

4. Halbleiterelektroden

Wie unterscheiden sich Metalle und Halbleiter?

- Spezifische Leitfähigkeit:

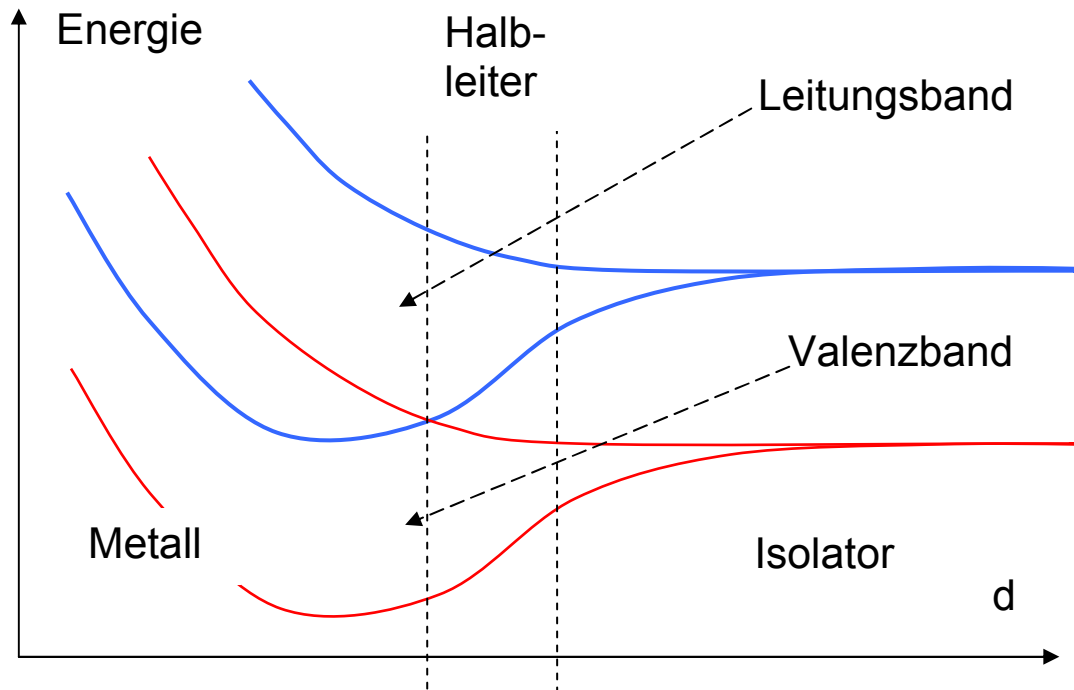
$$\text{Metalle: } \sigma \approx 10^6 \frac{1}{\Omega\text{cm}} \quad \text{Halbleiter: } \sigma \approx 10^{-9} \dots 10^2 \frac{1}{\Omega\text{cm}}$$

- Bandstruktur:

Gedankenexperiment zur Entstehung der Bandstruktur: Kondensation eines Gases unter Bildung eines Festkörpers.

- In dem Maße, in dem der Abstand der Atome abnimmt, nimmt die Überlappung der Elektronenhüllen zu.
- Nach dem Pauli-Prinzip muss die Überlagerung von einem ausgewählten Niveaus bei N Atomen zur Aufspaltung in N eng benachbarte Niveaus führen.
- Bei 10^{22} Atomen und einer Energiebreite von 10 eV ist dann der energetische Unterschied zwischen benachbarten Niveaus: $\Delta E = 10^{-21} \text{ eV} = 2.3 \cdot 10^{-20} \frac{\text{kcal}}{\text{mol}}$
- Zum Vergleich: $kT = 0.6 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}}$ bei 25 °C → die Elektronen können sich frei zwischen den Niveaus bewegen → Energieband statt Energieniveau

Bandstruktur an Abhängigkeit vom Atomabstand d:



typische Bandlücken E_g (in eV) von Halbleitern:

Ge: 0.6 zum Vergleich Diamant: 5.6

Si: 1.1

InSb: 0.2

Thermische Energie der Elektronen: 0.025 eV bei 25°C

→ einige wenige Elektronen springen aus dem Valenzband in das leere Leitungsband: Elektronen- plus Löcherleitung

$[e] = [h]$: gleiche Anzahl der Ladungsträger, *intrinsischer*

Halbleiter, $n = 10^{13} \text{ .. } 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

Intrinsische Halbleiter:

$$n_i(T) = p_i(T) = 2.5 \cdot 10^{-19} \exp\left(\frac{-E_g}{2kT}\right) \cdot \text{cm}^{-3} \text{ bei } 25^\circ\text{C}$$

→ exponentielles **Anwachsen** der Leitfähigkeit mit der Temperatur (Metalle: Leitfähigkeit **sinkt!**)

Analogie zum Elektrolyten:

Ionisierung: Gitter $\rightarrow e^- + h^+$

Dissoziation: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{OH}^- + \text{H}_3\text{O}^+$

Dynamisches Gleichgewicht: $n \cdot p = K(T)$ (MWG)

Fermi-Niveau: liegt genau in der Mitte der Bandlücke bei intrinsischen Halbleitern

Dotierungshalbleiter:

Dotierung des Halbleiters mit Spuren eines anderswertigen

Elementes → *extrinsische* Halbleiter

Si: 4-wertig

As: 5-wertig: verhält sich wie ein Elektronendonator

Konzentration: 1 ppm → $n_D = 5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ (=Dichte der Leitungselektronen)

Dichte der Löcher: $p = n_i^2/n_D \ll n_D \rightarrow \text{hier: } 4 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}$

→ freie Elektronen sind in der überwältigenden Mehrheit:
„Majoritätsladungsträger“ (Löcher: hier die „Minoritätsladungsträger“)

→ **n-Typ-Halbleiter**

Umgekehrt: Dotierung mit Ga (3-wertig): Elektronenakzeptor

→ Löcher sind die Majorität

→ **p-Typ-Halbleiter**

Lage des Fermi-Niveaus:

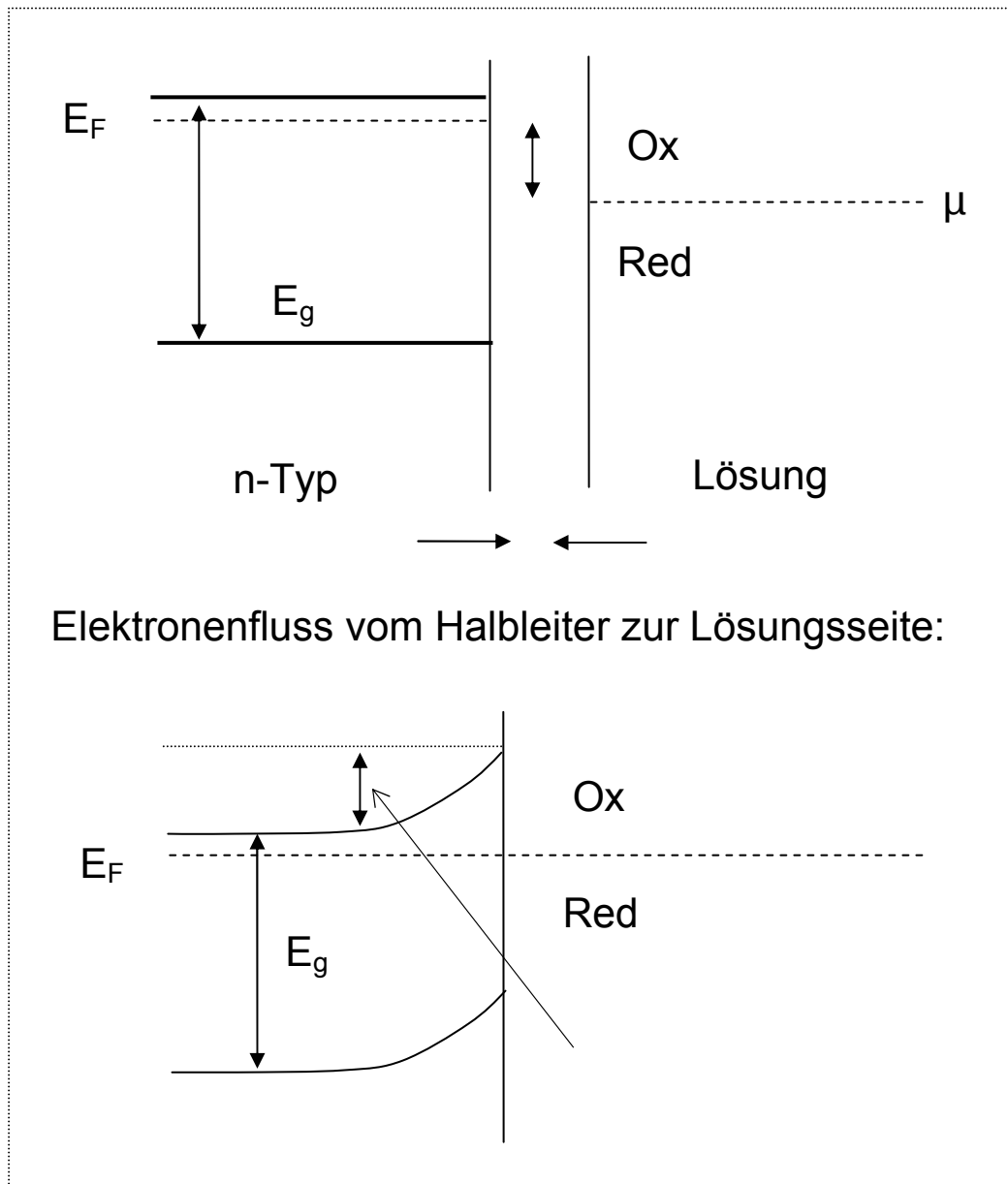
n-Typ: liegt wenig unter dem Leitfähigkeitsband

p-Typ: liegt wenig über dem Valenzband

Was passiert an der Grenzfläche Halbleiter-Lösung?

Gleichgewicht: die elektrochemischen Potentiale müssen gleich sein:

Fermi-Energie = elektrochemisches Potential in der Lösung



Elektronenfluss vom Halbleiter zur Lösungsseite:

Resultat: Bandverbiegung

Die Unterschussladung ist über einen ganzen Bereich verteilt:

„Raumladungszone“

Die Majoritätsladungsträger (Elektronen) sind an der Oberfläche verarmt → deshalb auch „Verarmungsschicht“ (*depletion layer*) genannt

Beschreibung der Raumladungszone: völlig analog zur Gouy-Chapman-Theorie!

Dicke der Raumladungszone:

5 .. 200 nm (abhängig vom Dotierungsgrad und der Potentialdifferenz)

Potential, bei welchem kein Ladungsüberschuss existiert und die Bänder folglich nicht verbogen sind:

„*Flachbandpotential*“ entspricht: „Nullladungspotential“!