

Medizinische Biophysik

3. Vorlesung

Struktur der Materie

II. Aggregatzustände: feste Körper, Flüssigkristalle

4. Fester Aggregatzustand - Kristalle

f) Elektronenstruktur (Bändermodell):

5. Fester Aggregatzustand - amorphe Stoffe

a) Makroskopische Beschreibung:

b) Mikroskopische Beschreibung:

6. Flüssigkristalle

a) Makroskopische Beschreibung:

b) Mikroskopische Beschreibung:

c) Anwendungen von Flüssigkristallen:

d) Lyotrope Flüssigkristalle:

7. Phase, Phasendiagramm, Phasenübergänge

III. Materialfamilien

1. Metalle

2. Keramiken

3. Polymere

4. Komposite

IV. Eigenschaften der Materialien

1. Thermische Eigenschaften

a) Erwärmung/Abkühlung

b) Wärmeausdehnung

2. Einige mechanischen Eigenschaften

a) Deformationstypen:

b) Belastungsdiagramm:

c) Dehnung (Zug):

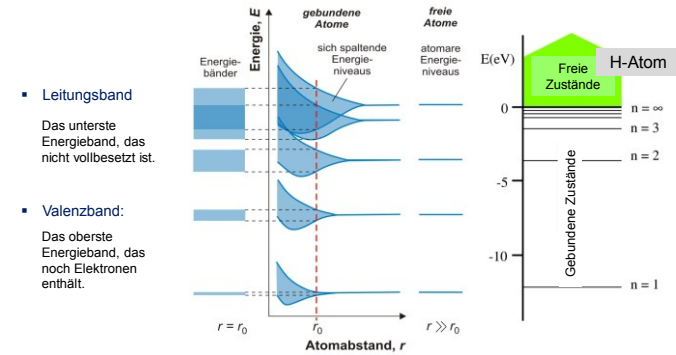
d) Hookesches Gesetz und die Steifigkeit:

e) Festigkeit:

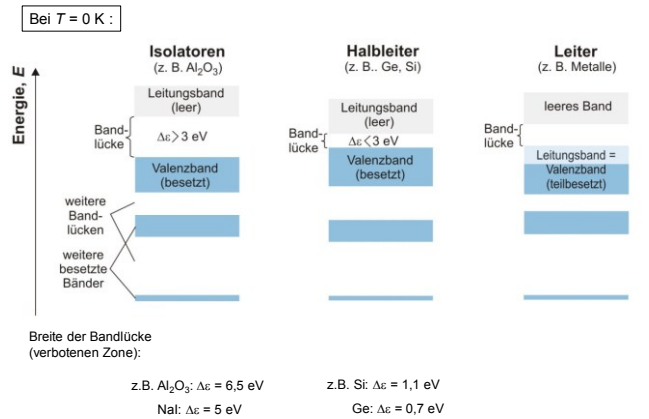
f) Zähigkeit:

3. Elektrische Eigenschaften

f) Elektronenstruktur (Bändermodell):



2



Breite der Bandlücke (verbotenen Zone):

z.B. Al_2O_3 : $\Delta E = 6,5 \text{ eV}$

NaI: $\Delta E = 5 \text{ eV}$

z.B. Si: $\Delta E = 1,1 \text{ eV}$

Ge: $\Delta E = 0,7 \text{ eV}$

→ siehe die optischen Eigenschaften später

3

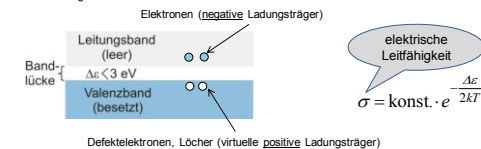
■ Eigenhalbleiter (intrinsc Halbleiter)

Bei $T = 0 \text{ K}$:



Bei $T = 273 \text{ K}$:

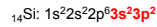
Annähernd Boltzmann-Verteilung!



4

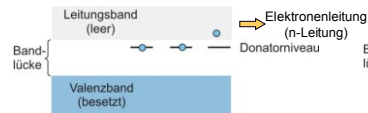
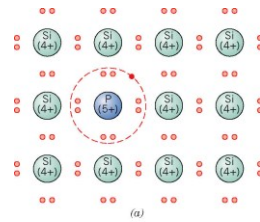
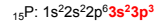
▪ Dotierte Halbleiter

Grundkristall z.B. Si



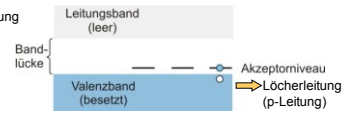
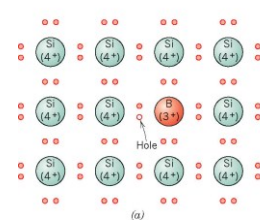
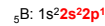
n-Halbleiter

z. B. + P



p-Halbleiter

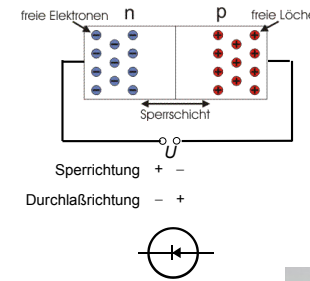
z. B. + B



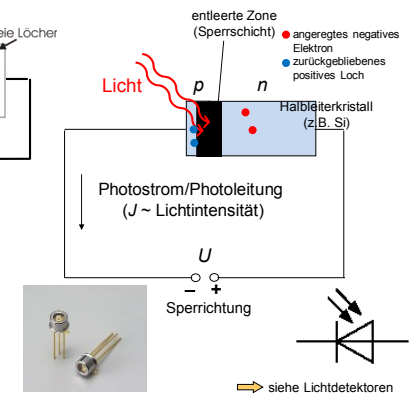
5

▪ Anwendungen der dotierten Halbleiter

○ Halbleiterdiode



○ Photodiode



(Es gibt auch lichtemittierende Dioden → siehe Leuchtdioden, LED)

6

5. Fester Aggregatzustand - amorphe Stoffe

Z.B. Glas, Harz, Wachs, Bitumen, ...

a) Makroskopische Beschreibung:

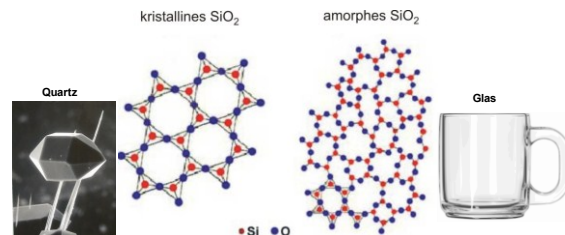
- Eigenvolumen aber keine Eigenform
- Isotrop
- sehr hohe Viskosität



b) Mikroskopische Beschreibung:

- Nahordnung
- Schwache Bewegungen

= Eingefrorene Flüssigkeiten, Gläser !

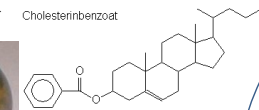


7

6. Flüssigkristalle - Mesophase zw. dem festen und flüssigen Zustand

1883 Reinitzer

Cholesterinbenzoat



smektisch

nematisch

cholesterisch

a) Makroskopische Beschreibung:

- Eigenvolumen aber keine Eigenform
- Optische Anisotropie
- Eigenschaften sind empfindlich gegen schwache äußere Einwirkungen

b) Mikroskopische Beschreibung:

- Teilweise geordnete Strukturen (Orientierung, Schichten)

8

c) Anwendungen von Flüssigkristallen:

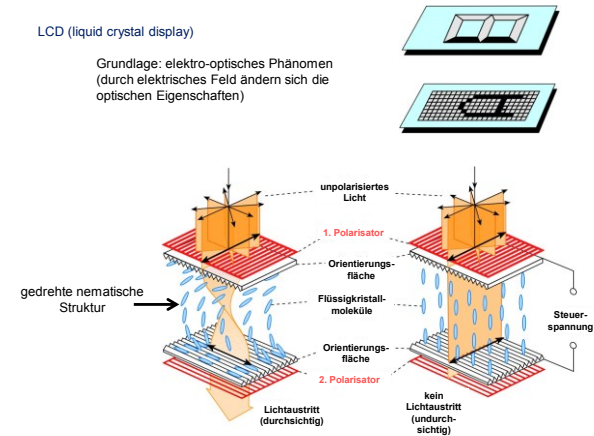
Kontaktthermographie/Plattenthermographie

Grundlage: thermo-optisches Phänomen
(bei Temperaturänderungen ändern sich die optischen Eigenschaften)



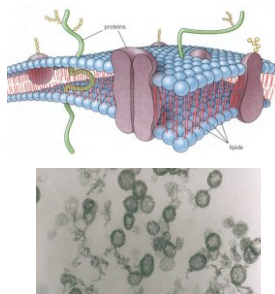
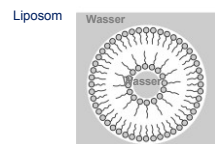
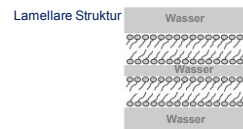
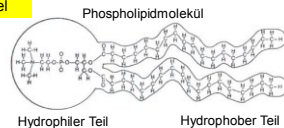
LCD (liquid crystal display)

Grundlage: elektro-optisches Phänomen
(durch elektrisches Feld ändern sich die optischen Eigenschaften)

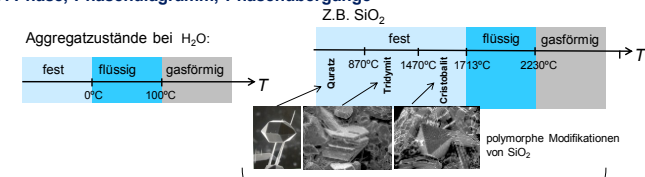


Erklärung siehe später bei den Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie!

d) Lyotrope Flüssigkristalle Beispiel

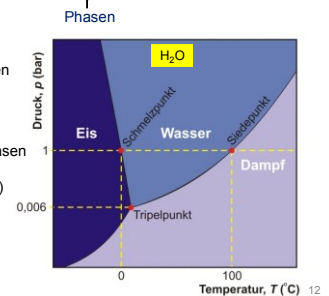


7. Phase, Phasendiagramm, Phasenübergänge

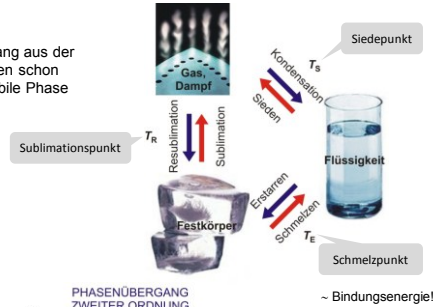


- Phase:** physikalisch und chemisch homogener Stoffbereich
- Stabile Phase:** unter den gegebenen Umständen die energetisch günstigste Phase

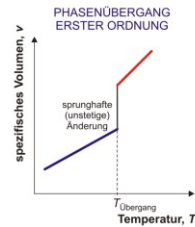
- Phasendiagramm:** Darstellung der stabilen Phasen bei verschiedenen Bedingungen (Druck - p , Temperatur - T , Konzentration - c , ...)



- **Phasenübergang:** Übergang aus der unter den neuen Umständen schon instabilen Phase in die stabile Phase



~ Bindungsenergie!

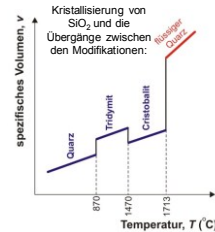
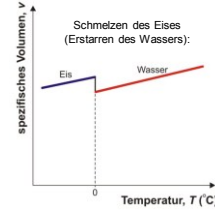


- **Spezifisches Volumen (v):**
$$v = \frac{1}{\rho} = \frac{V}{m} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$$

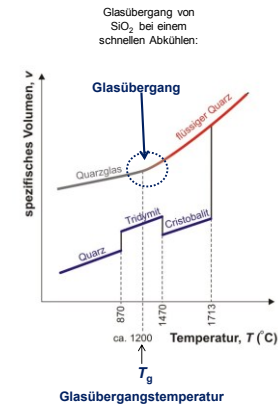
13

Beispiele:

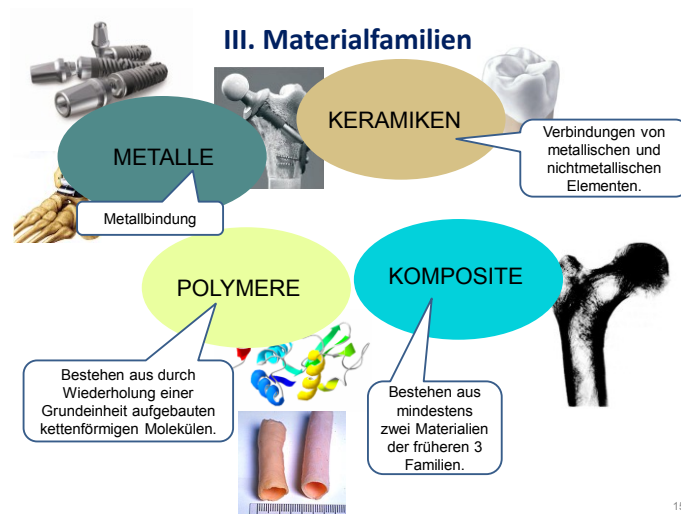
für Phasenübergang erster Ordnung:



für Phasenübergang zweiter Ordnung:



14



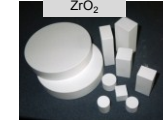
15

1. Metalle

- o Definition: Metallbindung
- o Bindungstyp: Metallbindung
- o Aggregatzustand bei üblichen Bedingungen: fest (kristallin) mit einigen Ausnahmen (z.B. Hg)
- o Struktur: Polykristalle, aber Einkristalle und amorphe Metalle (Metallgläser) auch möglich
- o Beispiele aus der Medizin: Titan, Ni-Ti-Legierungen
- o Anwendungsbeispiele: Implantate, Zahnkrone, Brücke

2. Keramiken

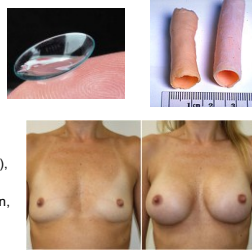
- o Definition: Verbindungen von metallischen und nichtmetallischen Elementen.
- o Bindungstyp: Ionenbindung, weniger auch kovalente Bindung
- o Aggregatzustand bei üblichen Bedingungen: fest (kristallin/amorph)
- o Struktur: Polykristalle/Einkristalle/amorphe Struktur (Gläser)
- o Beispiele aus der Medizin: Al_2O_3 , Porzellan, ZrO_2 , HAP
- o Anwendungsbeispiele: Implantate, Zahnkrone, Brücke



16

3. Polymere

- Definition: Bestehen aus durch Wiederholung einer Grundeinheit aufgebauten kettenförmigen Molekülen.
- Bindungstyp: kovalente Bindung+sekundäre Bindungen
- Aggregatzustand bei üblichen Bedingungen: flüssig/fest (kristallin/amorph)
- Struktur: teilkristallin
- Beispiele aus der Medizin: Polymethylmethacrylate (PMMA), Polydimethylsiloxan (PDMS)
- Anwendungsbeispiele: Kontaktlinsen, Venen, Venenklappen, Brustimplantate



4. Komposite

- Definition: Bestehen aus mindestens zwei Materialien der früheren 3 Familien.
- Bindungstyp: -
- Aggregatzustand bei üblichen Bedingungen: fest (kristallin/amorph)
- Struktur: -
- Beispiele aus der Medizin: mit Keramiken verstärkte Polymere
- Anwendungsbeispiele: Zahnfüllung, Prothesen



17

- spezifische Phasenübergangswärme (q):

- spezifische Schmelzwärme (q_{Schmelz}):

$$q_{\text{Schmelz}} = \frac{\Delta Q_{\text{Schmelz}}}{m} \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right)$$

aufgenommene Wärme

Masse des Körpers

- spezifische Verdampfungswärme ($q_{\text{Verdampfung}}$):

$$q_{\text{Verdampfung}} = \frac{\Delta Q_{\text{Verdampfung}}}{m} \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right)$$

Stoff	q (kJ/kg)
Eis	334,4
Wasser (100°C, 101 kPa)	2257
Wasser (30°C, 101 kPa)	2400
Gold	67
Aluminium	396,1
NaCl	517,1
Silizium	1656

~ Bindungsenergie!

18

IV. Eigenschaften der Materialien

1. Thermische Eigenschaften

a) Erwärmung/Abkühlung

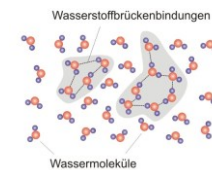
spezifische Wärmekapazität (c):

$$c = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T} \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right)$$

aufgenommene/freigesetzte Wärme

Masse des Körpers

Temperaturänderung



Stoff	c (J/(kg·K))
Wasser	4190
Muskelgewebe	3760
Fettgewebe	3000
Körpergewebe (durchschnittlich)	3500
Gold	126
Porzellan	1100
Glas	800

hohe Temperaturstabilisierungsfähigkeit

19

b) Wärmeausdehnung

- Längenausdehnung:

$$\frac{\Delta l}{l} = \alpha \Delta T$$

Längenänderung

ursprüngliche Länge

Temperaturänderung

linearer Wärmeausdehnungskoeffizient (Längenausdehnungskoeffizient) (1/K)

- Volumenausdehnung:

$$\frac{\Delta V}{V} = \beta \Delta T$$

Volumenänderung

ursprüngliches Volumen

Temperaturänderung

räumlicher Wärmeausdehnungskoeffizient (Volumenausdehnungskoeffizient) (1/K)

Stoff	α ($10^{-6} 1/K$)
Knochen	≈ 25
Zahnschmelz	≈ 11,4
Porzellan	4-16
Glas	≈ 8
Zirkon	≈ 11
Titan	8,6
Gold	14,2
Amalgam	≈ 25
PMMA	70-81
Wachs	300-500

~ 1/Bindungsenergie!

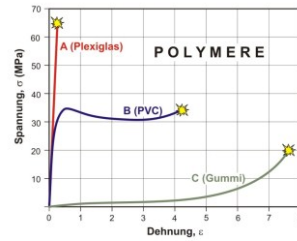
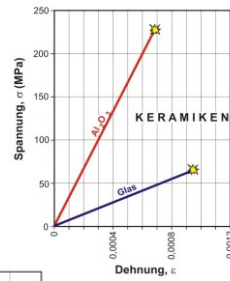
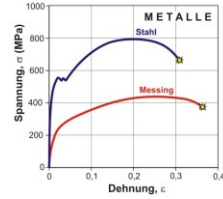
Für die meisten Stoffe gilt annähernd: $\beta \approx 3\alpha$

→ innere Spannungen



20

Beispiele:



Grobe Charakterisierung:

Material	Steifigkeit	Festigkeit	Zähigkeit
Metalle	mittelmäßig	sehr	sehr
Keramiken	sehr	sehr/mittelmäßig	wenig
Polymere	wenig	mittelmäßig	mittelmäßig
Komposite	mittelmäßig	mittelmäßig	sehr

25

3. Elektrische Eigenschaften

Stoff	σ (S/m)
Silber	$6,8 \cdot 10^7$
Gold	$4,3 \cdot 10^7$
Platin	$0,94 \cdot 10^7$
Germanium	2,2
Silizium	$4 \cdot 10^{-4}$
Zirkon	$\approx 10^{-10}$
Porzellan	$\approx 10^{-11}$
Glas	$\approx 10^{-13}$
PMMA	$\approx 10^{-12}$
Polyethylene	$\approx 10^{-16}$

Leiter

Halbleiter

Isolator

Metalle sind Leiter, Keramiken und Polymere sind Isolatoren.

Elektrische Leitfähigkeit (Formelzeichen σ):
Der Kehrwert des spezifischen Widerstandes: $\sigma = \frac{1}{\rho}$

Die SI-Einheit der elektrischen Leitfähigkeit ist S/m.

Stoff	ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$)
Blut	150
graue Hirnmasse	300
weiße Hirnmasse	700
Haut	1000
Fett	2500
Knochen	10000

➔ Elektrische Methoden wie z. B. Impedanztomographie

Optische Eigenschaften siehe später!

26

Hausaufgaben: ■ Neue Aufgabensammlung

1.54-57, 59-63, 67-69, 71-72, 74-75



27