Zusammenfassung vom 15.11.2011

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

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

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

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.*

stationäre Lösung $$\frac{\partial p}{\partial t} = 0 \quad ➔ \quad \frac{p - p_n}{\tau_p} = -\frac{1}{e} \vec{\nabla} \cdot \vec{j}_p^{Diff} = D_p \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \quad ➔ \quad \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{p - p_n}{D_p \tau_p}$$

Zusammenfassung vom 15.11.2011

Diffusionslänge der Löcher $L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$ ➔ $p(x) = p_n \left(1 + e^{-\frac{x}{L_p}}\right)$

Rekombinations-strom

$$-\left.\frac{\partial p}{\partial x}\right|_{x=d_n} = \frac{p(x=d_n) - p_n}{L_p} = \frac{1}{L_p} p_n \left(e^{\frac{eU}{kT}} - 1\right)$$

τ_p = Loch-Lebens-dauer im n-H.L.

Löcher-Diffusionsstrom *(bei* **$x = d_n$***)* ➔

$$j_p^{Diff}(x = d_n) = \frac{e D_p}{L_p} p_n \left[e^{\frac{eU}{kT}} - 1\right]$$

D_p = Loch-Diffu-sionskonstan-te im n-H.L.

(analoge Gleichung für die Elektronen)

Diodenkennlinie ➔

$$j(U) = \underbrace{\left(\frac{eD_p}{L_p} p_n + \frac{eD_n}{L_n} n_p\right)}_{\hat{=}\, I_p^{gen} + I_n^{gen}} [e^{\frac{eU}{kT}} - 1]$$

Sättigungstrom in Sperrrichtung

$$j(U \to -\infty) = -\left(\frac{eD_p}{L_p} p_n + \frac{eD_n}{L_n} n_p\right)$$

Minoritätsladungsträger sind verantwortlich für die Stärke des Diodenstroms

Zusammenfassung vom 15.11.2011

npn-Transistor

➔ *zwei Dioden in Reihe geschaltet:*
1) np-Diode in Durchlassrichtung, 2) pn-Diode in Sperrrichtung

➔ *gemeinsame Basis (p-HL) muss so dünn sein, dass für ihre Dicke d_p gilt:* $d_B << L^B_{n,p}$ $L^B_{n,p}$ = *Diffusionslänge in der Basis*

➔ *Stromverstärkung* $B_N = I_C/I_B \cong 50 - 500$

np-Diode ***(vernachlässige Stromverstärkung)***

Durchlassrichtung mit Spannung U_{BE}

➔ *Minoritätsladungsträger:*

$$p_n^E = p_n^E\left(U_{BE}=0\right)e^{\frac{eU_{BE}}{kT}}$$

$$n_p^B = n_p^B\left(U_{BE}=0\right)e^{\frac{eU_{BE}}{kT}}$$

➔ *Löcherstrom, von Basis → Emitter der exponentiell mit* U_{BE} *anwächst:*

$$I_B \propto j^p_{BE} \propto p_n^E\left(U_{BE}=0\right)e^{\frac{eU_{BE}}{kT}}$$

pn-Diode

Sperrrichtung mit Spannung U_{CB}

➔ *Minoritätsladungsträger können ungehindert (d.h. unabhängig von* U_{CB}*) durch die Sperrschicht fließen*

➔ *Sättigungsstrom in Sperrrichtung:*

$$j^{BC}_{\text{sätt}} = \frac{eD_p}{L_p}p_n^C + \frac{eD_n}{L_n}n_p^B$$

Zusammenfassung vom 15.11.2011

pn-Diode

➔ *$j^{BC}_{s\ddot{a}tt}$ ist proportional zur Konzentration der Minoritätsladungsträger, insbesondere zur Elektronendichte n^B_p in der Basis:*

$$I_C \propto j^{BC}_{s\ddot{a}tt} \propto n^B_p \quad \Rightarrow \quad I_C \propto n^B_p\left(U_{BE}=0\right)e^{\frac{eU_{BE}}{kT}}$$

➔ *Kollektorstrom I_C nimmt exponentiell mit U_{BE} zu*

➔ *Kollektorstrom I_C wird durch U_{BE} gesteuert*

Ursache der Stromverstärkung B_N

$$d_B << L^B_{n,p}$$

➔ *wegen der geringen Dicke der Basisschicht können fast alle Elektronen, die vom Emitter → Basis gelangt sind, zum Kollektor weiterwandern, ohne dass sie in der Basisschicht mit einem Loch rekombinieren*

➔ *stationäres Gleichgewicht für Minoritätsladungsträger n^B_p in der Basisschicht wird verschoben*

➔ *dies ist gleichbedeutend mit einer erheblich reduzierten effektiven Lebensdauer der Minoritätsladungsträger in der Basisschicht:*

$$L^B_n = \sqrt{D^B_n \tau^B_n} \quad \Rightarrow \quad \tau^B_n = \frac{{L^B_n}^2}{D^B_n} \propto {L^B_n}^2$$

Zusammenfassung vom 15.11.2011

effektive Lebensdauer ➔ *wegen der geringen Dicke der Basisschicht ist die effektive Lebensdauer $\tau^{B}_{n,eff}$ in der Basisschicht bestimmt durch die Dicke der Basis:*

$$\tau^{B}_{n,eff} = \frac{d_B^2}{D_n^B} \quad \Rightarrow \quad \tau^{B}_{n,eff} << \tau^{B}_{n}$$

Rekombinationsrate für n^B

$$\frac{\partial n^B}{\partial t} = -\frac{1}{e}\vec{\nabla}\cdot\vec{j}^{\,Diff}_{n,BE} - \frac{n^B - n_p^B}{\tau^{B}_{n,eff}}$$

stationäre Lösung

$$\frac{\partial n^B}{\partial t} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial^2 n^B}{\partial x^2} = \frac{n^B - n_p^B}{D_n^B\,\tau^{B}_{n,eff}} \cong \frac{1}{d_B^2}\left(n^B - n_p^B\right)$$

$$\Rightarrow \quad n^B(x) = n_p^B\left(1 + e^{-\frac{x}{d_B}}\right) \quad \Rightarrow \quad I_C \propto j^{BC}_{sätt} \propto \frac{e\,D_n^B}{d_B}\, n_p^B(U_{EB}=0)\left[e^{\frac{eU}{kT}} - 1\right]$$

Stromverstärkung ➔

$$B_N = \frac{I_C}{I_B} \cong \frac{j^{BC}_{sätt}}{j^{p}_{BE}} = \frac{D_n^B}{D_p^E}\,\frac{L_p^E}{d_B}\,\frac{n_p^B(U_{EB}=0)}{p_n^E(U_{EB}=0)}$$

$$\Rightarrow \quad B_N \cong \frac{L_p^E}{d_B} \cong \frac{L_n^B}{d_B} >> 1 \quad \textit{da} \quad p_n^E \cong n_p^B, \quad D_n^B \cong D_p^E, \quad L_n^B \cong L_p^E$$