

Medizinische Biophysik

2. Vorlesung
16. 09. 2015

Struktur der Materie
Aggregatzustände:
Gase, Flüssigkeiten, feste Körper

4. Flüssiger Aggregatzustand

- a) Makroskopische Beschreibung
- b) Mikroskopische Beschreibung
- c) Oberflächenspannung
- d) Wasser und seine günstige Eigenschaften

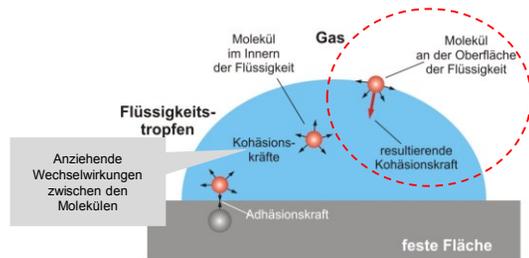
5. Fester Aggregatzustand - Kristalle

- a) Makroskopische Beschreibung
- b) Mikroskopische Beschreibung
- c) Kristalltypen
- d) Apatit
- e) Gitterfehler
- f) Elektronenstruktur (Bändermodell)

6. Fester Aggregatzustand - amorphe Stoffe

- a) Makroskopische Beschreibung:
- b) Mikroskopische Beschreibung:

c) Oberflächenspannung

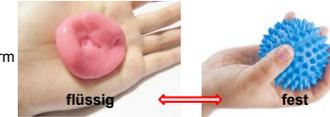


1

4. Flüssiger Aggregatzustand

a) Makroskopische Beschreibung:

- Eigenvolumen aber keine Eigenform
- Isotrop
- Viskosität (s. später bei Transportprozessen)

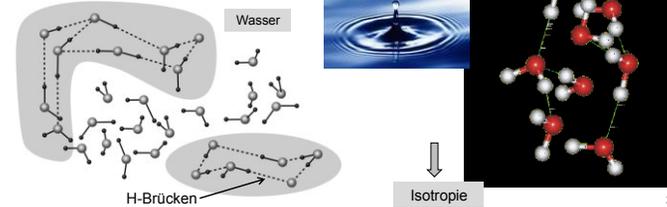


Keine Eigenform:
Nach Deformieren bleibt
so, es gibt keine
rückstellende Scherkräfte.

Eigenform:
Nach Deformieren stellt sich
zurück, da es rückstellende
Scherkräfte gibt.

b) Mikroskopische Beschreibung:

- Dynamische Nahordnung
- Mittelstarke Bewegungen



2

- Oberflächenspannung, oder spezifische Oberflächenenergie (σ):

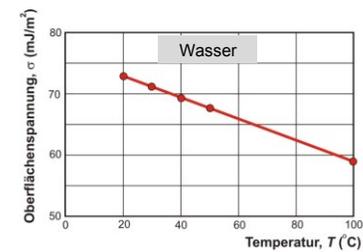
$$\sigma = \frac{\Delta E}{\Delta A} \quad \left(\frac{\text{J}}{\text{m}^2} = \frac{\text{N}}{\text{m}} \right)$$

Zur Flächenvergrößerung
von ΔA nötige Energie

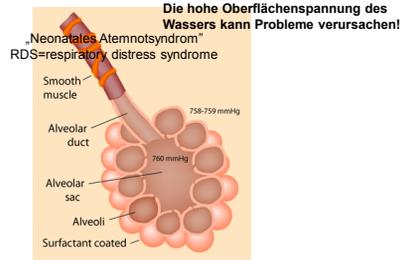
Oberflächenvergrößerung

Stoff	σ (J/m ²)*
Wasser	0,073
Blut	0,06
Speichel	0,05
Alkohol	0,023
Quecksilber	0,484

* In Bezug auf Luft, 20°C

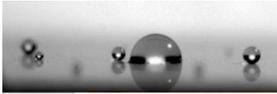


4

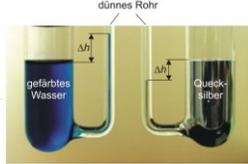


Weitere Erscheinungen, wobei die Oberflächenspannung eine Rolle spielt:

Benetzung



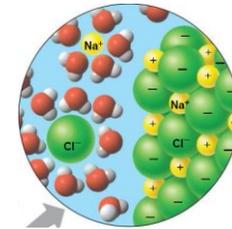
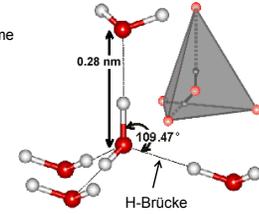
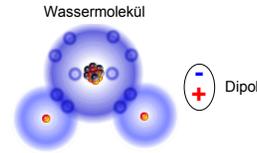
Kapillareffekt



5

d) Wasser und seine günstige Eigenschaften:

- hohe spezifische Wärmekapazität, Schmelzwärme und Verdampfungswärme (s. später)
- hohe Oberflächenspannung
- gutes Lösungsmittel für viele Stoffe



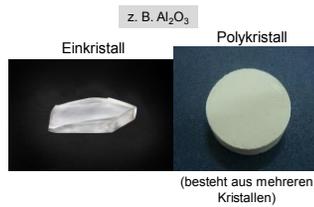
6



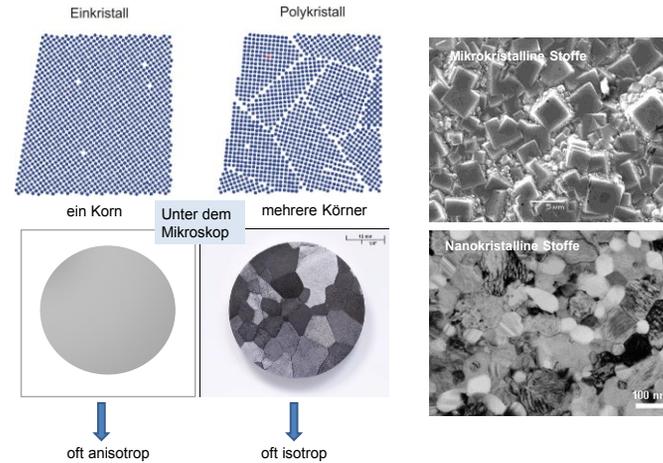
5. Fester Aggregatzustand - Kristalle

a) Makroskopische Beschreibung:

- Eigenvolumen, Eigenform
- Einkristalle: oft anisotrop; Polykristalle: isotrop



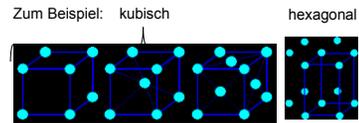
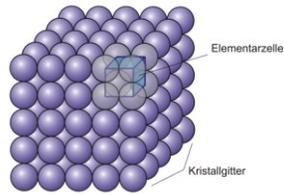
7



8

b) Mikroskopische Beschreibung:

- Fernordnung
- Periodizität – Kristallgitter
- Schwache Bewegungen (Schwingungen)



9

c) Kristalltypen:

- Atomkristall (kovalente Bindung)
- Ionenkristall (Ionenbindung)



Diamant



Salz

- Metallkristall (Metallbindung)
- Molekülkristall (sekundäre Bindung)



Gold

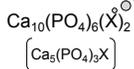


Eis

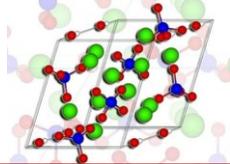
Bindungsenergie (E_b) \Rightarrow Eigenschaften, wie Schmelzpunkt, Schmelzwärme, Steifigkeit, Wärmeausdehnungskoeffizient, ...

10

d) Apatit



- ein hexagonales Ionenkristall
- anorganische Substanz der harten Gewebe (Knochen, Dentin, Zahnschmelz)
- etwa 2/3 des Knochengewebes



Dentin, Knochen: 20-60 nm x 6 nm große Kristalle
Zahnschmelz: 500-1000 nm x 30 nm große Kristalle

X =
OH : Hydroxiapatit
F : Fluorapatit



11

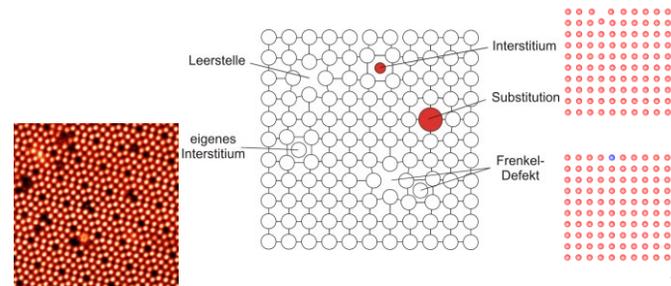
e) Gitterfehler:

- Punktfehler
 - Thermische Fehler
 - Leerstelle (Vakanz, Schottky-Defekt)
 - Interstitium (Zwischengitteratom)
 - Frenkel-Defekt
 - Fremdatome (chemische Fehler, Dotierung)
 - Substitutionsatom
 - Interstitielles Atom (Interstitium)

Zahl der Schottky-Defekte (n_s):

$$n_s = N \cdot e^{-\frac{E_s}{kT}}$$

Zahl der besetzten Gitterstelle (\approx Zahl der Atome)



12

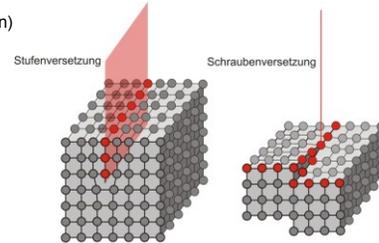
Thermische Fehler in biologischen Makromolekülen:

Zahl der aufgespalteten H-Brücken

$$n_S = N \cdot e^{-\frac{\epsilon_s}{kT}}$$

Zahl der intakten H-Brücken

– Versetzungen (Dislokationen)



13

z. B. mechanische Eigenschaften

z. B. chemische Eigenschaften

Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2 Hydroxiapatit \rightleftharpoons Ca_{10}(PO_4)_6F_2 Fluorapatit

Kleinere Löslichkeit in Säuren

z. B. elektrische Eigenschaften

→ siehe reine und dotierte Halbleiter

15

Gitterfehler ⇒ Eigenschaften!!

Al₂O₃

z. B. optische Eigenschaften

A high degree of regularity... the primary structure of solids... range repeated structure because the particles in a... are jumbled and disordered... they move about

+ Cr³⁺ → Rubin (siehe Rubinlaser)

+ V₂⁺ → Rubin (siehe Rubinlaser)

Fe²⁺ → Rubin

+ Ti⁴⁺+Fe²⁺ → Rubin

NaI

NaI + TI

(unter Röntgenbestrahlung)

→ siehe Szintillationskristall in der Nuklearmedizin
Praktikum „Nukleare Grundmessung“

14

f) Elektronenstruktur (Bändermodell):

freie Atome

atomare Energieniveaus

- Leitungsband: Von oben gesehen das unterste Energieband, das nicht vollbesetzt ist.
- Valenzband: Von unten gesehen das oberste Energieband, das noch Elektronen enthält.

Energie, E

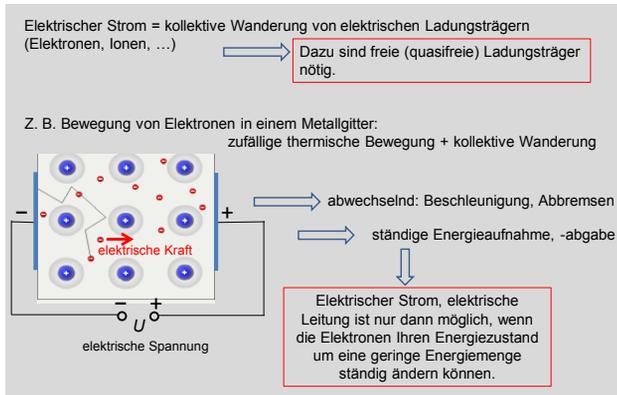
Atomabstand, r

r_0

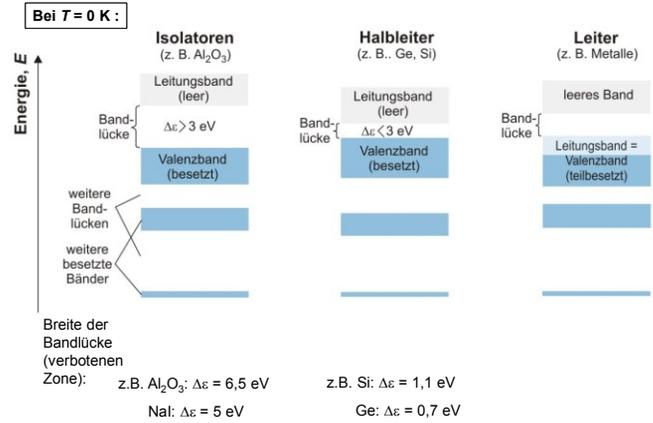
$r \gg r_0$

16

▪ Elektrische Eigenschaften der Festkörper



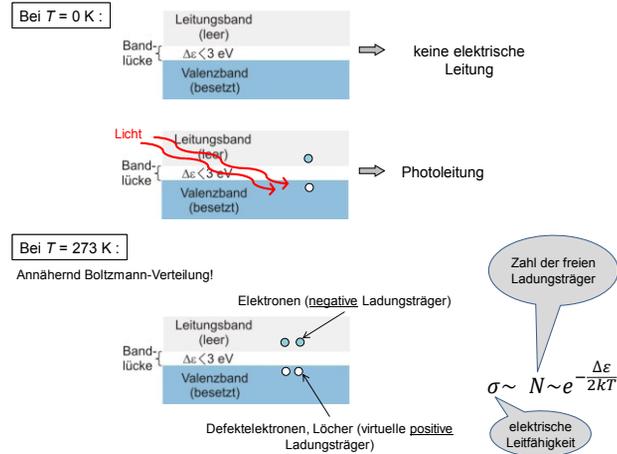
17



➔ siehe die optischen Eigenschaften später

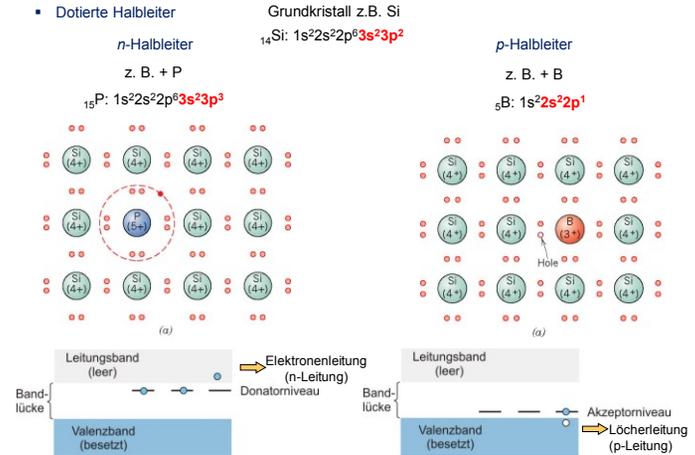
18

▪ Eigenhalbleiter (intrinsic Halbleiter)



19

▪ Dotierte Halbleiter



20

6. Fester Aggregatzustand - amorphe Stoffe

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

a) Makroskopische Beschreibung:

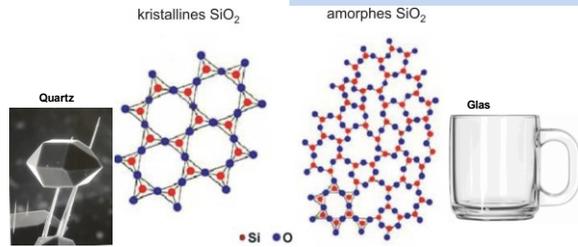
- Eigenvolumen aber keine Eigenform
- Isotrop
- sehr hohe Viskosität



b) Mikroskopische Beschreibung:

- Nahordnung
- Schwache Bewegungen

= gefrorene unterkühlte Flüssigkeiten,
Gläser !



21

Hausaufgaben: ■ Aufgabensammlung

1.43, 44, 47, 49, 50, 52



22