zu 3.2.6 Rekombination

Leitungsband Elektronen und Löcher können durch verschieden Rekombinationsmechanismen rekombinieren. Klar ist aber, daß im thermischen Gleichgewicht kein Netto-Rekombination stattfindet, denn die rekombinierenden $e^{\ominus}$ und Löcher werden durch thermische Anregung sofort wieder erzeugt und der von uns berechnete Wert n_0 und p_0 stellt sich ein. Demnach muß die Netto Rekombinationsrate R in $\frac{\#}{cm^3 s}$ im Gleichgewicht verschwinden.

Sei nun z.B. durch Bestrahlung ein Überschuß an $e^{\ominus}$ vorhanden:

$$n = n_0 + \Delta n.$$

Die Rekombination versucht diesen Überschuß abzubauen. Wäre R unabhängig von n und p (was nicht stimmt), dann wäre ein Überschuß

Δn in der Zeit Δt abgebaut:

$$\Delta n = R \cdot \Delta t$$

Man definiert sich daher Lebensdauern für $e^{\ominus}$ und Löcher:

$$\tau_n \equiv \frac{\Delta n}{R} \quad ; \quad \tau_p = \frac{\Delta p}{R}$$

Da $[\Delta n] = cm^{-3}$ und $[R] = [cm^{-3}s^{-1}]$ stimmt das auch prima und $[\tau] = s$ wie erwartet. ■

Um Gln (3.39) herzuleiten macht man die Annahme:

p-typ: $p = p_0 \gg n_0$

Niedriginjektion: $n_0 \leq n \ll p_0$

Falle bei mid Gap: $E_T = E_i$

Daraufhin wird von (3.37) aus: $e^{(E_i - E_T)/kT} = e^0 = 1$

$$\Rightarrow R_{SLT} = \frac{pn - n_i^2}{\tau_{SLT,n}(p + \underbrace{n_i}_{\substack{\ll p \\ \text{laut Annahme}}}) + \tau_{SLT,p}\underbrace{(n + n_i)}_{\substack{\ll p \\ \text{laut Annahme}}}}$$

$$= \frac{pn - n_i^2}{\tau_{SLT,n} \cdot p} = \frac{pn - \overbrace{n_0 p_0}^{\approx p \text{ laut Annahme}}}{\tau_{SLT,n} \cdot p}$$

$$\simeq \frac{\cancel{p}(n - n_0)}{\cancel{p} \cdot \tau_{SLT,n}} = \frac{n - n_0}{\tau_{SLT,n}} \qquad (3.39)$$

■

Von Gln (3.41) $\qquad R_\lambda = B(pn - n_i^2)$

zu (3.43) kommt man wie folgt:

Annahme: n-typ: $n = n_0 >> p_0$

Nichtgleichgewicht: $p_0 \leq p \ll n_0$

$$\Rightarrow \quad R_\lambda = B(pn - n_i^2) \approx B(p n_0 - n_i^2)$$

$$= B([p_0 + \Delta p] n_0 - n_i^2)$$

$$= B(\underbrace{p_0 n_0 - n_i^2}_{=0} + \Delta p n_0) = B n_0 \Delta p$$

und weil $\tau_{\lambda,p} = \dfrac{\Delta p}{R} \Rightarrow \tau_{\lambda p} = \dfrac{\cancel{\Delta p}}{B n_0 \cancel{\Delta p}} = \underline{\underline{\dfrac{1}{B n_0}}}$ $\blacksquare$

<u>Gesamtrekombination:</u>

$$\frac{1}{\tau_{gesamt}} = \frac{1}{\tau_{Strahlung}} + \frac{1}{\tau_{Auger}} + \frac{1}{\tau_{Fallen}}$$

allerdings in der Praxis für Silizium besser empirische Formel:

$$\tau = \frac{\tau_0}{1 + \dfrac{N_D}{7 \cdot 10^{15}\,cm^{-3}}}$$

mit $\tau_0 = 400\,\mu s$ für undotiertes Silizium $\blacksquare$

EINSTEIN RELATION (zu 3.2.7)

Potentielle Energie U erzeugt Kraft:

$$F = -\frac{dU}{dx} \quad ; \quad v = \mu F$$

(Annahme)
[effektive mittlere Driftbewegung]

Teilchendichte $\rho(x)$

$$J_{Drift} = \mu F \rho = -\rho \mu \frac{dU}{dx}$$

$$J_{Diff} = -D \frac{d\rho}{dx} \qquad \text{Ficksches Gesetz}$$

Gleichgewicht

$$0 = J_{Drift} + J_{Diffusion} = -\rho \mu \frac{dU}{dx} - D \frac{d\rho}{dx}$$

$$\rho(x) = A e^{-U/kT} \quad \text{: Boltzmann Verteilung}$$

$$\frac{d\rho}{dx} = -\frac{1}{kT} \frac{dU}{dx} \rho(x)$$

$$\Rightarrow \quad 0 = J_{Drift} + J_{Diffusion} = -\rho \mu \frac{dU}{dx} + \frac{D}{kT} \frac{dU}{dx} \rho(x)$$

$$= -\rho(x) \frac{dU}{dx} \left(\mu - \frac{D}{kT} \right)$$

$$\Rightarrow \quad \underline{\underline{\mu = \frac{D}{kT}}} \quad \blacksquare$$