

Elektrische Leiteigenschaften, Leitermaterialien



Teilchen, die (bewegungsfähige)
Ladungsträger im elektrischen
Leitungsprozess sind:



Leiter	Metalle	freie Elektronen
	Legierungen	freie Elektronen
	Elektrolyte	+ und - Ionen
	Gase im Plasma Zust.	+ und - Ionen
Halbleiter	elementare HL.	freie Elektronen, Löcher
	Verbindungs-HL.	freie Elektronen, Löcher
Isolatoren	kovalente Kristalle	freie Elektronen, Löcher
	Ionkristalle	freie Elektronen, Löcher
	Flüssigkeiten	+ und - Ionen
	Gase	+ und - Ionen

σ (spezifische elektrischer Leitfähigkeit)
Siemens/m, 1/Ohm m

$< 10^{-8}$ S/m

$10^{-8} - 10^6$ S/m

$> 10^6$ S/m

Isolator

Halbleiter

metallische Leiter

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

$$\rho \text{ (}\Omega \text{ m)}$$

$$\sigma \left(\frac{\text{S}}{\text{m}} \right)$$

Isotrop: (Einkristalle mit kubischen Zellen,
Polykristalle)

Anisotrop: (andere Kristalle mit weniger
Symmetrie: hex., tetragonal ...)

zB: Cd, Mg, Zn, C (Graphit)

$$\frac{\rho_{parallel}}{\rho_{senkrecht}} \approx 1000$$

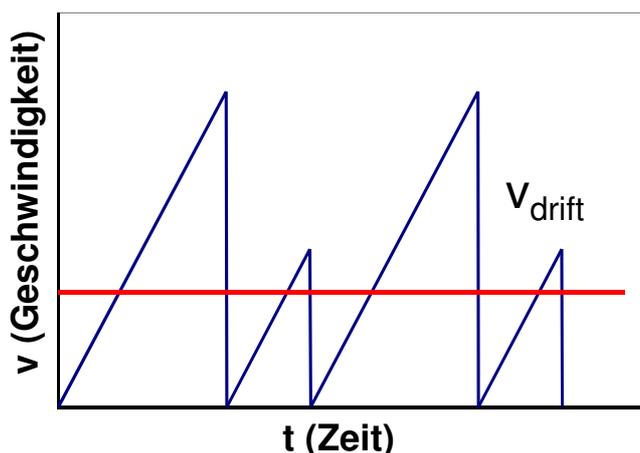
Klassisch (Sommerfeldsche, freies Elektron Modell)

Annahme: Zwischen Elektronen gibt es keine Wechselwirkung (Idealgas)

Elektronenbewegung:
Ungeordnete thermische Bewegung + Abdrift

Kvantummechanisch

Bewegung der Ebene Welle der Elektronen im Gitterperiodischen Potentialraum. Leitender Körper: Potentialgruben.



Die Elektronen beschleunigen sich kontinuierlich wegen der elektrische Feldstärke wenn sie Auf ein Atomrüpf stoßen bleiben sie stehen, und beschleunigen sich weiter.

$$v_d = \mu \cdot E$$

v_d : Driftgeschwindigkeit
 q : Ladung der Elektron
 n : Anzahl der freie Elektronen
 τ : durchschnittliche Flugzeit zwischen zwei Zusammenstöße
 a : Beschleunigung
 F : Kraftereinwirkung auf die Elektronen
 m : Masse der Elektronen
 E : elektrische Feldstärke
 s : spezifische Leitfähigkeit
 μ_n : Elektronenbeweglichkeit
 μ_p : Löcherbeweglichkeit

$$j = q \cdot n \cdot v_d$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{q \cdot E}{m} \Rightarrow v_d = \frac{q \cdot E}{2 \cdot m} \tau$$

$$j = \frac{n \cdot q^2 \cdot \tau}{2 \cdot m} E = \sigma \cdot E$$

Ergebnisse der Theorie:

- differentiale *Ohmsche-Gesetz* $j = \sigma \cdot \text{grad}U$
- Metalle mit 1-2 Valenzen haben gute spezifische Widerstandswerte

Problemen:

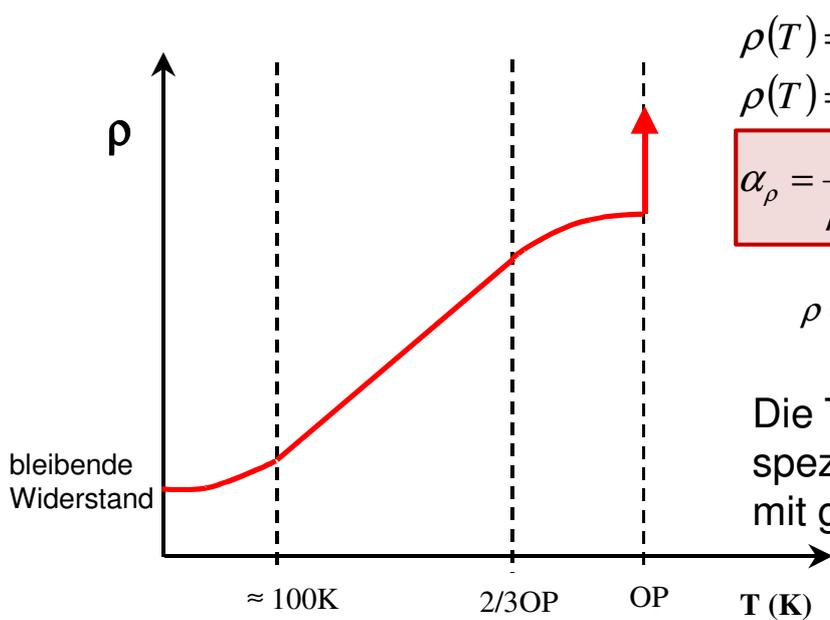
- differente Leiteigenschaften der allotrope Modifikationen nicht erklärt
- Metalle mit mehreren Valenzen (spezifische el. Widerstand falsch)
- Temperaturabhängigkeit der Halbleiter, Isolatoren ist nicht erklärt
- σ (T, Licht, äußere E, Bestrahlung...) nicht definiert

Gitterunordnungen (Deformation des periodischen Potentialraum)
 $\Rightarrow \rho$ wächst:

- thermische Gitterschwingungen
- thermisch aktivierte Punktfehler
- Versetzungen (Verformung)
- Oberflächenfehler (Korngröße)
- Volumenfehler (Ausscheidungen, neue Phasen)
- Gitterdeformation (Mischkristallbildung)

Matthiesensche-Regel (die einzelnen Faktoren sind abtrennbare Funktionen)

$$\rho(T, c, \varepsilon) = \rho_1(T) + \rho_2(c) + \rho_3(\varepsilon) + \dots$$



$$\rho(T) = \rho_0(1 + \alpha\Delta T + \beta\Delta T^2 + \dots + \mu\Delta T^n)$$

$$\rho(T) = \rho_0(1 + \alpha\Delta T)$$

$$\alpha_\rho = \frac{1}{\rho_0} \frac{\Delta\rho}{\Delta T}$$

$$\rho = \frac{m^*}{nq^2\tau} = \frac{m^*}{nq^2} \left(\frac{1}{\tau_R} + \frac{1}{\tau_T} \right) = \rho_R + \rho_T$$

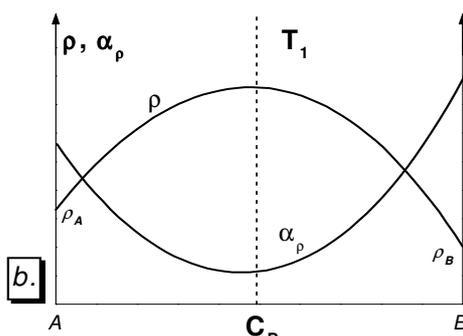
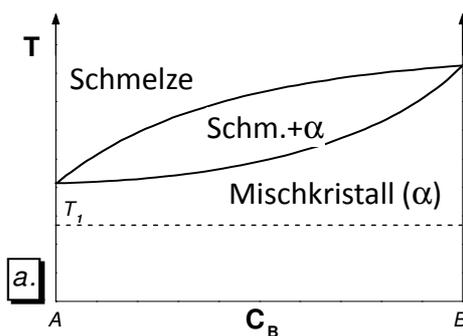
Die Temperaturabhängigkeit der spez. el. Widerstand ist über 100 K mit guter Annäherung linear.

Kr. Fehler \Rightarrow bleibender Widerstand

Supraleiter:
bleibender Widerstand ist null.

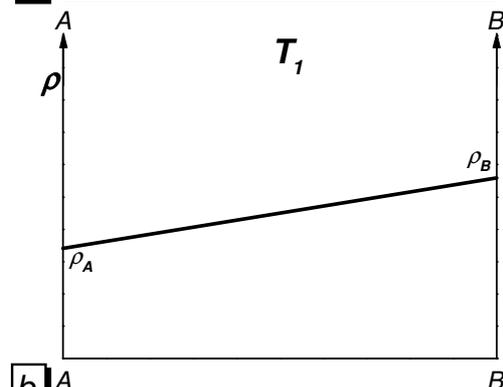
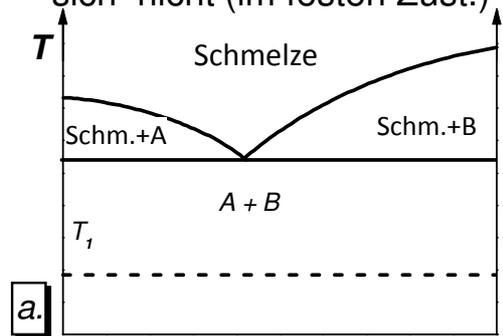
Nicht lineares Verhalten, wenn:
ferro-paramagnetische Übergang
allotrope Umwandlung
Phasenumwandlung (fest-flüssig)

Die zwei Komponenten lösen sich unbeschränkt



$$\Delta\rho_{\text{Legierung}} = Ac(1-c)$$

Die zwei Komponenten lösen sich nicht (im festen Zust.)



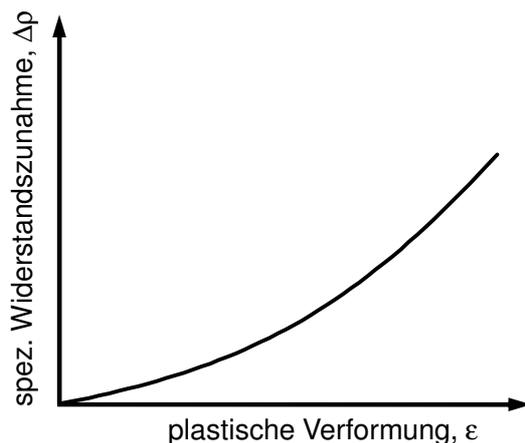
$$\rho_{\text{Legierung}} = \rho_A c_A + \rho_B c_B$$

Nordheimsche-Regel: wenn die Komponenten sowohl Mischkristall als auch zweite Phase bilden der spez. el. Widerstand ist:

$$\rho = \rho_A + (\rho_A - \rho_B)c_B + Ac_B(1 - c_B)$$

Mottsche-Regel: bei Mischkristallen bei kleine Legierungselementkonzentrationen die $(1-c)$ wird ungefähr 1, also der in eine (z.B.: A) Komponenten reiche Legierung wird die Widerstandszunahme durch Komponente B verursacht gleich mit der Widerstandszunahme sein was Komponente A in einer Legierung reich an Komponente B verursacht.

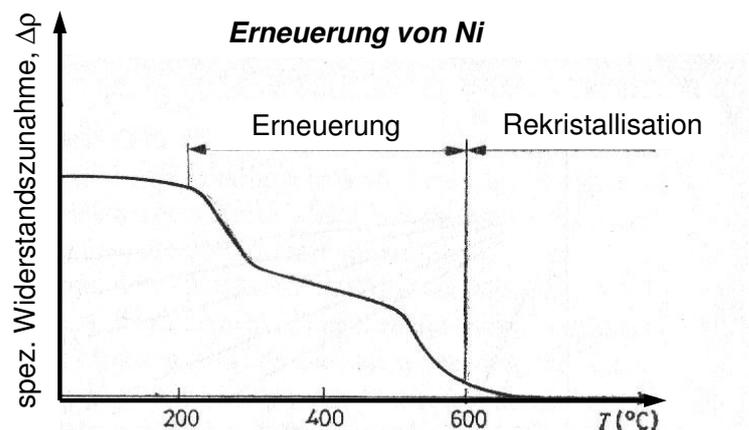
$$\Delta\rho = Ac \Rightarrow \Delta\rho_{AB} = \Delta\rho_{BA}$$



Plastische Verformung \Rightarrow
Leerstellen, Versetzungen

$$\Delta\rho_\varepsilon = k \cdot \varepsilon^n$$

$$\ln \Delta\rho_\varepsilon = n \ln \varepsilon + \ln k$$



Durch Rekristallisation das System geht zum Gleichgewicht $\Rightarrow \rho$ sinkt.

Einfluss des Druckes (hydrostatisch): ρ wächst

Einfluss der Schichtdicke

Wenn der freie Laufweg von e- vergleichbar mit der Schichtdicke wird

k: Oberflächenqualität

a: Form (Draht, Blech)

d: Dicke, Durchmesser

λ : freie Laufweg der e-

$$+ \Delta\rho = k \cdot a \cdot \rho \cdot \frac{\lambda}{d}$$

$$\lambda = v_{drift} \cdot \tau$$

Mat. für Stromleitungen:
Cu und Cu-Legierungen
Al und Al-Legierungen
Fe und Fe-Legierungen

Aktive Komp. der Thermoelemente

Cu - Konstantan

Fe – Konstantan

Ni – CrNi, Pt – PtRh

Mat. für el. Kontakte
kleine Übergangswiderstand
gute Wärmeleitfähigkeit
gute Lichtbogenfestigkeit
große Festigkeit
Verschleißfestigkeit
z.B.: Au, Ag, W, Pt,
Cu-Ag, Cu-Ag-Au,
Verbundwerkstoffe
z.B.: Ag-CdO

Glas- und Keramische Leiter

kleine Wärmeausdehnungskoeffizient

z.B.: Fe – Ni Legierung

36-42% Ni

Bimetalle

zwei Materialien mit

verschiedene Wärme-

ausdehnungskoeffizienten

zusammengewalzt

Lötmittel