

Zusammenfassung vom 16.11.2010

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

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

Rekombinationsstrom $-\frac{\partial p}{\partial x} \Big|_{x=d_n} = \frac{p(x=d_n) - p_n}{L_p} = \frac{1}{L_p} p_n \left(e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right)$ $\tau_p = \text{Loch-Lebensdauer im } n\text{-H.L.}$

Löcher-Diffusionsstrom (bei $x = d_n$) $\rightarrow j_p^{\text{Diff}}(x = d_n) = \frac{e D_p}{L_p} p_n \left[e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right]$ $D_p = \text{Loch-Diffusionskonstante im } n\text{-H.L.}$

(analoge Gleichung für die Elektronen)

Diodenkennlinie $\rightarrow j(U) = \underbrace{\left(\frac{e D_p}{L_p} p_n + \frac{e D_n}{L_n} n_p \right)}_{\cong I_p^{\text{gen}} + I_n^{\text{gen}}} \left[e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right]$

Sättigungstrom in Sperrrichtung $j(U \rightarrow -\infty) = - \left(\frac{e D_p}{L_p} p_n + \frac{e D_n}{L_n} n_p \right)$ *Minoritätsladungsträger sind verantwortlich für die Stärke des Diodenstroms*

- 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:* $d_B \ll L_{n,p}^B$ $L_{n,p}^B = \text{Diffusionslänge in der Basis}$
- *Stromverstärkung $\beta_N = I_C/I_B \cong 50 - 500$*

np-Diode
(vernachlässige Stromverstärkung)

Durchlassrichtung mit Spannung U_{BE}

- *Minoritätsträger:* $p_n^E = p_n^E(U_{BE} = 0) e^{\frac{eU_{BE}}{kT}}$
 $n_p^B = n_p^B(U_{BE} = 0) e^{\frac{eU_{BE}}{kT}}$

- *Löcherstrom, von Basis → Emitter der exponentiell mit U_{BE} anwächst:* $I_B \propto j_{BE}^p \propto p_n^E(U_{BE} = 0) e^{\frac{eU_{BE}}{kT}}$

pn-Diode

Sperrrichtung mit Spannung U_{CB}

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

- *Sättigungsstrom in Sperrrichtung:* $j_{sätt}^{BC} = \frac{eD_p}{L_p} p_n^C + \frac{eD_n}{L_n} n_p^B$

pn-Diode → $j_{\text{sätt}}^{\text{BC}}$ ist proportional zur Konzentration der Minoritätsladungsträger, insbesondere zur Elektronendichte n_p^{B} in der Basis:

$$I_C \propto j_{\text{sätt}}^{\text{BC}} \propto n_p^{\text{B}} \quad \rightarrow \quad I_C \propto n_p^{\text{B}} (U_{\text{BE}} = 0) e^{\frac{eU_{\text{BE}}}{kT}}$$

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

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

Ursache der Stromverstärkung B_N $d_B \ll L_{n,p}^{\text{B}}$

→ 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_p^{B} in der Basisschicht wird **verschoben**

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

$$L_n^{\text{B}} = \sqrt{D_n^{\text{B}} \tau_n^{\text{B}}} \quad \rightarrow \quad \tau_n^{\text{B}} = \frac{L_n^{\text{B}^2}}{D_n^{\text{B}}} \propto L_n^{\text{B}^2}$$

effektive Lebensdauer → wegen der geringen Dicke der Basisschicht ist die effektive Lebensdauer $\tau_{n,\text{eff}}^B$ in der Basisschicht bestimmt durch die Dicke der Basis:

$$\tau_{n,\text{eff}}^B = \frac{d_B^2}{D_n^B} \rightarrow \tau_{n,\text{eff}}^B \ll \tau_n^B$$

Rekombinationsrate für n^B

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

stationäre Lösung

$$\frac{\partial n^B}{\partial t} = 0 \rightarrow \frac{\partial^2 n^B}{\partial x^2} = \frac{n^B - n_p^B}{D_n^B \tau_{n,\text{eff}}^B} \cong \frac{1}{d_B^2} (n^B - n_p^B)$$

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

Stromverstärkung

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

$$\rightarrow B_N \cong \frac{L_p^E}{d_B} \cong \frac{L_n^B}{d_B} \gg 1 \quad \text{da} \quad p_n^E \cong n_p^B, \quad D_n^B \cong D_p^E, \quad L_n^B \cong L_p^E$$