

Saalübung	Mo, 24.11.2014, 15:45 – 17:15 Uhr
Themengebiete	Bändermodell Leitfähigkeit in Halbleitern Leitfähigkeit in Metallen
Übungsleiter	Dipl.-Ing. Michael Schönleber Dipl.-Phys. Julian Szasz

### A1: Bändermodell

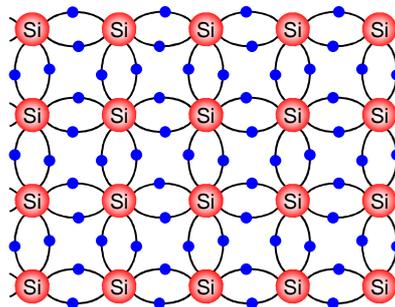
Das Bändermodell stellt eine Weiterentwicklung des Drude-Modells der Leitfähigkeit, basierend auf Effekten der Quantenmechanik dar. Während das Drude-Modell beispielsweise den Effekt von Dotierungen auf die Leitfähigkeit von Halbleitern nicht vorhersagen kann, wird dies vom Bändermodell geleistet.

- Was ist ein Band? Geben Sie eine prägnante und zugleich anschauliche Definition in wenigen Worten.
- Zeichnen Sie die typischen Anordnungen von Valenz- und Leitungsband jeweils für Metalle, Halbleiter und Isolatoren. Kennzeichnen Sie zudem ob die jeweiligen Bänder bei  $T=0\text{K}$  leer, halb oder voll gefüllt sind.
- Im Festkörperverbund des Elements Natrium trägt pro Natriumatom im Mittel ein Elektron zur Leitfähigkeit bei.
  - Warum ist dies so?
  - Zu welchem Anteil ist das Leitungsband bei  $T=0\text{K}$  gefüllt?
- Welches quantenmechanische Prinzip ist dafür verantwortlich, dass in vollen Bändern keine Leitung stattfinden kann?

### A2: Leitfähigkeit in Halbleitern

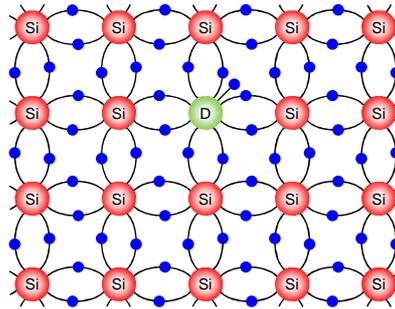
Halbleiter stellen eine wichtige Klasse von Werkstoffen dar. Durch sie können elektrotechnische Bauteile wie Dioden und Transistoren hergestellt werden, ohne die moderne Elektronik nicht denkbar wäre.

- Gegeben sei die Bindungsstruktur von Silizium bei  $T=0\text{K}$ . In welchem Band befinden sich die dargestellten kovalenten Bindungselektronen?



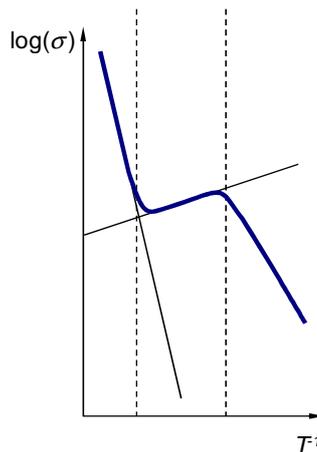
- Die Temperatur werde nun auf  $T>0\text{K}$  erhöht. Einige Elektronen werden dadurch in Energiezustände des Leitungsbandes angehoben. Wodurch könnte man dies im Bild aus Teilaufgabe a) kenntlich machen?

c) Silizium werde nun mit einem Fremdstoff dotiert. Dargestellt ist die resultierende Bindungsstruktur, wiederum bei  $T=0\text{K}$ .



- i. Um welchen Fremdstoff könnte es sich handeln?
- ii. Wirkt der Fremdstoff als Donator oder Akzeptor?
- iii. Wo im Bänderschema vermuten Sie die energetische Lage des nicht in Bindungen mit Silizium-Atomen involvierten Elektrons und warum?

d) Die Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit eines n-dotierten Halbleiters ist in nachfolgender Abbildung schematisch skizziert. Ändert sich der qualitative Verlauf bei einem p-dotierten Halbleiter und wenn ja, wie?



### A3: Leitfähigkeit in Metallen

Zwar kann die Leitfähigkeit von Metallen durch das Bändermodell physikalisch korrekter beschrieben werden, jedoch hat in vielen Fällen die Modellvorstellung nach Drude immer noch ihre Daseinsberechtigung: Gerade für qualitative Aussagen liefert sie meist korrekte Ergebnisse und ist aufgrund ihres mechanistischen Ursprungs deutlich einfacher zu verstehen.

a) Zwei Kupferproben aus dem gleichen Herstellungsprozess sind mit 1 % Fremdatomen Eisen (Fe) bzw. Nickel (Ni) verunreinigt. Welche der beiden Proben weist bei gleicher Temperatur den höheren spezifischen Widerstand auf und warum?

b) Zwei Kupferchargen A und B aus dem gleichen Herstellungsprozess werden einer Qualitätskontrolle unterzogen. Dazu werden die spezifischen Widerstände beider Chargen bei  $T=4\text{K}$  gemessen. Es ergibt sich:

$$\rho_A = 0.1 \cdot 10^{-8} \Omega m$$

$$\rho_B = 1 \cdot 10^{-8} \Omega m$$

Welche der beiden Chargen hat eine kleinere Konzentration von Verunreinigungen und warum?

c) Ausgehend von  $T=4\text{K}$  werde Probe A nun langsam auf  $T=298\text{K}$  erwärmt. Bei  $T=30\text{K}$  befrage ihr spezifischer Widerstand

$$\rho_A = 0.15 \cdot 10^{-5} \Omega mm$$

Bestimmen Sie den Temperaturkoeffizienten des spezifischen Widerstands bei  $T=30\text{K}$ .

*Hinweis: Es gelte die Regel von Grüneisen für  $T \ll T_{Debye}$ .*

d) Bei  $T=298\text{K}$  gelte für den spezifischen Widerstand von Probe A:

$$\rho_A = 1.68 \cdot 10^{-6} \Omega cm$$

Wie groß ist bei dieser Temperatur die thermische Leitfähigkeit von Probe A?

*Hinweis: Eventuell benötigte Konstanten können den Vorlesungsfolien entnommen werden.*

e) Im Rahmen welches „einfachen“ Experiments könnte ein dotierter Halbleiter eindeutig von einem Metall unterschieden werden?