

Kernladungszahl = Anzahl der Protonen = Anzahl der Elektronen = Ordnungszahl
 Hauptgruppennummer im PSE entspricht der Anzahl der äußeren Elektronen (=Valenzelektronen)

Bohrsche Postulate:

- Die Elektronen bewegen sich auf diskreten Bahnen
- Die Elektronen kreisen strahlungslos ohne Energieverlust um den Kern
- Bahndrehimpuls kann nur ganzzahliges Vielfaches von \hbar sein: $p = m_e \cdot v \cdot r = n \cdot \frac{h}{2\pi} = n \cdot \hbar$

Sprung eines Elektrons von hohem Energieniveau/Schale zu niedrigem Energieniveau/Schale

Abgabe eines Energiebetrages $\Delta W = h \cdot \nu = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} = W_n - W_m$ $W_{ges} = -\frac{m_e \cdot e^4}{8 \epsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2} = \frac{-27,211[eV]}{2 n^2}$

4 Quantenzahlen

Anzahl Elektronen auf Schale n: $\sum e^- = 2 n^2$

Pauli-Prinzip: „Die Elektronen eines Atoms müssen sich mindestens in einer der vier Quantenzahlen unterscheiden.“

- Hauptquantenzahl $n = 1, 2, 3, \dots, \infty$
- Nebenquantenzahl $l = 0, 1, 2, \dots, (n-1)$
- Magnetquantenzahl $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$
 entstehende Verzweigungen: $2l+1$
- Spinquantenzahl $s = \pm \frac{1}{2}$

Elektronenkonfiguration am Beispiel Silizium:
 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$
 Vorfaktor = Schale
 Buchstaben = Orbital
 \sum Exponenten = \sum Elektronen

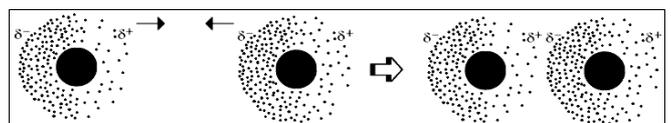
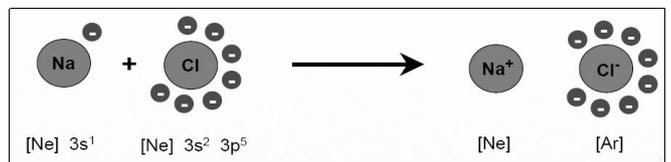
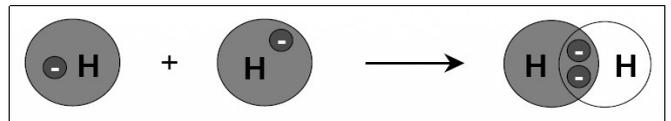
Kondensator $E = \frac{U}{d} \left[\frac{V}{m} \right]$ $C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} = \frac{Q}{U} \left[\frac{As}{V} \right]$

Coulomb-Kraft $F_C = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{x^2}$ Zentrifugalkraft $F_Z = \frac{m \cdot v^2}{r}$

potentielle Energie eines Elektrons $W_{pot} = -\frac{N |e|^2}{4 \pi \epsilon_0 x}$ $N = \text{Anzahl d. Ladungsträger}$

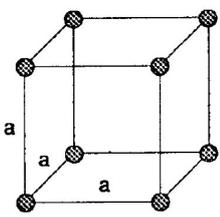
Bindungsarten von Atomen

- Atombindung / kovalente Bindung / „Elektronen-Sharing“
 2 Atome „teilen“ sich ihre äußeren Elektronen („Edelgaskonfiguration“)
- Ionenbindung
 1 Atom gibt Elektronen ab – 1 Atom nimmt Elektronen auf („Edelgaskonfiguration“)
- Metallische Bindung
 Atome geben Valenzelektronen ab („Elektronengas“)
- Von der Waals'sche Bindung
 Bildung von temp. Dipolen die Anziehung verursachen (sehr schwache Bindung)

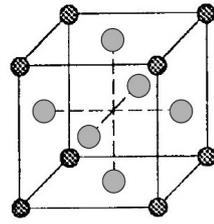


Elementarzelle = Kleinste, sich im Gitteraufbau wiederholende Volumeneinheit

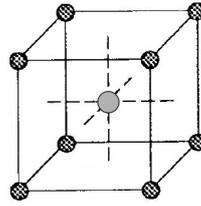
kubische Kristallsysteme



kubisch



kubisch flächenzentriert (kfz)



kubisch raumzentriert (krz)

Koordinationszahl = Zahl der nächsten Nachbarn eines jeden Atoms

$$\text{Packungsdichte} = \frac{\text{Volumen d. Atome in d. Einheitszelle}}{\text{Volumen d. Einheitszelle}} = \frac{V_A}{V_Z}$$

Gitter	Atome / Einheitszelle	Koordinationszahl	Packungsdichte
kubisch	1	6	52%
kubisch flächenzentriert	4	12	74%
kubisch raumzentriert	2	8	68%

Millersche Indizes (Indizierung von Ebenen im Kristall)

- Ablesen der Achsabschnitte (parallel zu Achse = ∞ , neg. Achsenabschnitt = $\overline{\text{Faktor}}$)
- Bildung der Kehrwerte ($\infty = 0$)
- ganzzahlig und teilerfremd machen

Die meisten Kristalle kristallisieren kfz, krz oder in der hexagonal dichtesten Kugelpackung.

Im festen Zustand tritt je nach Temperatur Polymorphie auf (veränderte Gitterkonstante/Packungsdichte).

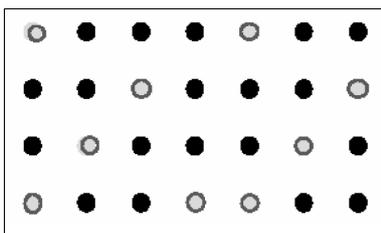
(Beispiel Eisen: krz – 910° – kfz – 1401° – krz – 1534° – Schmelze)

thermische Ausdehnung eines Metalls $l(T) = l(T_0) \cdot [1 + \beta(T - T_0)]$ mit $\beta = \frac{1}{l(T_0)} \cdot \frac{dl(T)}{dT}$

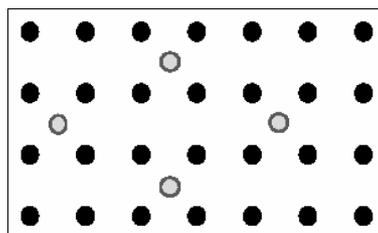
Grüneisen'sche Regel $\beta = \frac{1}{T_s}$ (T_s = Schmelztemperatur)

Legierungen sind Mischungen mit metallischen Eigenschaften. Mindestens eine der Legierungskomponenten ist ein Metall.

Einphasige Legierungen

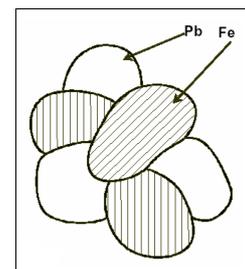


Substitutionsmischkristall (SMK)
(ähnlich große Atomradien und Valenzen, gleiche Kristallstruktur)



Einlagerungsmischkristall (interstitieller MK)
(Einbau von Fremdatomen auf Zwischengitterplätzen)

Mehrphasige Legierungen



Kristallgemenge von Legierungskomponenten („Hackfleisch“)

$R = \text{Ohmscher Widerstand} \quad R = \rho \cdot \frac{l}{A} = \frac{l}{\sigma \cdot A} \quad [R] = \Omega = \frac{1}{S} = \frac{V}{A}$

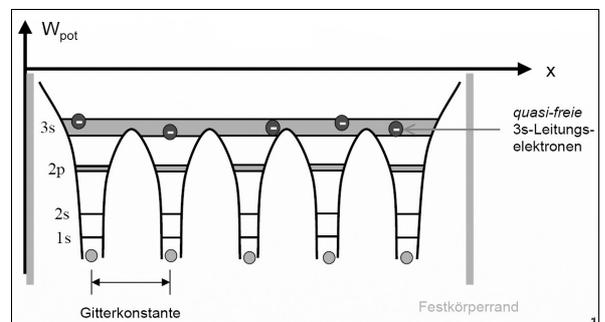
$\rho = \text{spezifischer elektrischer Widerstand} \quad [\rho] = \Omega \text{ m} = \frac{\text{Vm}}{\text{A}}$
 $\sigma = \text{elektrische Leitfähigkeit} \quad [\sigma] = \frac{\text{S}}{\text{m}} = \frac{\text{A}}{\text{Vm}}$ } Materialwerte

$\rho = \frac{1}{q \cdot n \cdot b} \quad \sigma = q \cdot n \cdot b \quad \sigma = \frac{J}{E}$
 $q = \text{(Elementar-)Ladung}$
 $n = \text{Ladungsträgerkonzentration}$
 $b = \text{Ladungsträgerbeweglichkeit}$
 $J = \text{Stromdichte (s.u.)}$
 $E = \text{elektrische Feldstärke}$
 Matthiessen-Regel: $\rho = \rho_0 + \rho_G(T)$
 $\rho_0 = \text{temperaturunabhängiger Anteil}$
 $\rho_G(T) = \text{temperaturabhängiger Anteil}$

Bändermodell (des Festkörpers)

- Breite eines Energiebandes 1 bis 5[eV]
- Zwischen den Bändern Bandlücken/Gap („verbotene Zonen“).
- Für Leitungsvorgänge sind Valenz- und Leitungsband von Bedeutung.

$n = \frac{N}{V} = \frac{N_A \cdot \rho}{M}$
 $n = \text{Ladungsträgerkonzentration}$
 $N = \text{Anzahl der Atome}$
 $V = \text{Volumen}$
 $M = \text{Molmasse}$



Breite der Bandlücke/Gap

<i>Isolator</i>	<i>Halbleiter</i>
$W_G > 100 kT$	$W_G < 100 kT$

Bei Halbleitern reicht geringe Energiezufuhr (Zimmertemperatur, Lichteinstrahlung, etc.), damit Elektronen die Bandlücke zwischen Valenz- und Leitungsband überspringen können. (Generation / Rekombination)

$k = \text{Boltzmann-Konstante}$
 $T = \text{absolute Temperatur}$

Driftgeschwindigkeit

$v_D = -\frac{e \cdot \tau}{m_e^*} \cdot E = -b_n \cdot E \Rightarrow b_n = \frac{e \cdot \tau}{m_e^*}$
 $J = \frac{i}{A} = \frac{U}{R \cdot A} = e \cdot n \cdot v = -e \cdot n \cdot b_n \cdot E$
 $\Rightarrow E = -\frac{J}{e \cdot n \cdot b_n}$
 $\tau = \text{mittlere Zeit zwischen zwei Stößen}$
 $m_e^* = \text{eff. Elektronenmasse}$
 $b_n = \text{Beweglichkeit der Elektronen}$
 $J = \text{Stromdichte (Strom / Fläche)}$
 $n = \text{Elektronendichte/-konzentration} (n = x \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3})$

Verschiebungsflussdichte $D = \frac{Q}{A} \left[\frac{\text{As}}{\text{Vm}} \right] \quad \vec{D} = \epsilon \cdot \vec{E} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \vec{E}$

Massenwirkungsgesetz $n \cdot p = n_i^2 \Rightarrow p = n = n_i$ wenn intrinsisch

Elektronendichte $n = N_L \cdot e^{-\frac{W_L - W_F}{kT}}$ bzw. $n = N_L \cdot e^{-\frac{W_F - W_V}{kT}}$

Shockley-Gleichung $I = I_{Sperr} \cdot \left[e^{\frac{U}{U_T}} - 1 \right]$

Konstanten

Bezeichnung	Kürzel	Wert / Einheit
Elementarladung	$e^- / e^+ / e$	$1,6 \cdot 10^{-19} [\text{As}]$
Plank'sches Wirkungsquantum	h	$6,626 \cdot 10^{-34} [\text{Js}] = 4,14 \cdot 10^{-15} [\text{eVs}] \quad \hbar = \frac{h}{2\pi}$
Avogadro-Zahl (Teilchen pro Mol)	N_A	$6,02205 \cdot 10^{23} \left[\frac{1}{\text{mol}} \right]$
Boltzmann-Konstante	k	$8,62 \cdot 10^{-5} \left[\frac{\text{eV}}{\text{K}} \right] = 1,38 \cdot 10^{-23} \left[\frac{\text{J}}{\text{K}} \right]$
Lichtgeschwindigkeit	c	$3 \cdot 10^8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$
Permittivität	ϵ_0	$8,854 \cdot 10^{-12} \left[\frac{\text{As}}{\text{Vm}} \right] = 8,854 \left[\frac{\text{pF}}{\text{m}} \right]$

Spezielle Werte für Silizium

Bezeichnung	Kürzel	Wert / Einheit
Permittivitätszahl	ϵ_r	12
Bandlücke	$\Delta W = W_L - W_V$	1,1 [eV]
Bindungsenergie bei Silizium		1,8 [eV]
Eigenleitungsträgerdichte	n_i	$1,5 \cdot 10^{10} \left[\frac{1}{\text{cm}^3} \right]$ bei $T=300 [\text{K}]$
Anzahl der Atome im Einkristall / Atomdichte	ρ_{Si}	$5,0 \cdot 10^{22} \left[\frac{1}{\text{cm}^3} \right]$
Fluss-Spannung Diode	U_F	0,7 [V]

Besondere Werte / Bezeichnungen

Kürzel / Ausdruck	Wert / Einheit	Beschreibung
$k \cdot T$	26 [meV]	Gilt bei Raumtemperatur von 300 [K]
$U_T = \frac{k \cdot T}{e}$	26 [mV]	Temperaturspannung
N_A, N_D, N_L	$\left[\frac{1}{\text{cm}^3} \right]$	Ladungsträger-Dichten Index = Art der Ladungsträger (A(kzeptoren), D(onatoren), L(adungsträger))
$p_p = N_A \Rightarrow n_p = \frac{n_i^2}{N_A}$ $n_n = N_D \Rightarrow p_n = \frac{n_i^2}{N_D}$	$\left[\frac{1}{\text{cm}^3} \right]$	Ladungsträger-Konzentrationen (gilt nur bei vollständiger Ionisation) Index = Art des Halbleiters