Festkörperphysik
Übersicht

Thomas Kuster

23. Juli 2009

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

2 Kritsallstrukturen

Unterschied primitive und allgemeine Einheitszelle Was ist der Unterschied zwischen einer primitiven und einer allgemein gewählten Einheitszelle?

Antwort: Eine Einheitszelle hat lediglich die Bedingung, dass sie bei Verschiebung durch eine beliebigen Translationsvektor den ganzen Raum ausfüllt. Eine primitive Einheitszelle tut dies auch, sie muss aber auch die minimale Anzahl Atome umgeben, die zur Beschreibung des Kristalls nötig sind.

Gitter und Basis Was sind Gitter und Basis?

2.1 Beugung an periodischen Strukturen

2.2 Beugungstheorie

2.3 periodische Strukturen ($\varrho(\vec{r})$) und das reziproke Gitter

Reziprokes-Gitter Wie ist das reziproke Gitter definiert? Welche physikalischen Vorgänge sind mit Hilfe des reziproken Gitters besonders effizient beschreibbar?

2.4 Streubedingungen an einem periodischen System

2.5 Die Bragg-Beziehung

2.6 Das Kristallgitter

2.7 Punkt-Symmetrien

2.8 32 Punktgruppen

2.9 Warum sind symmetrien wichtig?

Translationsgitter Welches sind die 14 Translationsgitter des 3-dimensionalen Raumes (Bravais-Gitter)?

2.10 Einfache Kristallstrukturen

Typische kubische Sysmmetrieelemente Welche Symmetrieelemente sind typisch für die kubische Struktur?

2.10.1 Kubisch-Flächenzentriertes-Gitter

2.10.2 Hexagonal dichteste Packung

2.10.3 Kubisch raumzentriertes Gitter

2.10.4 Diamant Struktur

2.10.5 Zink-Blende-Struktur

Kristalle von Si und Ge In welcher Struktur kristallisieren Si und Ge, und welcher dominate Bindungstyp liegt vor?

Kristallstrukturen Kennen Sie einige Kristallstrukturen?

Gitterarten Was bedeutet: einfach kubisch, kubisch flächenzentriert, kubisch raumzentriert?

2.10.6 Ionische Strukturen

2.11 Brillouin-Zonen

Brillouin Zonen Definition und Bedeutung der Brillouin Zonen?

2.12 Strukturfaktor

2.13 Methoden der Strukturanalyse

Kristallstruktur bestimmen Wie würden Sie vorgehen, um die Kristallstruktur einer neu synthetisierten Verbindung zu bestimmen? Was tun Sie, wenn die Verbindung nur in Form eines feinen kristallinen Pulvers vorliegt? Was könnte man hingegen mit einen cm-grossen Einkristall machen?

Kristall untersuchen Sie erhalten einen kleinen Kristall einer neu hergestellten Substanz. Welche Messungen führen Sie durch, um möglichst viel über diese Substanz aussagen zu können? Über die Struktur, und über physikalische Eigenschaften.

2.13.1 e^-, Photonen, n, Atome

2.13.2 Röntgenstrahlen

2.13.3 Beugung von Elektronenstrahlen

2.13.4 Beugung von Neutronenstrahlen

3 Chemische Bindung in Festkörper

Bindungstypen Welche Bindungstypen von Festkörpern kann man unterscheiden?

Antwort:

- kovalente Bindung (2 Atome Teilen sich ein Elektron, 5–7 eV)
- ionische Bindung (1–3 eV)
- metallische Bindung(1 eV)

- H-Brücken (0.1 eV)
- van der Waals Bindung (0.05–0.2 eV)

Elektronenverteilung bei den verschiedenen Bindungstypen Wie unterscheiden sich die verschiedenen Bindungstypen bezüglich der Elektronenverteilung zwischen den Atomkernen?

Madelung-Konstante Was bedeutet die Madelung-Konstante, und in welchem Zusammenhang wird sie verwendet?

3.1 Periodensystem der Elemente

3.2 Die kovalente Bindung

3.3 Die ionische Bindung

NaCl Bei Umgebungsbedingungen ist Natrium ein weiches, silberglänzendes Metall. Chlor ist ein Gas. Weshalb ist NaCl ein farblos durchsichtiger Isolator (Steinsalz)?

NaCl und Flüssigkeit Kann man intuitiv verstehen was passiert, wenn NaCl Kristalle in eine Flüssigkeit mit sehr grosser relativer Dielektrizitätskonstante gelegt wird? (Wie gross ist die statische relative Dielektrizitätskonstante von Wasser?)

3.4 Die Metallische Bindung

3.5 Die Wasserstoff-Bindung

3.6 Die Van-der-Waals-Bindung

4 Dynamik des Kristallgitters

Schallgeschwindikeit und chemische Bindung Was kann man aus der Schallgeschwindigkeit über die chemische Bindung eines Festkörpers aussagen?

4.1 Das Potential

4.2 Die Bewegungsgleichung

4.3 Die zwei-atomige Kette

Dispersionsrelation Wie sieht die Dispersionsrelation für Wellen in einer linearen zweiatomigen Kette aus?

4.4 Streuung an zeitlich veränderlichen Strukturen

5 Thermische Eigenschaften von Kristallgittern

Bratpfanne Warum ist der Boden einer guten Bratpfanne aus Kupfer und nicht aus rostfreiem Stahl hergestellt?

Wärmeleitfähigkeit von Kupfer und rostfreiem Stahl Warum leitet bei Zimmertemperatur Kupfer die Wärme besser als rostfreier Stahl?

≪Wiedemann-Franz Gesetz≫ Was beschreibt das ≪Wiedemann-Franz Gesetz≫, und welches sind die Annahmen?

Antwort: Das Wiedemann-Franzsche Gesetz sagt aus, dass das Verhältnis zwischen thermischer Leitfähigkeit λ und elektrischer Leitfähigkeit σ in einem Metall proportional zur Temperatur ist, unabhängig von dem betrachteten Metall.

$$\frac{\lambda}{\sigma} = \underbrace{L}_{\text{Lorenz-Zahl (konstante)}} \cdot T$$

Wärmeleitfähigkeit von Diamant Warum ist Diamant bei Zimmertemperatur ein guter Wärmeleiter?

Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärme Skizzieren Sie die Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärme von Blei und von Diamant. Wie kann man die Grenzbereiche einfach verstehen?

Modelle für die spezifischen Wärme von Festkörpern Welche vereinfachten Modelle sind zur Beschreibung der spezifischen Wärme von Festkörpern entwickelt worden? Muss man zwischen Isolatoren und Metallen unterscheiden?

5.1 Die Zustanddichte der Phononen

Was sind Phononen Was bezeichnet man als «Phonon»?

Welche Statisik für Phononenzustände Welche Statistik besschreibt die Besetzung von Phononenzuständen?

Experimente und Phononen Wie kann man aus dem Experiment Informationen über Phononen ableiten?

Phononen-Dispersionsbeziehung Was ist eine Phonon-Dispersionsbeziehung, und wie kann man sie messen?

5.2 Die thermische Energie eines harmonischen Oszillator

«**Einstein-Frequenz**» Was bedeutet «Einstein-Frequenz», und in welchem Modell hat sie eine bestimmte Bedeutung?

Antwort: Im Einsteinmodell entsprechen N Teilchen im Festkörper N Resonatoren im thermischen Gleichgewicht mit harmonischer Frequenz ω_0. Dieses ω_0 ist die Einstein-Frequenz

5.3 Spezifische Wärmekapazität eines Gitters

«**Debeye Temperatur**» Was bedeutet die «Debeye Temperatur»? In welchem Modell hat sie eine bestimmte Bedeutung?

Phonon-Zustandsdichte im Debye Modell Skizzieren Sie die Phonon-Zustandsdichte im Debye Modell, und im Einstein Modell für den Festkörper.

Spezifische Wärme bestimmen Wie bestimmt man die spezifische Wärme eines Festkörpers?

≪**Sommerfeld**≫**-Koeffizient** Was bedeutet der ≪Sommerfeld≫-Koeffizient ≪gamma≫, und wie kann man ihn messen?

Sommerfeldkoeffizienten und Streuprozesse in einem Metall Welchen Zusammenhang gibt es zwischen dem Sommerfeldkoeffizienten gamma und einem der den elektrischen Widerstand bestimmenden Streuprozesse in einem Metall (bei tiefen Temperaturen)? Dieser Zusammenhang ist empirisch im Kadowaki-Woods Diagramm gesammelt. (Dies ist eine ≪anspruchsvollere≫ Frage).

6 Das Modell der freien Elektronen

freies Elektronengas Was bedeutet das Konzept des freien Elektronengases?

Ferminiveau Was bedeutet das Ferminiveau?

Lage des Ferminiveau Die Lage des Ferminiveau ($T = 0$) wird durch welche Faktoren bestimmt?

Ferminiveau messen Wie kann man die elektronische Zustandsdichte am Ferminiveau in einem Metall messen?

≪**freie**≫ **Elektronen und Suszeptibilität** Welchen Beitrag zur magnetischen Suszeptibilität leisten ≪freie≫ Elektronen?

6.1 Freies e^--Gas im Potentialtopf

6.2 Das Fermi-Gas bei $T = 0$

Besetzung von Elektronenzustände Wie sind die Elektronenzustände bei $T = 0$ besetzt, wie bei erhöhter Temperatur?

6.3 Fermi-Statistik

Fermi-Energie, -Geschwindigkeit und -Wellenvektor Was ist die typische Fermi-Energie, Fermi-Geschwindigkeit und der Fermi-Wellenvektor für Metalle mit einem Elektron pro Atom?

7 Die elektronische Bandstruktur von Festkörpern

Energie und Kristallimpuls Wie hängt die Energie E für quasi-freie Elektronen vom Kristallimpuls k ab?

7.1 Allgemeine Symmetrie-Bedingungen

7.2 Bemerkungen zum Bloch'schen Theorem

7.2.1 Wellenvektor und Impuls

7.2.2 Beschränkung auf die 1. Brillouin-Zone

7.2.3 Wellenvektorabhängigkeit der Energie

7.3 Die Näherung fast freier e^e

8 Transport-Phänomene

$E(k)$ **Relation** Was bedeutet die $E(k)$ Relation von Elektronen in einem Kristall?

8.1 Bewegung von e$^-$ in Bändern

elektronische Bandstrukturen Was verstehn wir unter «elektronischer Bandstruktur»?

8.2 Ströme in Bändern: Elektronen und Löcher

Breite von Energiebänder Wann sind, im Allgemeinen, Energiebänder breit und wann sind sie schmal? Was bedeutet das für die Zustandsdichte?

typische Bandbreiten Welches sind typische Bandbreiten in Kristallen (in eV Einheiten)?

Bandlücken an der Grenze der Brillouin Zone Wie kann man das Zustandekommen von «Bandlücken» an der Grenze der Brillouin Zone verstehen?

8.3 Streuung an Band-Elektronen

8.4 Bolzmann-Gleichung und Relaxationszeit

8.5 Elektrische Leitfähigkeit von Metallen

elektrischer Widerstand im Metall Welche Prozesse beeinflussen den elektrischen Widerstand in einem Metall? Bei tiefen Temperaturen, bei Zimmertemperatur? Was ist der typische spez. Widerstand eines guten Metalles bei Zimmertemperatur, z. B. Kupfer oder Aluminium?

Streuprozesse für e^- im Metall Welche Streuprozesse für Elektronen in einem Metall kennen Sie? Wie