

9.5.2 Was man wissen muss

Wir kennen auswendig, weil verstanden, die wichtigsten Gleichungen für reale (= dotierte) Halbleiter im Gleichgewicht.

$n_{\text{Maj}} = N_{\text{Dot}}$	$n_{\text{Min}}(T) = \frac{n_i^2(T)}{N_{\text{Dot}}}$	$R = G = \frac{n_{\text{Min}}}{\tau}$
-----------------------------------	---	---------------------------------------

- Wir wissen, dass bei **Si** die Energielücke $E_G = 1,1 \text{ eV}$ beträgt.
- Wir haben ein Gefühl für **Dotieren**: Womit (in **Si**: **P** und **As** für **n**-Typ, **B** für **p**-Typ), wieviel man so nimmt ($10^{15} \text{ cm}^{-3} \dots 10^{19} \text{ cm}^{-3}$), und wie's ungefähr gemacht wird.
- Wir wissen, was **Generationsrate** G , **Rekombinationsrate** R und **Lebensdauer** τ bedeuten. **Löcher** im Valenzband und **Elektronen** im Leitungsband sowie ihr Verhalten bezüglich Energie und Feld sind uns vertraut.

Was in den nachfolgenden Bildern / Gleichungen gezeigt ist, haben wir also **total** verstanden:

	$R = \frac{n_{\text{Min}}}{\tau} = G$ $L = (D \cdot \tau)^{1/2}$
--	--

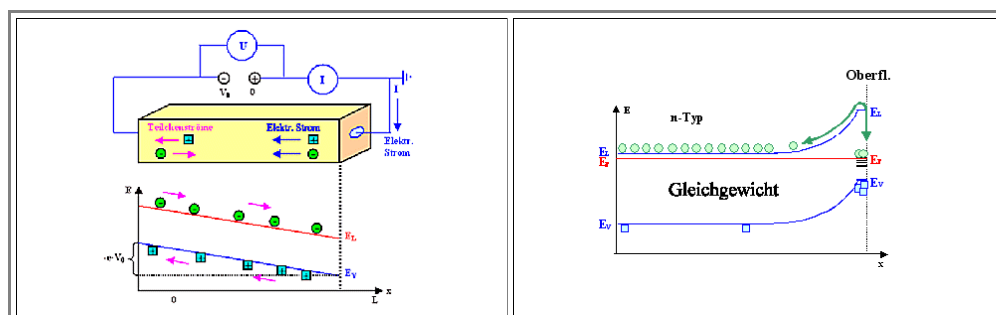
- Wir wissen, was **direkte** und **indirekte** Halbleiter unterscheidet, und dass **Si** ein indirekter Halbleiter ist.

Der Weg zu diesen Erkenntnissen war steinig.

- Wir könnten aber noch Gleichungen wie die unten gegebenen zumindest zuordnen, und wir haben vor allem verstanden, was die **Position der Fermienergie** in der Bandlücke bestimmt – und warum das so wichtig ist.

$n_e = \int_{E_L}^{\infty} D(E) \cdot f(E; E_F, T) \cdot dE$ $\approx N_{\text{eff}} \cdot \exp\left(-\frac{E_L - E_F}{k_B T}\right)$	$n_h = \int_{-\infty}^{E_V} D(E) \cdot [1 - f(E; E_F, T)] \cdot dE$ $\approx N_{\text{eff}} \cdot \exp\left(-\frac{E_F - E_V}{k_B T}\right)$
$n_e \cdot n_h = n_i^2$	$n_i = N_{\text{eff}} \cdot \exp\left(-\frac{E_G}{2k_B T}\right)$

Bandkrümmungen wie dargestellt sind (semi-)quantitativ und qualitativ verstanden.



- Wir wissen, dass zwischen der **Beweglichkeit** μ und dem **Diffusionskoeffizienten** D der Ladungsträger eine simple Beziehung existiert und erinnern uns zumindest an $\mu \propto D$.

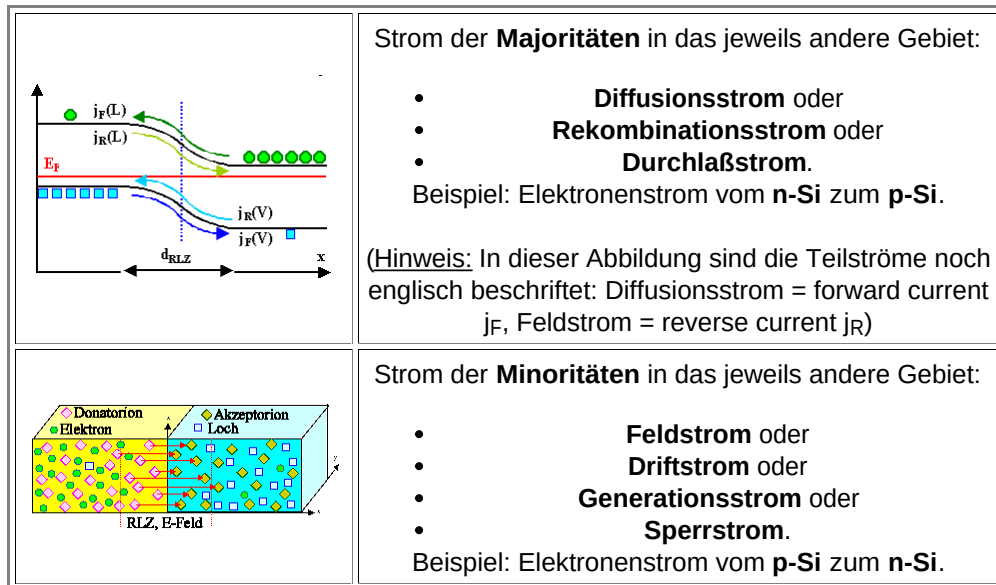
Damit ist die **Leitfähigkeit** $\sigma = qn\mu$ der Halbleiter klar, und auch wie sie im Prinzip von der Dotierkonzentration N_{Dot} abhängt.

Die Bedeutung von **Kontakten** ist klar; wir können einige konstruieren, denn wir kennen das 3-Schritte-Rezept.

Der Zusammenhang zwischen **Ladungen**, **Bandverbiegung**, **Raumladungszone** und **elektrisches Feld** im Kontakt ist klar.

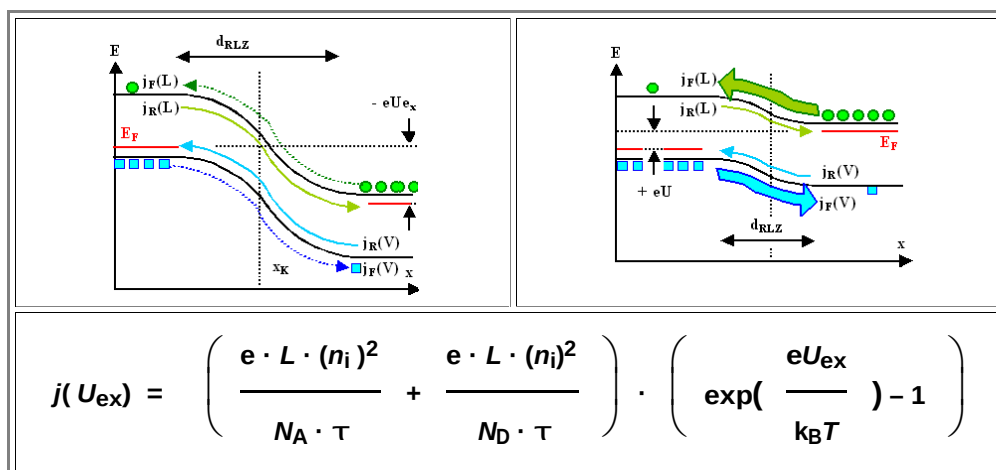
Das Kondensatormodell für die Weite der Raumladungszone ist klar; mit einigen Hinweisen könnten wir es rekonstruieren.

Wir können das Banddiagramm eines **pn-Übergangs** konstruieren, Ladungsträger und **Ströme** einzeichnen, die Ströme benennen und auch noch die Ladungsverteilung im Ortsraum skizzieren (wir sehen auch, dass im Bild unten was vertauscht ist gegenüber dem darüber).



Wir haben im Detail verstanden, dass im Gleichgewicht gilt: $j_D = -j_F$ und $|j_F| = e \cdot L \cdot G = e \cdot L \cdot n_i^2 / \tau \cdot N_{\text{Dot}}$

Wie die Banddiagramme mit **externer Spannung** aussehen und wie daraus die Diodengleichung folgt, ist klar (Hinweis: In der folgenden Abbildung sind die Teilströme noch englisch beschriftet: Diffusionsstrom = forward current j_F , Feldstrom = reverse current j_R).



Wenn bis dahin wirklich alles klar ist, versteht sich der Rest von selbst.