

Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

9.

Thermische und elektrische Eigenschaften

Schwerpunkte:

- ❖ Bändermodell der Festkörper
- ❖ Halbleiter und ihre Anwendungen

Kapitel des Lehrbuches:
19

Hausaufgaben:
5. Kapitel:
1, 2, 5, 6, 8, 9,
10, 32, 35

Thermische Eigenschaften



- Temperatur
- Erwärmung/Abkühlung

Wärmekapazität (C): $C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$

molare Wärmekapazität (c_v): $c_v = \frac{C}{\nu}$

spezifische Wärmekapazität (c): $c = \frac{C}{m}$



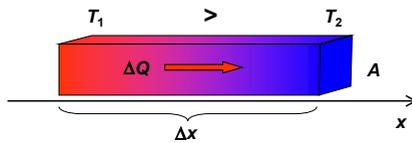
Einige spezifische Wärmekapazitätswerte:

Stoff	c (J/(kg·K))
Zahnschmelz	750
Dentin	1260
Wasser	4190
Amalgam	210
Gold	126
Porzellan	1100
Glas	800
PMMA	1460
Zinkphosphat	500

- Schmelzpunkt/Schmelzwärme
- Siedepunkt/Verdampfungswärme ~ Bindungsenergie!

• Wärmeleitung

- durch Gitterschwingungen
- durch freie Elektronen



$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -\lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Fourier-Gesetz

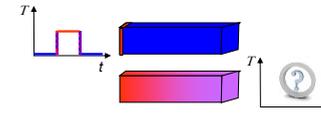
λ — Wärmeleitfähigkeit (Wärmeleitzahl)
J/(s·m²·K/m) = W/(m·K)

λ ist ein guter Parameter für stationäre Bedingungen!

Einige Wärmeleitzahlen:

Stoff	λ (W/(m·K))
Zahnschmelz	0,9
Dentin	0,6
Wasser	0,44
Amalgam	23
Gold	300
Porzellan	1
Glas	0,6-1,4
Akrylat	0,2
PMMA	0,2-0,3
Zinkphosphat	1,2

Bei nicht-stationären Bedingungen:



$$D = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$$

D — Temperaturleitfähigkeit (Temperaturleitzahl, Wärmediffusivität) (m²/s)

Einige Temperaturleitzahlen:

Stoff	λ (W/(mK))	D (10 ⁻⁶ m ² /s)
Zahnschmelz	0,9	0,5
Dentin	0,6	0,2
Wasser	0,44	0,14
Amalgam	23	9,6
Gold	300	118
Porzellan	1	0,4
Glas	0,6-1,4	0,3-0,7
Akrylat	0,2	0,1
PMMA	0,2-0,3	0,12
Zinkphosphat	1,2	0,3



• **Wärmeausdehnung**

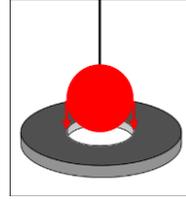
Länge: $\frac{\Delta l}{l} = \alpha \Delta T$

α — **linearer Wärmeausdehnungs-koeffizient**
(Längenausdehnungskoeffizient) (1/K)

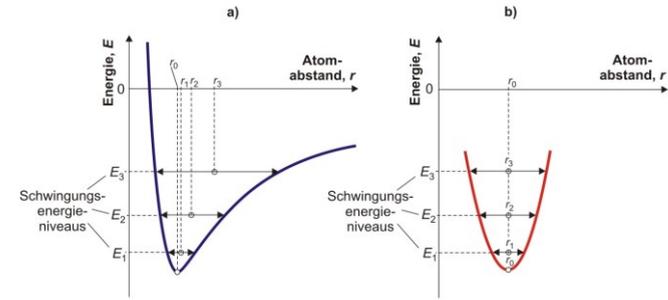
Volumen: $\frac{\Delta V}{V} = \beta \Delta T$

β — **räumlicher Wärmeausdehnungs-koeffizient**
(Volumenausdehnungskoeffizient) (1/K)

$\beta \approx 3\alpha$

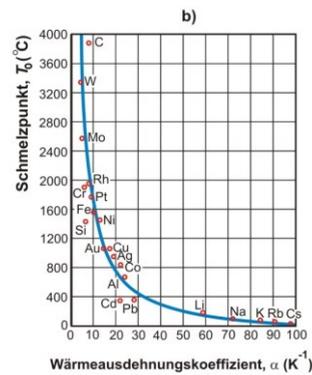
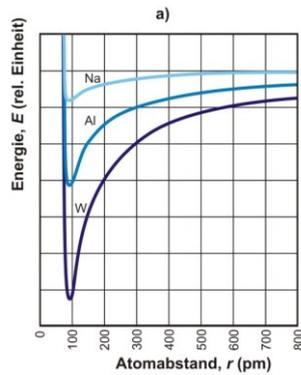


Hintergrund der Wärmeausdehnung:



5

6



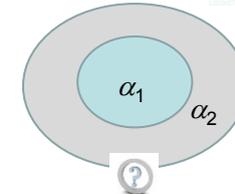
7

Einige Längenausdehnungskoeffizienten:

Stoff	α ($10^{-6} 1/K$)
Zahnschmelz	11,4
Dentin	8,3
Gold	14,2
Goldlegierungen	11-16
Amalgam	≈ 25
Porzellan	4-16
Akrylat	90
Glas	8
PMMA	90-160
Silikon	100-200
Gips	15-20
Wachs	300-500

Unterschiedliche Wärmeausdehnung

↓
innere Spannungen!



8

Sonstige Eigenschaften

• elektrisch

Elektrische Ladungsträger: Elektronen, Ionen.

Spezifischer Widerstand (ρ):

$$\rho = \frac{R \cdot A}{l} \quad (\Omega\text{m})$$

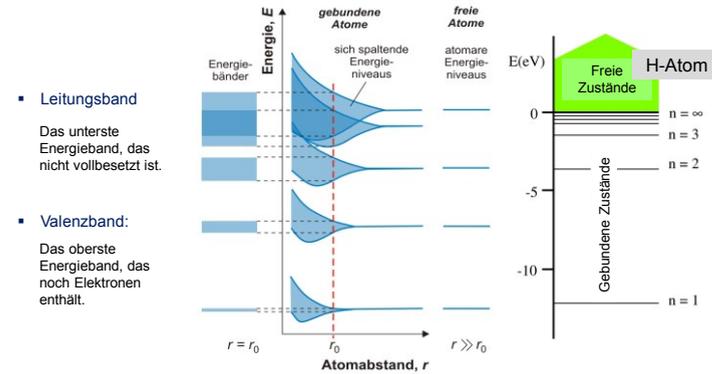
Elektrische Leitfähigkeit (σ):

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad ((\Omega\text{m})^{-1} = \text{S/m})$$

[$G = \frac{1}{R}$ nennt man elektrischen Leitwert.]

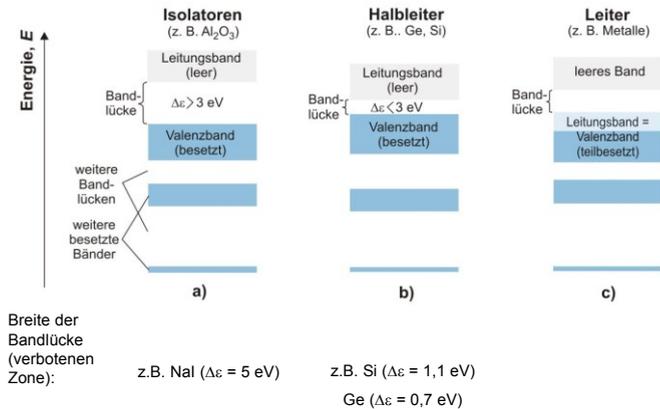
Stoff	σ (S/m)	
Silber	$6,8 \cdot 10^7$	Leiter
Gold	$4,3 \cdot 10^7$	
Platin	$0,94 \cdot 10^7$	
Germanium	2,2	Halbleiter
Silizium	$4 \cdot 10^{-4}$	
Zirkon	$\approx 10^{-10}$	Isolator
Porzellan	$\approx 10^{-11}$	
Glas	$\approx 10^{-13}$	
PMMA	$\approx 10^{-12}$	
PE	$\approx 10^{-16}$	

Elektronenstruktur - Energiebänder



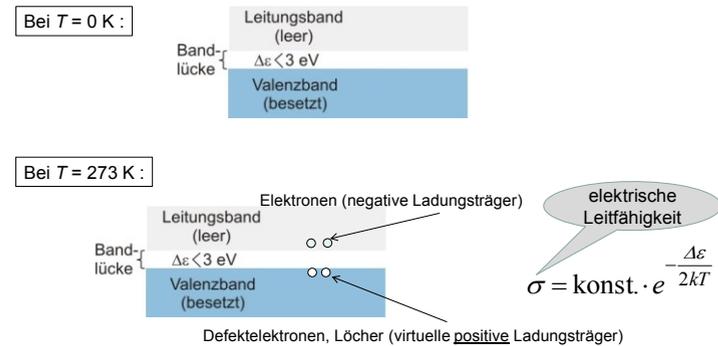
9

10



11

Eigenhalbleiter (intrinsic Halbleiter)

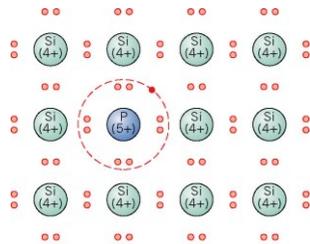
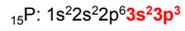


12

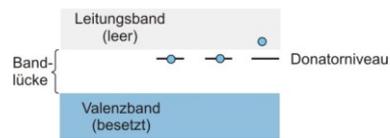
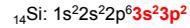
Dotierte Halbleiter

n-Halbleiter

z. B. + P



Grundkristall z.B. Si



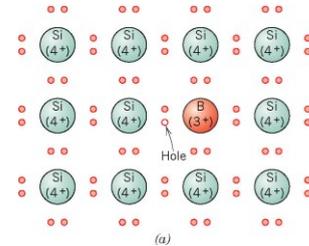
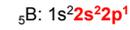
Elektronenleitung (n-Leitung)

13

Dotierte Halbleiter

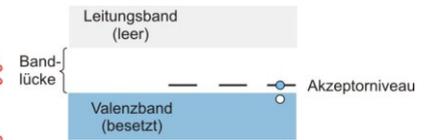
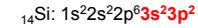
p-Halbleiter

z. B. + B



(a)

Grundkristall z.B. Si

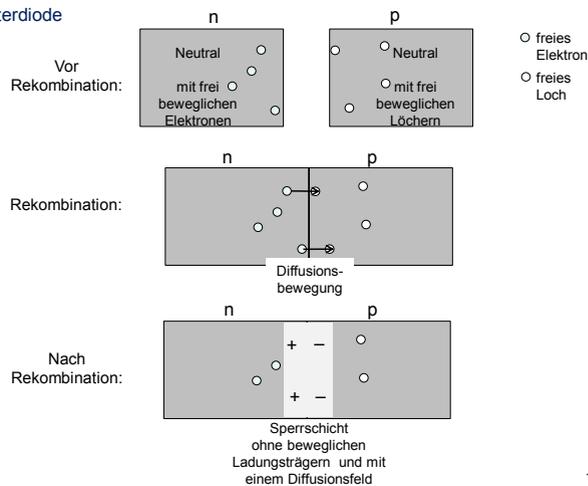


Löcherleitung (p-Leitung)

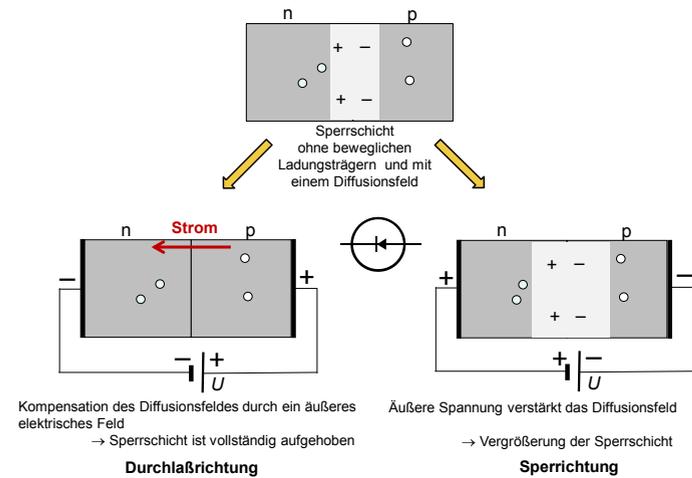
14

Anwendungen der dotierten Halbleiter

o Halbleiterdiode

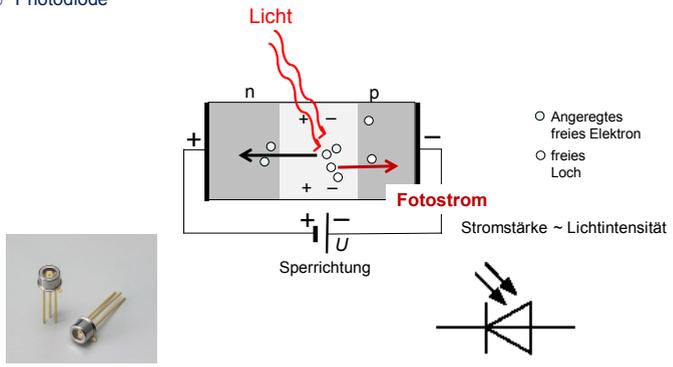


15



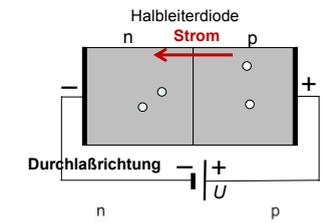
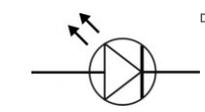
16

o Photodiode

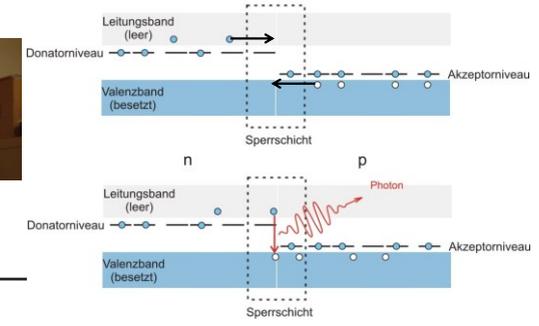


(Es gibt auch lichtemittierende Dioden → siehe Leuchtdioden, LED) 17

Leuchtdiode (light emitting diode — LED)



Nächste Vorlesung: Kapitel 20 und 21



18