

11. Übungsblatt

Verteilung 4. Dezember 2007
Besprechung 12./13. Dezember 2007

Thema: Halbleiter und Magnetismus (I)**Aufgabe 1:** *Intrinsische Ladungsträgerkonzentration in Halbleitern*

Für tiefe Temperaturen ($kT \ll E_G$) kann man die Anregungen von Ladungsträgern in intrinsischen Halbleitern dadurch annähern, dass man Leitungs- und Valenzband jeweils durch ein diskretes Niveau an der Bandkante darstellt. Man nennt die Anzahl von Zuständen je Volumeneinheit die effektive Zustandsdichte (*siehe Vorlesung und Ibach-Lüth Kapitel 12.2.*). Sie ist eine Funktion der effektiven Massen an der entsprechenden Bandkante und der Temperatur.

1. Woher kommt die Temperaturabhängigkeit der effektiven Zustandsdichte?
2. Bestimmen Sie bei Raumtemperatur ($T = 300\text{K}$) jeweils die effektive Zustandsdichte im Valenzband N_V und im Leitungsband N_C für einen indirekten Halbleiter wie Silizium. Beachten Sie dabei, dass das Bandminimum im Silizium nicht im Ursprung liegt, und daher jeder Zustand entartet ist. Wie berücksichtigt man diese Entartung in der Rechnung?
3. Berechnen Sie die intrinsische Ladungsträgerkonzentration n_i für Si und GaAs.
Die effektiven Massen an den Bandkanten sind für Silizium: Effektive Elektronenmasse $m_e = 0.33m_0$, sowie leichte und schwere effektive Masse der Löcher $m_{lh} = 0.16m_0$ und $m_{hh} = 0.49m_0$. Der Abstand zwischen Leitungs- und Valenzband (Energielücke) beträgt $E_G = 1.14\text{eV}$.
Für GaAs gilt entsprechend $m_e = 0.07m_0$ und $m_{lh} = 0.076m_0$ sowie $m_{hh} = 0.5m_0$ und $E_G = 1.43\text{eV}$.

Aufgabe 2: *Entarteter Halbleiter*

Bringt man in ein Halbleitermaterial Donatoren in genügend hoher Konzentration ein, so befindet sich das elektrochemische Potential (Fermi-Niveau) des Halbleiters nicht mehr im Bereich der Bandlücke, sondern im Leitungsband. Man spricht dann von einem entartet dotierten Halbleiter. Wie gross muss die Donatorkonzentration in GaAs sein, damit entartete Dotierung vorliegt? ($\varepsilon_{\text{GaAs}} = 12.9$, $m_{\text{GaAs}} = 0.067m_0$)

Hinweis: Was passiert mit den Orbitalen der Valenzelektronen, wenn die Konzentration der Donatoren erhöht wird?

Aufgabe 3: *Gas paramagnetischer Atome*

Berechnen Sie für ein paramagnetisches Gas mit 10^{22} Atomen/ cm^3 die totale Magnetisierung M bei Raumtemperatur ($T=300\text{ K}$) und bei der Temperatur von flüssigem Helium ($T=4\text{ K}$) in einem externen Magnetfeld $B=2.5\text{T}$. Die Drehimpulse der Atome genügen folgenden Quantenzahlen: $L=0$, $S=1/2$.

Hinweis: Betrachten Sie jedes Atom als isoliertes System mit zwei Quantenzuständen (Spin parallel und antiparallel zum externen Feld). Benutzen Sie die Boltzmann-Statistik $p(E) \propto \exp(-E/k_B T)$ für die Besetzung der Zustände. Vergessen Sie nicht die Normierung der Verteilung.