Zusammenfassung vom 12.11.2010

Ladungsneutralität $n_D d_n = n_A d_p$

Schottky-Modell der Raumladungszone

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

d_n, d_p: ***Raumladungszonenbreite im n-/p-Halbleiter***

$$\Rightarrow \quad E(x) = \begin{cases} 0, & x < -d_p \\ -\frac{e}{\varepsilon\varepsilon_0} n_A (x + d_p), & -d_p < x < 0 \\ \frac{e}{\varepsilon\varepsilon_0} n_D (x - d_n), & 0 < x < d_n \\ 0, & x > d_n \end{cases}$$

$$\Rightarrow \quad V(x) = \begin{cases} V_p(-\infty), & x < -d_p \\ V_p(-\infty) + \frac{e}{2\varepsilon\varepsilon_0} n_A (x + d_p)^2, & -d_p < x < 0 \\ V_n(\infty) - \frac{e}{2\varepsilon\varepsilon_0} n_D (x - d_n)^2, & 0 < x < d_n \\ V_n(\infty), & x > d_n \end{cases}$$

Zusammenfassung vom 12.11.2010

Raumladungszonenbreite

$$\rightarrow \quad d_n = \left(\frac{2\varepsilon\varepsilon_0 V_D}{e} \frac{n_A / n_D}{n_A + n_D} \right)^{\frac{1}{2}}$$

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

$$\rightarrow \quad d_p = \left(\frac{2\varepsilon\varepsilon_0 V_D}{e} \frac{n_D / n_A}{n_A + n_D} \right)^{\frac{1}{2}}$$

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

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

Zusammenfassung vom 12.11.2010

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

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:* $I_n^{rec} \propto e^{-\frac{e(V_D-U)}{kT}} \propto e^{\frac{eU}{kT}}$

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

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

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

Sättigungsstrom in Sperrrichtung $I(U \to -\infty) = -\left(I_n^{gen} + I_p^{gen}\right)$

Zusammenfassung vom 12.11.2010

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*)*

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

Majoritätslöcher-Konzentration

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

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

Rekombinationsrate

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

τ_p = *Loch-Lebensdauer im n-H.L.*