Übungsblatt 2

Aufgabe 1) Kurzfragen zu Kapitel 1-3

a) Beschreiben Sie die Unterschiede zwischen Metallen und Halbleitern bezüglich ihrer Bandstruktur und der Lage des Fermi-Niveaus. Welche Konsequenzen ergeben sich daraus für die elektrische Leitfähigkeit und deren Temperaturabhängigkeit?

b) Erläutern Sie die Unterschiede zwischen den Halbleitern Silizium und Galliumarsenid im Hinblick auf die Emission und Absorption von Licht.

c) Die Fermi-Verteilung kann für Energien weit oberhalb der Fermi–Energie W_F durch die Boltzmann-Verteilung angenähert werden. Berechnen Sie die Energiedifferenz $W - W_F$ in Einheiten von kT, ab welcher der relative Fehler zwischen den Verteilungen weniger als 5% beträgt.

d) Wie groß ist die Besetzungswahrscheinlichkeit an der unteren Kante des Leitungsbandes für Silizium (W_g = 1,12 eV bei 300 K), wenn das Fermi-Niveau (i) in der Mitte des verbotenen Bandes bzw. (ii) 0,05 eV unterhalb der Leitungsbandkante liegt?

e) Erläutern Sie den Unterschied und die Ziele einer Lebensdauerdotierung und einer Leitfähigkeitsdotierung.

Aufgabe 2) Dispersionsrelation für Elektronen im Halbleiter

Gegeben sei eine vereinfachte eindimensionale Dispersionsrelation

$W(k) = \frac{W_0}{2}[1 - \cos(ka)]$ für ein Elektron im Halbleiter. Die Grenzen der ersten Brillouin-Zone sind $k = \pm\pi/a$.

a) Berechnen und skizzieren Sie die Gruppengeschwindigkeit des zum Elektron gehörenden Wellenpakets und die effektive Masse m^* als Funktion der Wellenzahl k.

b) Zur Zeit $t_0 = 0$ wird ein elektrisches Feld E eingeschaltet. Berechnen Sie die zeitabhängige Wellenzahl $k(t)$ unter der Annahme, dass das Elektron vom Minimum der Bandkante bei $k = 0$ startet. Können Sie eine Aussage über den Ort des Elektrons treffen?

c) Betrachten Sie nun ein lokalisiertes Elektron. Dieses wird repräsentiert durch ein Wellenpaket, das zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ im Ortsraum bei $x_0 = 0$ zentriert ist, und dessen mittlerer k-Vektor sich im Impulsraum gemäß der in Teilaufgabe b) berechneten Beziehung entwickelt. Berechnen und skizzieren Sie den mittleren Aufenthaltsort des Elektrons $x(t)$ als Funktion der Zeit. Vernachlässigen Sie dabei ein „Zerfließen“ des Wellenpaktes im Ortsraum infolge unterschiedlicher Anfangsimpulse.

bitte wenden

Die vorstehende Betrachtung gilt für ein ideales Kristallgitter, in dem die Wechselwirkung von Elektronen mit dem Gitter vollständig durch die effektive Masse beschrieben werden kann. Im Gegensatz dazu führen bei einem realen Kristall Gitterdefekte und Gitterschwingungen dazu, dass Elektronen durch Wechselwirkung mit dem Gitter Impuls abgeben. Dies lässt sich durch einen zusätzlichen Term in der Bewegungsgleichung für k beschreiben

$$\frac{\mathrm{d}(\hbar k)}{\mathrm{d}t} = -eE - \frac{\hbar k}{\tau_{LB}}, \tag{1}$$

wobei τ_{LB} die Intrabandimpulsrelaxationszeit des Leitungsbandes ist.

d) Berechnen Sie den stationären Kristallimpuls $\hbar \mathrm{k}_{\mathrm{stat}}$der sich für ein zeitlich konstantes elektrisches Feld einstellt. Berechnen Sie den zugehörigen Zahlenwert für Silizium mit $\tau_{LB} = 0{,}2\,\mathrm{ps}$ und einem typischen elektrischen Feld von 5 kV/cm und vergleichen Sie diesen mit dem Kristallimpuls am Rand der Brillouin-Zone (die Gitterkonstante von Silizium sei $a = 0{,}543\,\mathrm{nm}$). Was bedeutet dies für die parabolische Näherung der Dispersionsrelation?