dotiert mit einer Akzeptorkonzentration $N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. Die Bindungsenergie der Akzeptoren liegt 0,2 eV über der Valenzbandkante E_{VB} .

- Zeigen Sie, dass die intrinsische Leitfähigkeit bei Raumtemperatur (300 K) vernachlässigt werden kann.
- Berechnen Sie die Leitfähigkeit σ des Materials bei 300 K für eine Mobilität der Löcher $\mu_h = 100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$.
- Skizzieren Sie den logarithmischen Verlauf der Konzentration der Löcher ($\ln p$) als Funktion der reziproken Temperatur ($1/T$) im Bereich von 100 bis 1000 K und geben Sie den funktionalen Verlauf in den jeweiligen Temperaturabschnitten an.
- Geben Sie die Lage des Fermi-Niveaus E_F im Grenzfall tiefer bzw. hoher Temperaturen an und skizzieren den Verlauf von E_F in der Bandlücke als Funktion der reziproken Temperatur.

2. Störstellenband (8 P)

Ein Donator-Atom im Halbleiter lässt sich vereinfacht als Wasserstoffatom eingebettet in ein dielektrisches Kontinuum auffassen. Dabei wird die Abschirmung des Halbleiters durch dessen Dielektrizitätskonstante ϵ ausgedrückt. Im Halbleiter Indiumantimonid (InSb) ist $\epsilon = 17$ und die effektive Masse der Elektronen beträgt $m_e^* = 0,014 m_0$.

Berechnen Sie für n-dotiertes InSb:

- die Ionisierungsenergie der Donatoren;
- den Bahnradius für den Grundzustand;
- In Analogie zur Beschreibung elektronischer Bänder im Tight-Binding-Bild kann der Überlapp der Donatorzustände benachbarter Fremdatome zu einem 'Störstellenband' führen, in dem elektrische Leitung durch Tunneln der Donatorelektronen von einer Störstelle zu nächsten stattfindet. Dieser Prozess führt zu einer endlichen Leitfähigkeit auch bei sehr tiefen Temperaturen. Berechnen Sie hierzu die Donatorkonzentration oberhalb der die Elektronenradien der Donatorgrundzustände benachbarter Fremdatome überlappen.

3. Eigenmoden im Dielektrikum (10P)

a) Bestimmen Sie die Dispersionsrelation für Polaritonen im Volumen eines Dielektrikums. Betrachten Sie dazu die dielektrische Funktion $\epsilon(\omega)$ für einen harmonischen Oszillator ohne Dämpfung (siehe Vorlesung). Berechnen Sie das asymptotische Verhalten von $\omega(q)$ (Betrag und Ableitung) für die Grenzfälle $q \rightarrow 0$ und $q \rightarrow \infty$. Skizzieren Sie den Verlauf von $\omega(q)$.

b) Betrachten Sie nun eine dielektrische Schicht der Dicke d . Bestimmen Sie dafür die Dispersionsrelation in der Form $\epsilon(q)$.

(Hinweis: Benutzen Sie als Ansatz für das elektrostatische Potential

$$\varphi(x, z, t) = \exp[i(q_{\parallel}x - \omega t)] \left(A \exp(-q_{\parallel}|z - d/2|) + B \exp(-q_{\parallel}|z + d/2|) \right).$$

Die entsprechende Randbedingung führt auf eine Sekulargleichung).

c) Betrachten Sie nun für die Lösung in (b) die Grenzfälle $qd \rightarrow 0$ and $qd \rightarrow \infty$, und bestimmen Sie die Eigenfrequenzen der dielektrische Funktion des harmonischen Oszillators. Diskutieren Sie das Resultat.