

Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde

11.

Elektrische Eigenschaften.
Zusammenfassung

Schwerpunkte:

- ❖ *Bändermodell* der Festkörper
- ❖ *Halbleiter* und ihre Anwendungen
- ❖ Vergleich der Materialklassen

Kapitel des Lehrbuches:
19, 21

Hausaufgaben:
5. Abschnitt:
32, 35

1

Sonstige Eigenschaften

• elektrisch

Elektrische Ladungsträger: Elektronen, Ionen.

Spezifischer Widerstand (ρ):

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

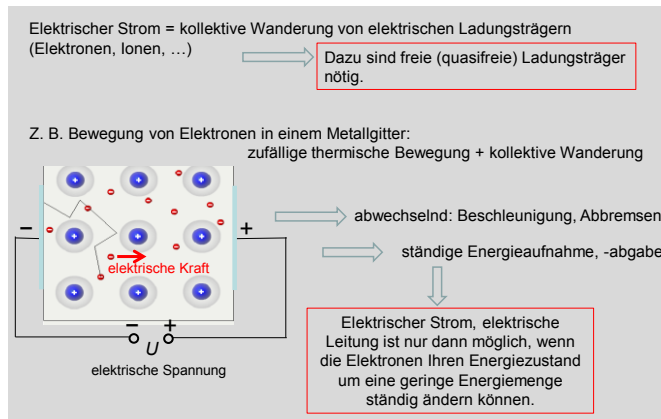
Elektrische Leitfähigkeit (σ):

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

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

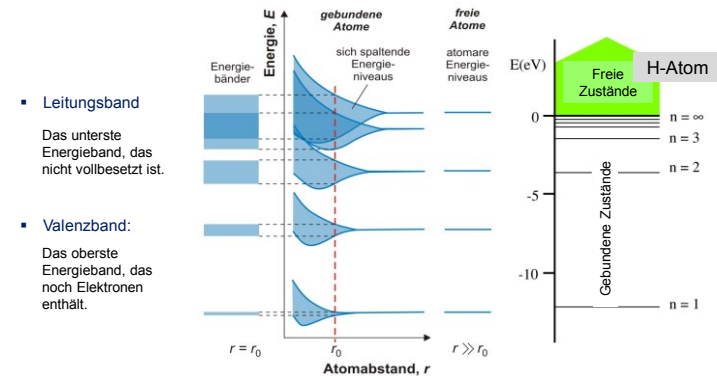
Stoff	$\sigma (\text{S/m})$	
Silber	$6,8 \cdot 10^7$	Leiter
Gold	$4,3 \cdot 10^7$	
Platin	$0,94 \cdot 10^7$	
Germanium	2,2	Halbleiter
Silizium	$4 \cdot 10^{-4}$	
Zirkon	$\approx 10^{-10}$	
Porzellan	$\approx 10^{-11}$	Isolator
Glas	$\approx 10^{-13}$	
PMMA	$\approx 10^{-12}$	
PE	$\approx 10^{-16}$	

2

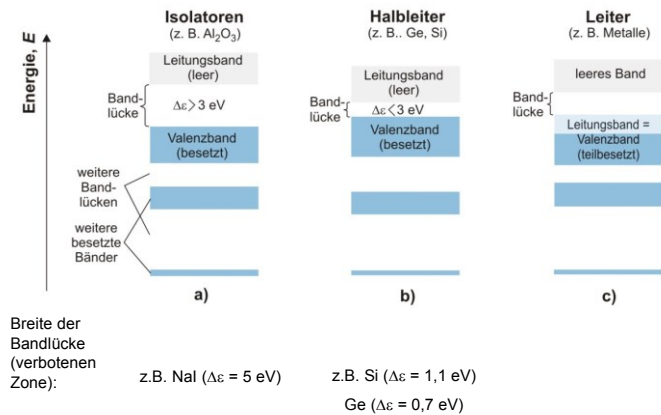


3

Elektronenstruktur - Energiebänder

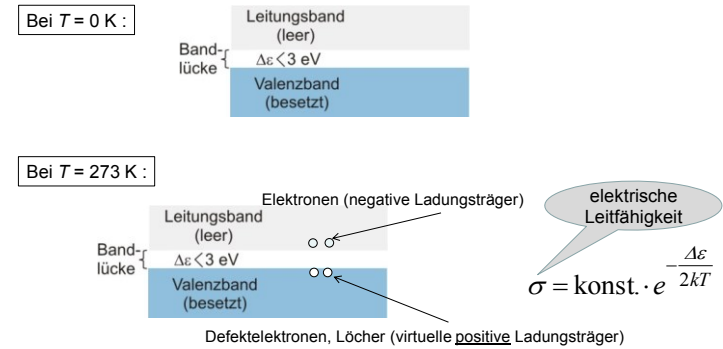


4



5

Eigenhalbleiter (intrinsic Halbleiter)



6

Dotierte Halbleiter

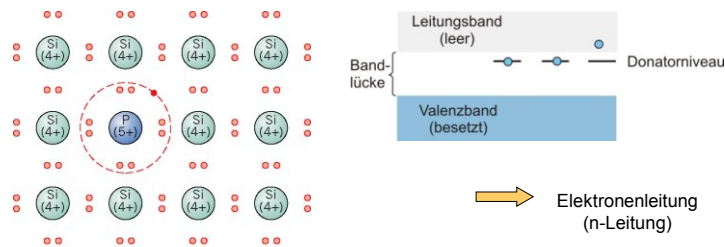
n-Halbleiter

z. B. + P

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

Grundkristall z.B. Si

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



7

Dotierte Halbleiter

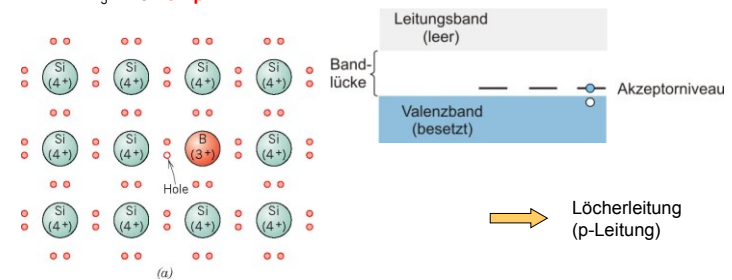
p-Halbleiter

z. B. + B

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

Grundkristall z.B. Si

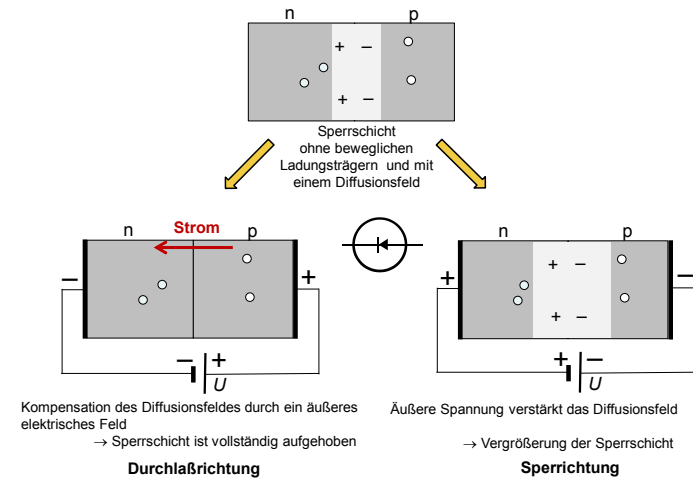
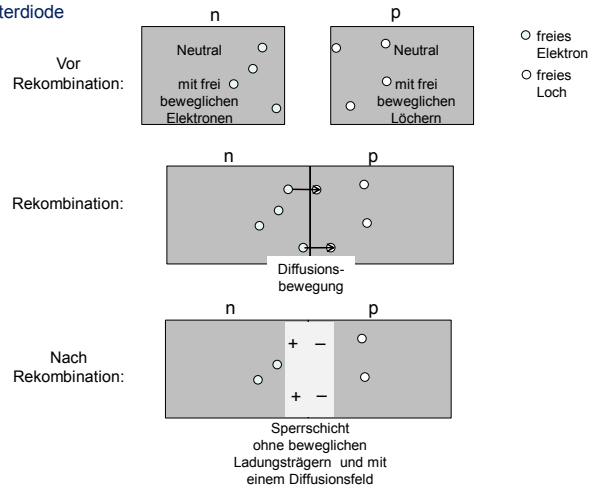
$_{14}\text{Si}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$



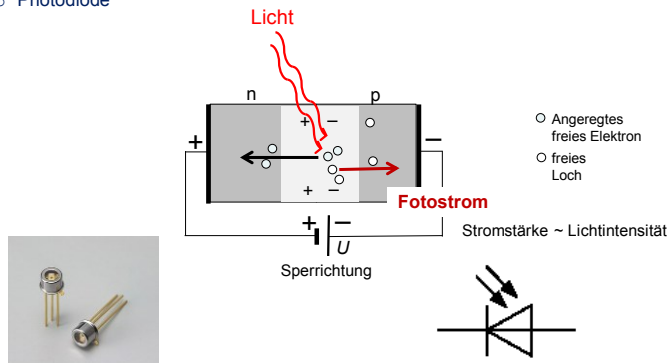
8

▪ Anwendungen der dotierten Halbleiter

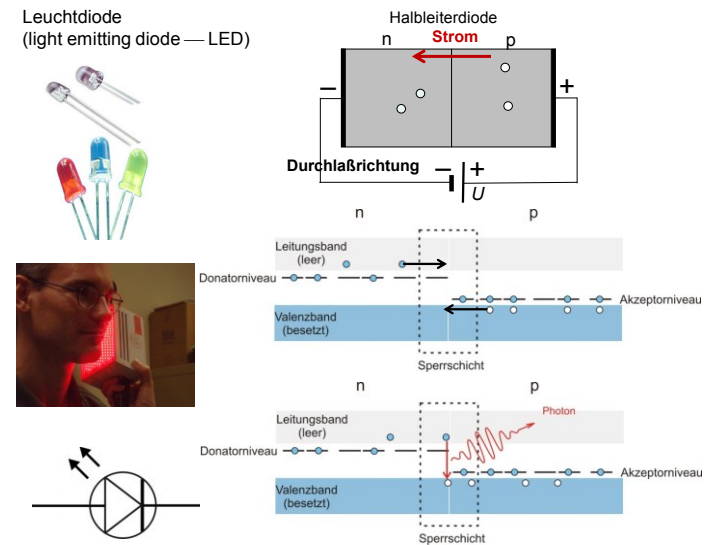
○ Halbleiterdiode



○ Photodiode

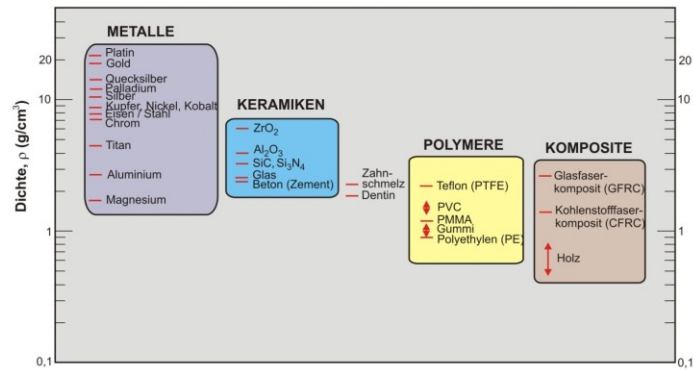


Leuchtdiode (light emitting diode — LED)



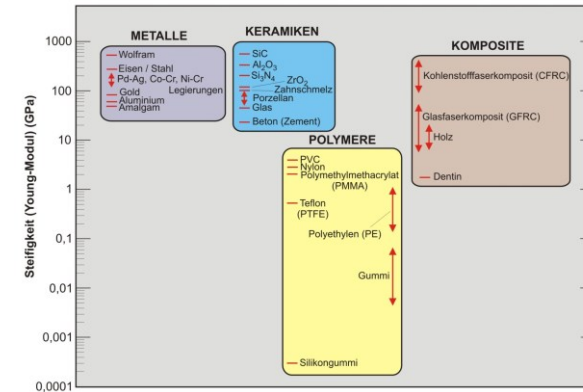
(Es gibt auch lichtemittierende Dioden → siehe Leuchtdioden, LED)

Vergleichende Zusammenfassung



Dichte: Composite, Polymere < Keramiken < Metalle

13

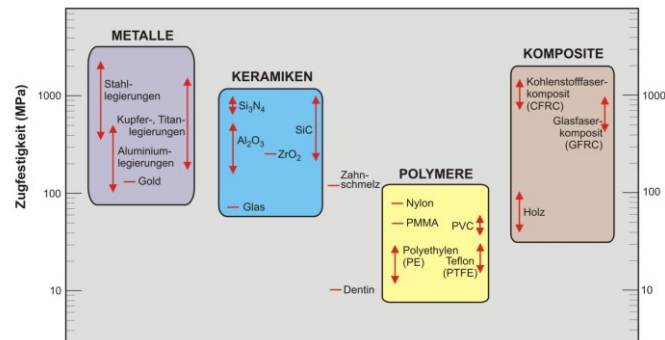


Steifigkeit: Polymere < Composite < Keramiken, Metalle

Elastische Rückstellung (Elastizität) : Keramiken < Metalle < Composite < Polymere

Duktilität: Keramiken < Metalle < Composite < Polymere

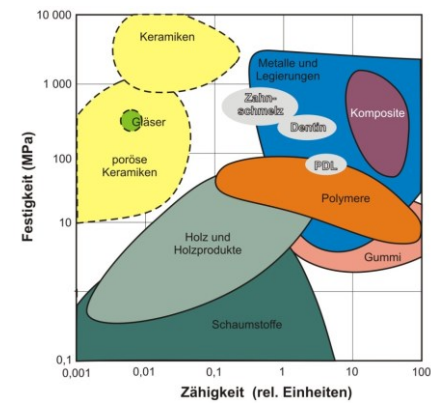
14



Zugfestigkeit: Polymere < Composite, Keramiken < Metalle

Druckfestigkeit: Polymere < Composite, Keramiken, Metalle

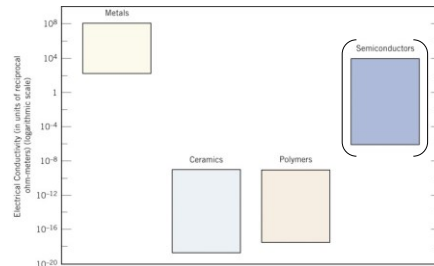
15



Zähigkeit: Keramiken < Polymere, Composite, Metalle

Härte: Polymere < Composite < Metalle < Keramiken

16



Elektrische Leitfähigkeit: Keramiken, Komposite, Polymere < Metalle

Wärmeleitfähigkeit: Keramiken, Komposite, Polymere < Metalle

Schmelzpunkt: Polymere < Komposite < Metalle < Keramiken

Wärmeausdehnungskoeffizient: Keramiken < Polymere, Komposite, Metalle

Reflektanz: Keramiken, Komposite, Polymere < Metalle

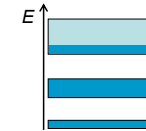
Transmittanz: Metalle < Komposite < Polymere, Keramiken

17

Metalle

Im Allgemeinen:

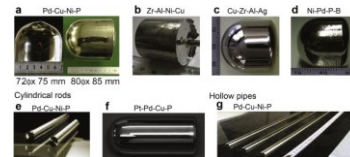
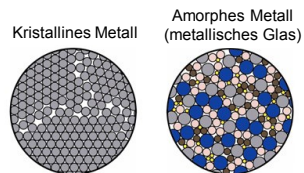
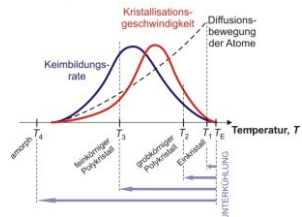
- fest
- hohe Dichte
- steif
- stark
- duktil (bearbeitungsfähig)
- zäh (Zähbruch)
- hart
- niedrige spez. Wärmekap.
- guter Wärmeleiter
- wärmeschockbeständig
- guter elektr. Leiter
- opak, metallfarbig
- geringe Korrosionsbeständigkeit



18

Metallische Gläser (amorphe Metalle)

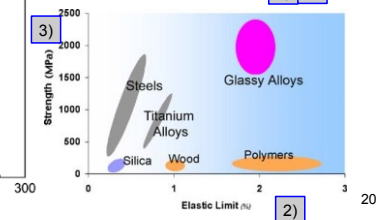
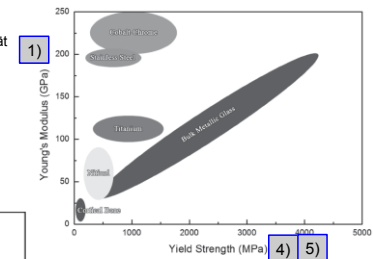
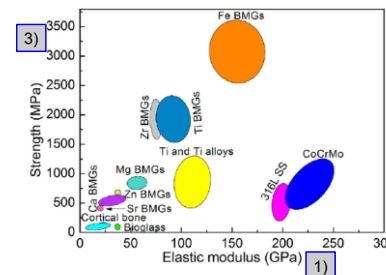
- Das erste Metallglas: 1960iger Jahre, Au-Si-Legierung, $\approx 10^6$ K/s Abkühlgeschwindigkeit(!), Größe < 1 mm
- Das erste kommerzielle Metallglas: 1990iger Jahre, Zr-Ti-Cu-Ni-Be-Legierung, ≈ 1 K/s Abkühlgeschwindigkeit, Größe ≈ 1 cm.



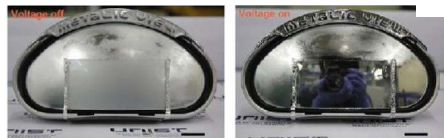
19

Besondere Eigenschaften der amorphen Metalle (BMG) vs. kristallinen Metalle: <https://www.youtube.com/watch?v=Yg0hUqdzXGw>

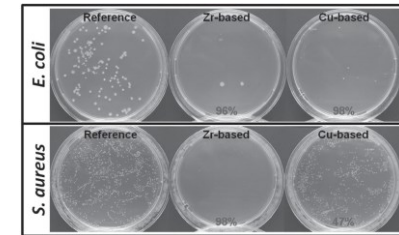
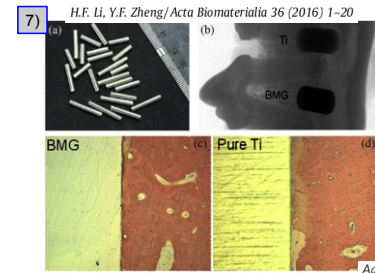
- 1) weniger steif
- 2) elastischer
- 3) stärker
- 4) härter
- 5) weniger abnutzung
- 6) weniger Korrosion
- 7) bessere Biokompatibilität



20

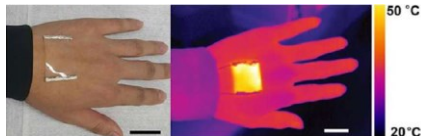
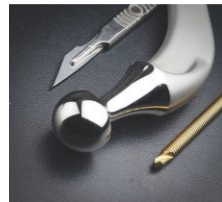
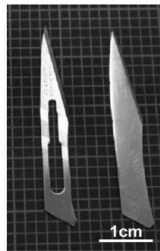


21



22

ZrCuAlAgSi BMG



More information: Byoung Wan An, et al.
"Stretchable, Transparent Electrodes as Wearable Heaters Using Nanotrough Networks of Metallic Glasses with Superior Mechanical Properties and Thermal Stability." Nano Letters. DOI: 10.1021/acs.nanolett.5b04134

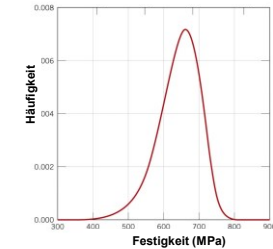
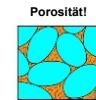
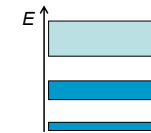


23

Keramiken

Im Allgemeinen:

- fest
- mittlere Dichte
- steif
- stark (beim Zug nur mittelmäßig)
- wenig bearbeitungsfähig $\sigma_{\text{Zug}} < \sigma_{\text{Druck}}$
- brüchig (Sprödbbruch)
- „empfindlich gegen Risse“
- hart
- mittlere spez. Wärmekapazität
- Wärmeisolator
- geringe Wärmeschockbeständigkeit
- elektr. Isolator
- vielfältige optische Eigenschaften
- korrosionsbeständig

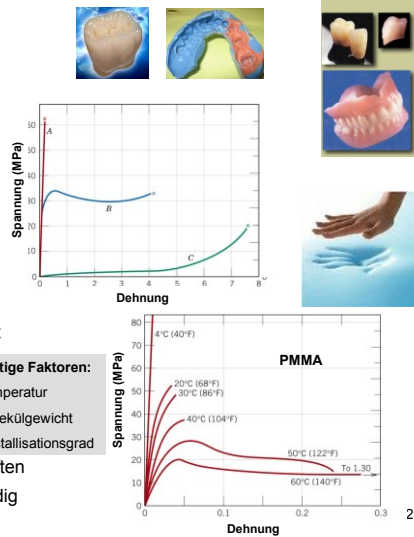


24

Polymere

Im Allgemeinen:

- flüssig oder fest
- kleine Dichte
- wenig steif - elastisch
- mittelmäßig stark - schwach
- duktil
- mittelmäßig zäh - spröde
- mittelmäßig hart - weich
- viskoelastisch
- mittlere spez. Wärmekapazität
- Wärmeisolator
- mittlere Wärmeschockbeständigkeit
- elektr. Isolator
- vielfältige optische Eigenschaften
- mittelmäßig korrosionsbeständig

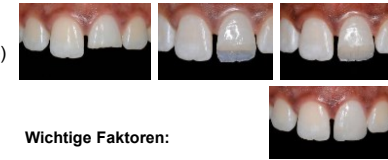


25

Komposite (zahnärztliche)

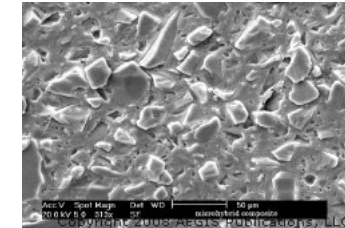
Im Allgemeinen:

- fest
- niedrige - mittlere Dichte
- mittelmäßig steif - elastisch
- stark
- duktil
- zäh
- hart - mittelmäßig hart
- mittlere spez. Wärmekapazität
- Wärmeisolator
- mittlere Wärmeschockbeständigkeit
- elektr. Isolator
- vielfältige und veränderliche optische Eigenschaften
- korrosionsbeständig



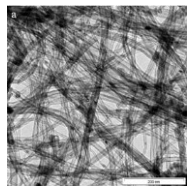
Wichtige Faktoren:

- Zusammensetzung
- Teilchengröße



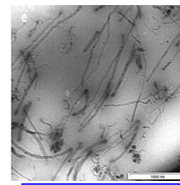
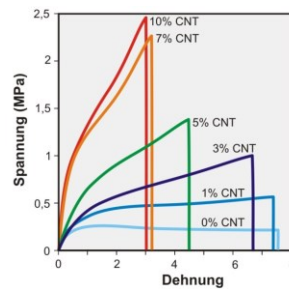
→ Mikrohybrid- → Nanohybrid-Komposite

26

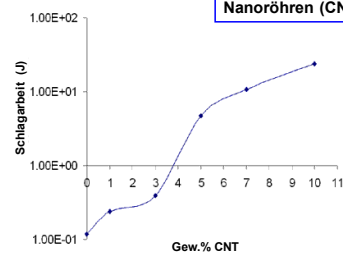
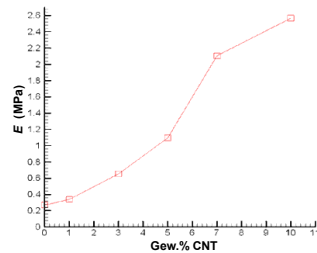


Kohlenstoff-Nanoröhren (CNT)

„Kombination von günstigen Eigenschaften“



Komposit:
Gummi (SMR)
+
Kohlenstoff-Nanoröhren (CNT)



27