

5.5.1 Merkpunkte Kapitel 5

Dichte der Elektronen im Leitungsband:

- Erster Teil der Formel gilt immer
- Zweiter Teil der Formel enthält div. Näherungen

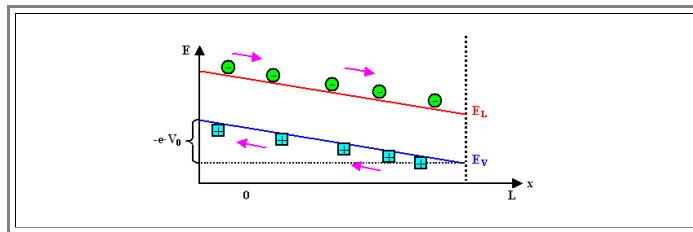
$$n_L(T) = \int_{E_L}^{\infty} D(E) \cdot f(E, T) \cdot dE = 4.8 \cdot 10^{15} \cdot T^{3/2} \cdot \exp - \frac{E_L - E_F}{kT} \text{ cm}^{-3}$$

Dichte der Löcher im Valenzband

- Löcher verhalten sich wie positiv geladene Elektronen
- Löcher haben eine positive Elementarladung, tragen Strom, haben eine Masse und eine Beweglichkeit.

$$n^h_V(T) = \int_{E_L}^{\infty} D(E) \cdot [1 - f(E, T)] \cdot dE = 4.8 \cdot 10^{15} \cdot T^{3/2} \cdot \exp - \frac{E_F - E_V}{kT} \text{ cm}^{-3}$$

Ein elektrisches Feld "verbiegt" die Bänder um die jeweilige elektrostatische Energie, d.h. um $e \cdot V$, $V =$ elektrostatisches Potential.



- Die lokale Bandverbiegung zeigt die Richtung des induzierten Teilchenflusses: Elektronen "abwärts", Löcher "aufwärts".
- Bei Stromfluß herrscht Nichtgleichgewicht; damit gibt es streng genommen keine Fermienergie mehr.

Dotieren: gezieltes Einbringen von Defekten, die in der Bandlücken Zustände für Elektronen nahe den Bandkanten erzeugen.

- Donatoren:** leichte Elektronenabgabe ins Leitungsband (**P** und **As** für **Si**)
- Akzeptoren:** leichte Elektronenaufnahme (= Löcherabgabe ans) aus dem Valenzband (**B** in **Si**)

Ladungsträgerdichten aus "Master"formel; aber jetzt mit Zuständen im Bandgap (Zustandsdichte = Dotierstoffdichte bei E -Niveau des Dotierstoffs) und verschobener Fermienergie

$$n_L = \int_{E_L}^{\infty} D(E) \cdot f(E, E_F, T) \cdot dE \approx N^L_{\text{eff}} \cdot \exp - \frac{E_L - E_F}{kT}$$

$$n_V = \int_{-\infty}^{E_V} D(E) \cdot [1 - f(E_D, E_F, T)] \cdot dE \approx N^V_{\text{eff}} \cdot \exp - \frac{E_F - E_V}{kT}$$

Fermienergie aus **Ladungsneutralität**.

Resultierende transzendente Gleichung nicht analytisch lösbar.

Näherungen sind einfach und ergeben:

- E_F ungefähr beim Dotierstoffniveau für kleine und mittlere Temperaturen.
- E_F wandert mit zunehmender Temperatur in Richtung Bandmitte.

Art	Formel	Graphik
Elektronen in L	$n_L = N_{\text{eff}}^L \cdot f(E_L, E_F, T)$	
negativ ionisierte Akzeptoren	$N_A^+ = N_A \cdot f(E_A, E_F, T)$	
Löcher in V	$n_V = N_{\text{eff}}^V \cdot \{1 - f(E_V, E_F, T)\}$	
positiv ionisierte Donatoren	$N_D^- = N_D \cdot \{1 - f(E_D, E_F, T)\}$	

Mit Dotierung werden **Majoritäten** und **Minoritäten** erzeugt, die Halbleiter werden **n-** oder **p-**leitend.

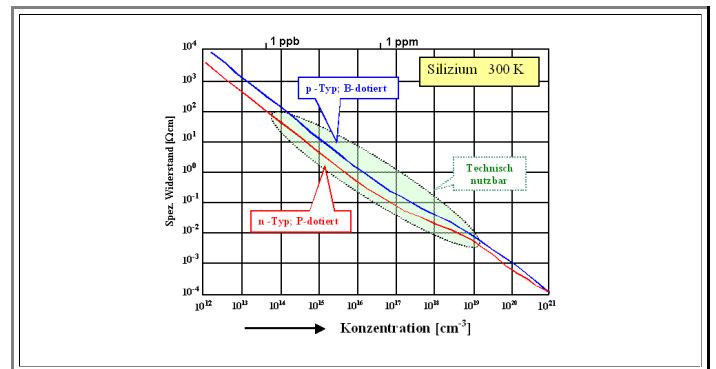
- Es gilt immer das **Massenwirkungsgesetz**; Kenntnis einer Konzentration ermöglicht Berechnung der jeweils anderen.
- Bei mittleren Temperaturen ($\approx RT$ bei Si) ist die Majoritätskonzentration in etwa gleich der Dotierstoffkonzentration; damit ergeben sich besonders einfache Verhältnisse.

$$n_L \cdot n_V = n_i^2$$

$$n_{\text{min}} = \frac{n_i^2}{N_{\text{Dot}}}$$

Beweglichkeit μ : Wird durch Dotierung reduziert.

Spez. Leitfähigkeit bzw. Widerstand: Im wesentlichen durch Dotierstoffkonzentration bestimmt.



Generation und Rekombination zwischen den Bändern: Bei Minoritäten sehr viel stärker "fühlbar" als bei Majoritäten

- Nach wie vor Gleichheit der Raten im Gleichgewicht.
- Lebensdauer τ (der Minoritäten) und Diffusionslänge L weiterhin direkt gekoppelt.

Zwischen Beweglichkeit und Diffusionskonstante D existiert immer die einfache **Einstein-Smoluchowski Beziehung**

$$G_{GG} = R_{GG} = \frac{n_{\text{Min}}}{\tau}$$

$$L = (D \cdot \tau)^{1/2}$$

$$D = \frac{kT}{e} \cdot \mu$$

Fragebogen

Multiple Choice Fragen zu Kapitel 5