

Zusammenfassung vom 11.11.2011

Ladungsneutralität $n_D d_n = n_A d_p$

Schottky-Modell der
Raumladungszone

$$\rho(x) = \begin{cases} 0, & x < -d_p \\ -en_A, & -d_p < x < 0 \\ en_D, & 0 < x < d_n \\ 0, & x > d_n \end{cases}$$

d_n, d_p : *Raumladungs-
zonenbreite im
n-/p-Halbleiter*

$$\rightarrow E(x) = \int_{-\infty}^x \frac{\rho(x')}{\epsilon\epsilon_0} dx' + E(-\infty) = \begin{cases} 0, & x < -d_p \\ -\frac{e}{\epsilon\epsilon_0} n_A (x + d_p), & -d_p < x < 0 \\ \frac{e}{\epsilon\epsilon_0} n_D (x - d_n), & 0 < x < d_n \\ 0, & x > d_n \end{cases}$$

$$\rightarrow V(x) = -\int_{-\infty}^x E(x') dx' + V(-\infty) = \begin{cases} V_p(-\infty), & x < -d_p \\ V_p(-\infty) + \frac{e}{2\epsilon\epsilon_0} n_A (x + d_p)^2, & -d_p < x < 0 \\ V_n(\infty) - \frac{e}{2\epsilon\epsilon_0} n_D (x - d_n)^2, & 0 < x < d_n \\ V_n(\infty), & x > d_n \end{cases}$$

Raumladungszonenbreite

$$\rightarrow d_n = \left(\frac{2\epsilon\epsilon_0 V_D}{e} \frac{n_A/n_D}{n_A + n_D} \right)^{\frac{1}{2}}$$

folgt aus Stetigkeit von $V(x)$ und mit $V_D = V_n(\infty) - V_p(-\infty)$

$$\rightarrow d_p = \left(\frac{2\epsilon\epsilon_0 V_D}{e} \frac{n_D/n_A}{n_A + n_D} \right)^{\frac{1}{2}}$$

p-n-Übergang (mit Vorspannung U)

- *thermisches Gleichgewicht gestört*
- *Idealisierung: stationärer Zustand nahe am thermischen Gleichgewicht*
- *Raumladungszone besitzt hohen elektrischen Widerstand aufgrund der Verarmung an Ladungsträgern*
- *fast gesamte Spannung U fällt über der Raumladungszone ab*
- *Bandstruktur ändert sich nur im Bereich $\rho(x) \neq 0$*

Diffusionsspannung $V_D(U) = V_D - U = V_n(\infty) - V_p(-\infty)$

Raumladungszone $\rightarrow d_{n,p}(U) = d_{n,p}(U=0) \left(1 - U/V_D\right)^{\frac{1}{2}}$

im p-Halbleiter *Elektronen sind hier Minoritätsladungsträger*

→ Erzeugung durch *thermische Generation aus Diffusionsstrom*

→ durch V_D werden alle Elektronen in den n-HL hinübergezogen
(unabhängig von U , da keine Potentialbarriere vorhanden!): I_n^{gen}

Generationsstrom → $I_n^{\text{gen}}(U) \cong I_n^{\text{gen}} = \text{const.}$

im n-Halbleiter *Elektronen sind hier Majoritätsladungsträger*

→ bilden Diffusionsstrom in p-HL: I_n^{rec} *Rekombinationsstrom*

→ Elektronen müssen $V(x)$ überwinden

→ proportional zu *Boltzmann-Faktor*: $I_n^{\text{rec}} \propto e^{-\frac{e(V_D-U)}{kT}} \propto e^{\frac{eU}{kT}}$

Rekombinationsstrom → $I_n^{\text{rec}} = I_n^{\text{gen}} e^{\frac{eU}{kT}}$ *folgt aus* $I_n^{\text{rec}}(U=0) = I_n^{\text{gen}}(U=0) \cong I_n^{\text{gen}} \propto e^{-\frac{eV_D}{kT}}$

Gesamtstrom $I(U) = I_n + I_p$ $I_{n,p} = I_{n,p}^{\text{rec}} - I_{n,p}^{\text{gen}} = I_{n,p}^{\text{gen}} (e^{\frac{eU}{kT}} - 1)$ *(nach analoger Überlegung für die Löcher)*

Diodenkennlinie → $I(U) = (I_n^{\text{gen}} + I_p^{\text{gen}}) [e^{\frac{eU}{kT}} - 1]$

Sättigungsstrom in Sperrrichtung $I(U \rightarrow -\infty) = -(I_n^{\text{gen}} + I_p^{\text{gen}})$

Diffusionsstromnäherung zur Bestimmung des Sättigungsstroms

- *Störung des thermischen Gleichgewichts vor allem durch Diffusionsströme verursacht*
- *Einfluss von U auf Feldströme vernachlässigbar*
- *es genügt, nur Diffusionsströme zu betrachten*
- *p und n in Raumladungszone überhöht: $n \cdot p \neq n_i^2$*
- *E_F in Raumladungszone nicht mehr definiert*
- *Beschreibung mit Quasi-Fermi-Niveaus für Elektronen und Löcher: E_F^n, E_F^p ,*

Shockley-Modell

- *Rekombinationsprozesse von Elektronen und Löchern innerhalb der Raumladungszone werden vernachlässigt*
- *d_n und d_p sind konstant*

Löcher-Diffusionsstrom (bei $x = d_n$)

$$\rightarrow j_p^{\text{Diff}}(x = d_n) = -e D_p \left. \frac{\partial p(x)}{\partial x} \right|_{x=d_n}$$

Majoritätslöcher-Konzentration

$$p(x) = N_{\text{eff}}^v e^{-\frac{\mu - E_v(x)}{kT}} = p_p e^{-\frac{eV(x)}{kT}} \quad \text{mit} \quad p_p = N_{\text{eff}}^v e^{-\frac{\mu - eE_v^p}{kT}}$$

$$\rightarrow p(x = d_n) = p_p e^{-\frac{eV_D - U}{kT}} = p_n e^{\frac{eU}{kT}} \quad \text{mit} \quad p_n = p_p e^{-\frac{eV_D}{kT}}$$

Rekombinationsrate

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{1}{e} \underbrace{\vec{\nabla} \cdot \vec{j}_p^{\text{Diff}}}_{\text{Änderung durch Diffusion}} - \underbrace{\frac{p - p_n}{\tau_p}}_{\text{Rekombination aufgrund des Loch-Überschusses}} \quad \tau_p = \text{Loch-Lebensdauer im n-H.L.}$$