

Probeklausur zur Einführung in die Festkörperphysik

Prof. Christian Pfeiderer

Wintersemester 2017/2018

25. Januar 2018

Hinweise:

- Notieren Sie auf jedem beschriebenen Blatt Name und Matrikelnummer!
- Fertigen Sie Ihre Lösung ausschließlich auf den ausgeteilten DIN A4 Bögen an! Notizen auf dieser Angabe werden bei der Korrektur nicht berücksichtigt!
- Diese Klausurangabe umfasst 6 Aufgaben.
- Bearbeitungszeit: 90 min
- Zugelassene Hilfsmittel:
 - Nicht programmierbarer, netzunabhängiger Taschenrechner.
 - Wörterbuch
 - Ein DIN A4 Formelblatt, beidseitig ausschließlich handschriftlich beschrieben.

Konstanten:

Wirkungsquantum	$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$
red. Wirkungsquantum	$\hbar = 1.05 \times 10^{-34} \text{ J s}$
Elementarladung	$e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$
Elektronenmasse	$m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Atomare Masseneinheit	$u = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Boltzmann-Konstante	$k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
Avogadro-Konstante	$N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Elektrische Feldkonstante	$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ As/(Vm)}$
Magnetische Feldkonstante	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N m}^{-2}$

1 Zweidimensionale Struktur

Abbildung 1.1 zeigt eine zweidimensionale Verbindung aus drei Elementen mit den Atomradien r_A (Atom A: Schachbrettmuster), r_B (Atom B: gefüllt) und r_C (Atom C: vertikal gestreift).

- (a) Wie viele Atome jedes Typs sind in der primitiven Einheitszelle?
- (b) Geben Sie die chemische Formeleinheit des Kristalls an.
- (c) Geben Sie die Einheitsvektoren einer primitiven Einheitszelle an.
- (d) Geben Sie die Vektoren für die B-Atome dieser Einheitszelle an.
- (e) Welche geometrische Form hat die Wigner-Seitz-Zelle?
- (f) Wie viele akustische und wie viele optische Phononenzweige gibt es?

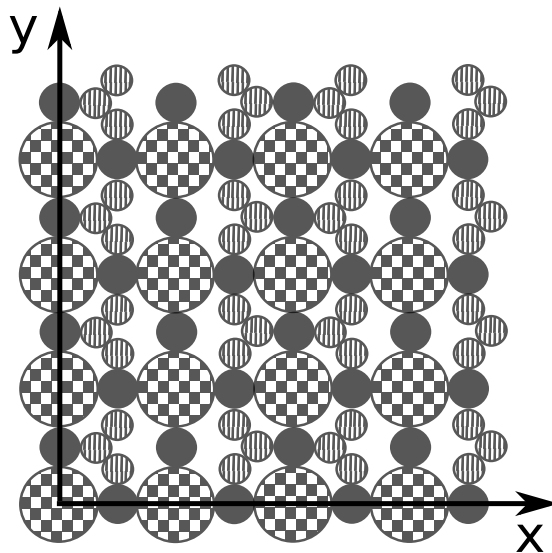


Figure 1.1: Zweidimensionale Struktur

2 Zinkblende-Struktur

Die meisten Halbleiter in optoelektronischen Anwendungen besitzen die Zinkblende-Struktur (ZnS). Diese besteht aus einer zweiatomigen Basis, angeordnet in einem fcc Gitter mit einem Atom am Ursprung und dem Zweiten bei $(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4})$. Bei GaAs, dem wichtigsten Vertreter der III-V Halbleiter, beträgt die Gitterkonstante $a = 5.56 \text{ \AA}$.

- (a) Was ist der kleinste Abstand zweier Ga Atome und zwischen einem Ga und As Atom?
- (b) Die Ebenen, die senkrecht auf der dreizähligen Rotationsachse stehen, bestehen entweder aus Ga oder As. Wie groß ist der Abstand benachbarter Ebenen?
- (c) Berechnen Sie die Dichte von GaAs (in SI Einheiten). Benutzen dazu die Atommassen aus dem Periodensystem ($m_{\text{Ga}} = 69.72 \text{ u}$, $m_{\text{As}} = 74.92 \text{ u}$).
- (d) Bestimmen Sie den Strukturfaktor für GaAs.

3 Fermi-Energie von Lithium und Kupfer

- (a) Bestimmen Sie unter der Annahme wechselwirkungsfreier Elektronen die Fermi-Energie E_F in eV, die Fermi-Temperatur T_F und den Fermi-Wellenvektor k_F für:
- Lithium (bcc-Struktur; $a = 3.2 \text{ \AA}$; ein Leitungselektron pro Atom)
 - Kupfer (fcc-Struktur; $a = 3.6 \text{ \AA}$; vier Leitungselektronen pro Atom).
- (b) Erklären Sie kurz, warum die gemessene Fermi-Energie von Lithium mit dem berechneten Wert gut übereinstimmt während die gemessene Fermi-Energie von Kupfer vom berechneten Wert stark abweicht.

4 Bindungsenergie im Neon-Kristall

- (a) Nennen Sie vier Bindungstypen in Festkörpern und geben Sie jeweils ein Beispiel an, in dem dieser Bindungstyp dominant ist.
- (b) Skizzieren Sie die fcc-Struktur.
- (c) Wieviele nächste Nachbarn besitzt in der fcc-Struktur jedes Atom?
- (d) Das Edelgas Neon kristallisiert in der fcc-Struktur. Die Bindungsenergie des Kristalls wurde zu $U_B = -1.88 \text{ kJ mol}^{-1}$ gemessen und die Gitterkonstante beträgt $a = 4.466 \text{ \AA}$. Die Wechselwirkung der Atome untereinander kann über das Lennard-Jones-Potential beschrieben werden:

$$U_{\text{Pot}}(r) = -4\epsilon \left[\left(\frac{\sigma}{r} \right)^6 - \left(\frac{\sigma}{r} \right)^{12} \right] \quad (1)$$

Berechnen Sie die Parameter σ und ϵ . Gehen Sie von der Annahme aus, dass die Wechselwirkung nur zwischen nächsten Nachbarn auftritt.

5 Brillouin-Zone

Betrachten sie ein zweidimensionales quadratisches Gitter mit Gitterkonstante $a = 2 \text{ \AA}$ und einatomiger Basis.

- (a) Skizzieren Sie die erste und zweite Brillouin-Zone, indem Sie die entsprechenden Flächen im reziproken Gitter schraffieren.
- (b) Nehmen Sie an, jedes Atom trage zwei Leitungselektronen zum Elektronengas bei. Berechnen Sie den Fermi-Wellenvektor k_F in Einheiten π/a und die Fermi-Energie in Einheiten von $E_0 = \hbar^2/(8m_0a^2)$ des zweidimensionalen Gases.
- (c) Tragen Sie die Fermi-Fläche in die Brillouin-Zonen aus Teilaufgabe (a) ein.
- (d) Zeichnen Sie die Fermi-Fläche in der ersten und zweiten Brillouin-Zone im reduzierten Zonenschema.
- (e) Handelt es sich bei diesem Elektronengas um ein Metall oder einen Isolator?

6 Drei-Achsen-Spektrometer

- (a) Zeichnen Sie schematisch den Aufbau eines Drei-Achsen-Spektrometers und beschriften Sie die wichtigsten Komponenten. Kennzeichnen Sie in Ihrer Skizze den Streuwinkel 2θ .
- (b) Welcher Winkel muss variiert werden, um eine Messung bei konstantem Energieübertrag durchzuführen? Begründen Sie kurz Ihre Antwort.
- (c) Neutronen der Wellenlänge $\lambda_0 = 1.15 \text{ \AA}$ werden an einem LiF-Kristall gestreut (fcc Gitter, $a = 4.02 \text{ \AA}$). Neutronenquelle, Probe und Detektor spannen eine Ebene parallel zu den (001) -Netzebenen des Kristalls auf. Fällt der Neutronenstrahl parallel zur $[100]$ -Richtung ein, so beobachtet man unter einem Ablenkwinkel von $2\Theta = 30^\circ$ gestreute Neutronen der Wellenlänge $\lambda = 1.8 \text{ \AA}$. Skizzieren Sie den Streuvorgang im reziproken Raum unter der Annahme $G = (\bar{1}10)$.
- (d) Werden Phononen erzeugt oder vernichtet?