

## Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

### 10.

Thermische und elektrische Eigenschaften

Schwerpunkte:

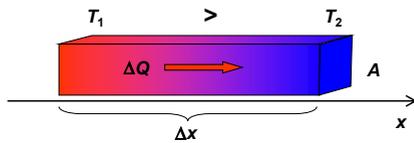
- ❖ Bändermodell der Festkörper
- ❖ Halbleiter und ihre Anwendungen

**Kapitel des Lehrbuches:**  
19

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

### • Wärmeleitung

- durch Gitterschwingungen
- durch freie Elektronen



$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -\lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \text{Fourier-Gesetz}$$

$\lambda$  — Wärmeleitfähigkeit  
(Wärmeleitzahl)  
 $J/(s \cdot m^2 \cdot K/m) = W/(m \cdot K)$

$\lambda$  ist ein guter Parameter für stationäre Bedingungen!

Einige Wärmeleitzahlen:

Stoff	$\lambda$ (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

3

## 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):  $c = \frac{C}{m}$



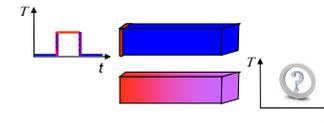
- Schmelzpunkt/Schmelzwärme
- Siedepunkt/Verdampfungswärme ~ Bindungsenergie!

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

2

Bei nicht-stationären Bedingungen:



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

D — Temperaturleitfähigkeit  
(Temperaturleitzahl,  
Wärmediffusivität)  
(m<sup>2</sup>/s)



Einige Temperaturleitzahlen:

Stoff	$\lambda$ (W/(mK))	D (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /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

4

• **Wärmeausdehnung**

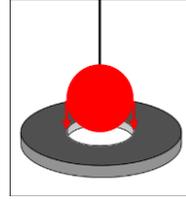
Länge:  $\frac{\Delta l}{l} = \alpha \Delta T$

$\alpha$  — **linearer Wärmeausdehnungskoeffizient**  
(Längenausdehnungskoeffizient) (1/K)

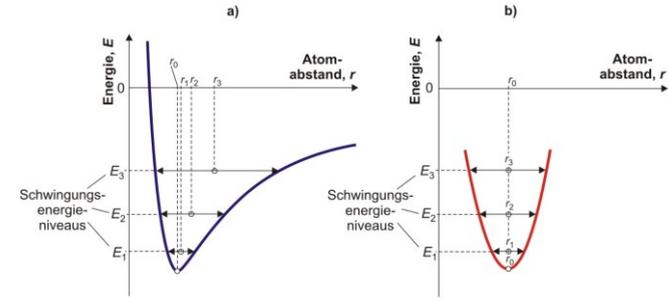
Volumen:  $\frac{\Delta V}{V} = \beta \Delta T$

$\beta$  — **räumlicher Wärmeausdehnungskoeffizient**  
(Volumenausdehnungskoeffizient) (1/K)

$\beta \approx 3\alpha$

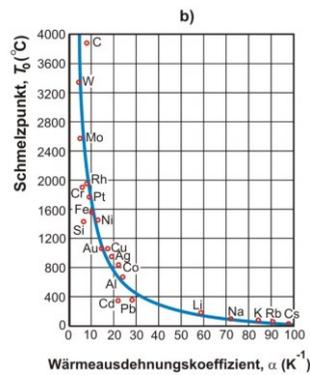
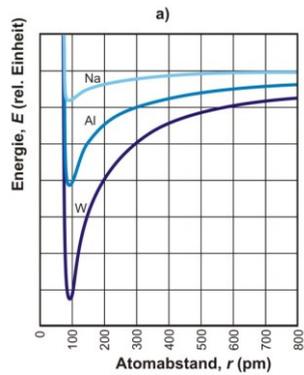


**Hintergrund der Wärmeausdehnung:**



5

6



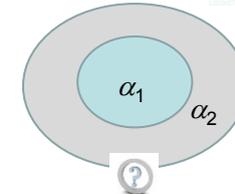
7

**Einige Längenausdehnungskoeffizienten:**

Stoff	$\alpha$ ( $10^{-6} 1/K$ )
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 ( $\rho$ ):

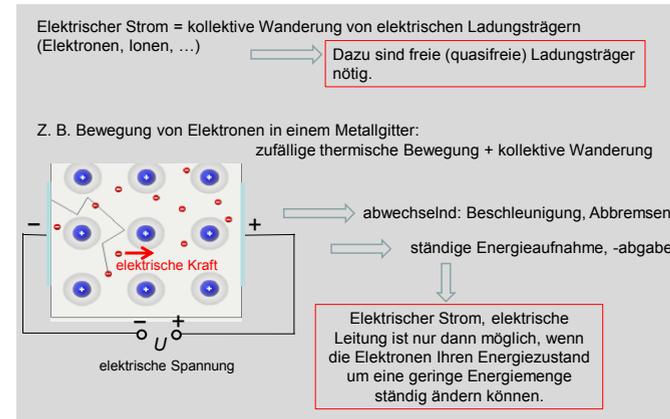
$$\rho = \frac{R \cdot A}{l} \quad (\Omega\text{m})$$

Elektrische Leitfähigkeit ( $\sigma$ ):

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

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

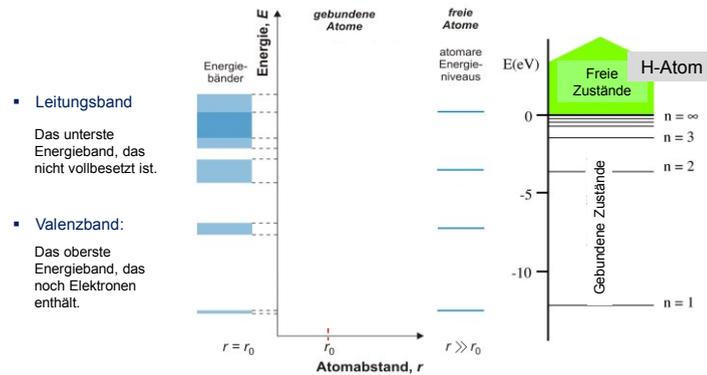
Stoff	$\sigma$ (S/m)	
Silber	$6,8 \cdot 10^7$	Leiter
Gold	$4,3 \cdot 10^7$	
Platin	$0,94 \cdot 10^7$	
Germanium	2,2	Halbleiter
Silizium	$4 \cdot 10^{-4}$	
Zirkon	$\approx 10^{-10}$	Isolator
Porzellan	$\approx 10^{-11}$	
Glas	$\approx 10^{-13}$	
PMMA	$\approx 10^{-12}$	
PE	$\approx 10^{-16}$	



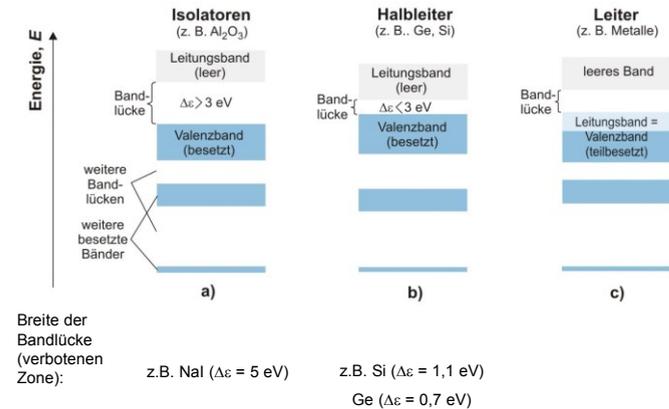
9

10

## Elektronenstruktur - Energiebänder

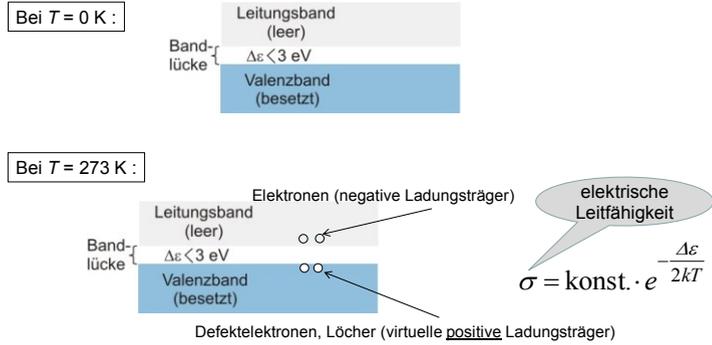


11



12

Eigenhalbleiter (intrinsic Halbleiter)

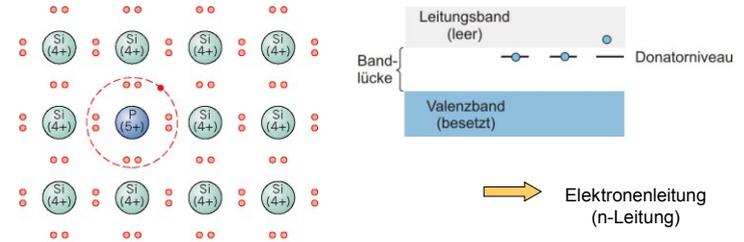


13

Dotierte Halbleiter

*n*-Halbleiter

z. B. + P  
 ${}_{15}\text{P}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$



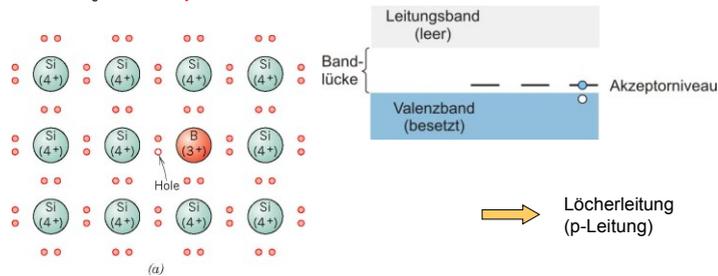
14

Dotierte Halbleiter

Grundkristall z.B. Si  
 ${}_{14}\text{Si}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$

*p*-Halbleiter

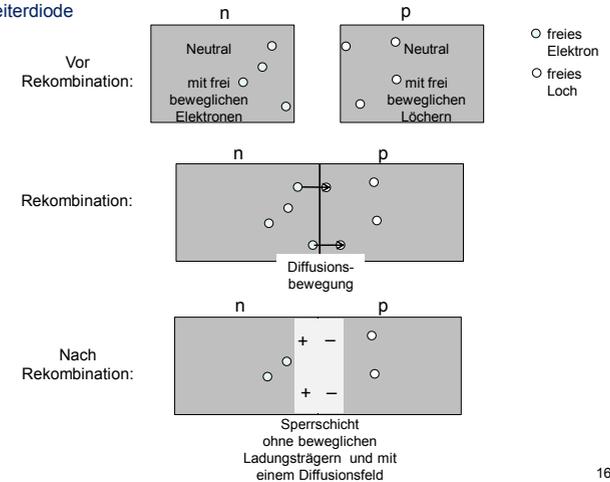
z. B. + B  
 ${}_{5}\text{B}: 1s^2 2s^2 2p^1$



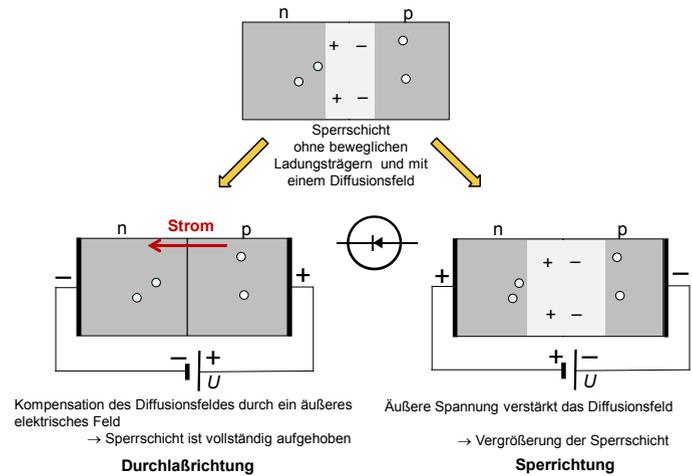
15

Anwendungen der dotierten Halbleiter

o Halbleiterdiode

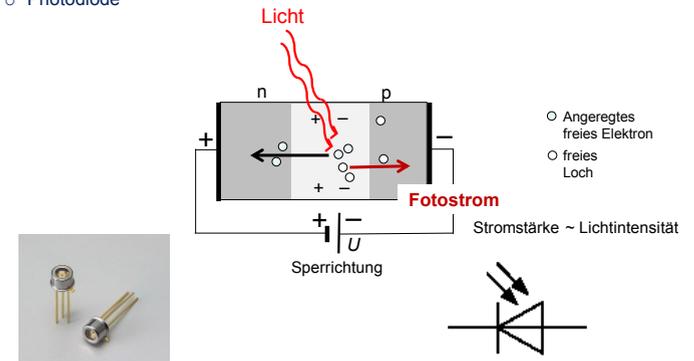


16



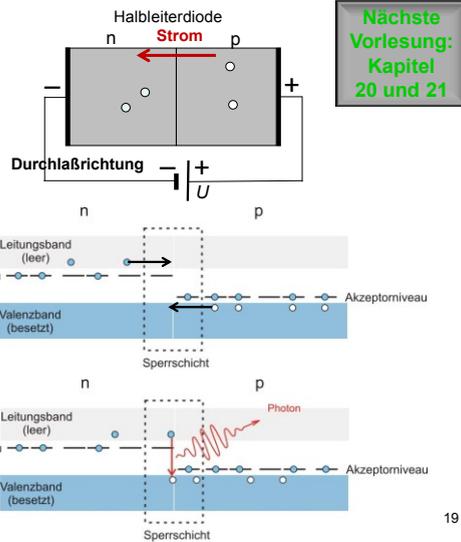
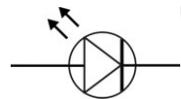
17

o Photodiode



(Es gibt auch lichtemittierende Dioden → siehe Leuchtdioden, LED) 18

Leuchtdiode (light emitting diode — LED)



Nächste Vorlesung: Kapitel 20 und 21

19