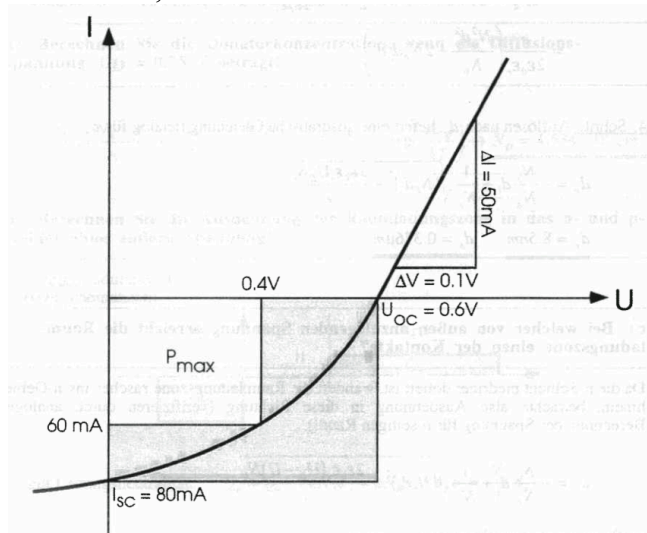


ÜBUNGSBLATT 10

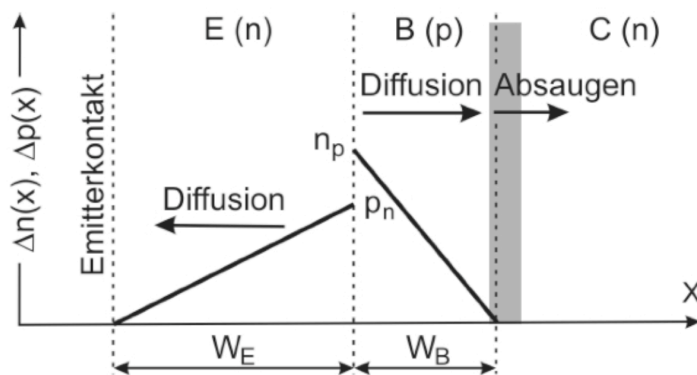
Beispiel 37 (Solarzelle):

Bestimmen Sie aus der gegebenen Strom-Spannungskennlinie einer Silizium-Solarzelle den Kurzschlußstrom, die Leerlaufspannung, die maximale (elektrische) Leistung, den Füllfaktor, den Serienwiderstand und den Wirkungsgrad der Solarzelle. Die aktive Fläche der Solarzelle beträgt

$A=2.6 \text{ cm}^{-2}$, die Solarkonstante $S = 925 \text{ Wm}^{-2}$.



Beispiel 38 (Stromverstärkung des Bipolartransistors):



Der aktive Betrieb eines npn-Bipolartransistors ist dadurch gekennzeichnet, dass die BE-Diode in Flussrichtung und die BC-Diode in Sperrichtung gepolt ist. Minoritätselektronen werden vom n- ins p-Gebiet injiziert, diffundieren durch die Basis und werden schließlich durch das Feld des in Sperrichtung gepolten BC Übergangs abgesaugt.

U_{BE} steuert die Elektronenkonzentration am BE-Interface gemäß $n_p = \left(\frac{n_i^2}{N_{A,B}}\right) \exp(U_{BE}/U_T)$,

und somit den Kollektorstrom I_C . ($N_{A,B}$: Akzeptorkonzentration in der Basis). Andererseits werden natürlich auch $p_n = \left(\frac{n_i^2}{N_{D,E}}\right) \exp(U_{BE}/U_T)$ ($N_{D,E}$: Donatorkonzentration im Emitter)

Minoritätslöcher von der Basis in den Emitter injiziert, welche zum Emitterkontakt diffundieren und den Basisstrom I_B verursachen. Da W_B und W_E in der Regel viel kürzer als

die Diffusionslängen L_n bzw. L_p gewählt werden, ergibt sich sowohl in der Basis, als auch im Emittor das für die kurze Diode charakteristische "Diffusionsdreieck" (siehe Abbildung). Die Überschusskonzentration am BC-Interface bzw. am Emittorkontakt sei ≈ 0 .

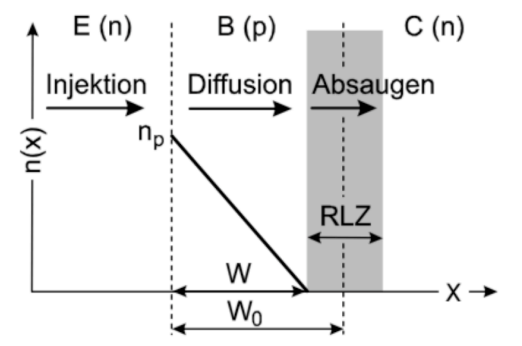
(a) Berechnen Sie aus den Diffusionsdreiecken I_C bzw. I_B , und damit schließlich die Stromverstärkung des Bipolartransistors $B = I_C / I_B$ (ohne Rekombination).

(b) Elektronen gehen auf ihrem Weg vom Emittor zum Kollektor in der Basis durch Rekombination verloren. Sie tragen damit zu I_B , nicht aber zu I_C bei, weil die durch Rekombination verlorenen Löcher vom Basisstrom nachgeliefert werden müssen. Dieser Rekombinationsstrom beträgt $I_{rec} = |Q_S| / \tau_n \cdot Q_S$ ist die gesamte Elektronenüberschussladung in der Basis, τ_n bezeichnet die Rekombinationszeit. Zeigen Sie, dass man unter Berücksichtigung dieses Rekombinationsstromes folgenden Ausdruck für die Stromverstärkung erhält:

$$B = \left(\frac{D_p W_B N_{A,B}}{D_n W_E N_{D,E}} + \frac{1}{2} \frac{W_B^2}{\tau_n D_n} \right)^{-1}$$

Wie ist ein npn-Bipolartransistor zu dimensionieren, damit seine Stromverstärkung möglichst groß wird ?

Beispiel 39 (Early-Effekt):



Beim aktiven Betrieb eines npn-Bipolartransistors steuert die kleine Basis-Emitterspannung U_{BE} die Elektronenkonzentration np am BE-Interface

gemäß $n_p = \left(\frac{n_i^2}{N_{A,B}} \right) \exp(U_{BE} / U_T)$ und somit den

Kollektorstrom I_C . Eine schwache Abhängigkeit des Kollektorstroms von U_{CB} wird durch den sog. **Early-Effekt** verursacht: Eine höhere Sperrspannung U_{CB} bewirkt eine wachsende RLZ zwischen C und B. Die effektive Basisdicke W wird kleiner, das Diffusionsdreieck steiler und I_C größer.

Gegeben: Silizium npn-Transistor; Basisdicke (bei $U_{CB} = 0$): $W_0 = 1 \mu\text{m}$; Dotierungen: $N_{D,E} = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, $N_{A,B} = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $N_{D,C} = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$; Querschnittsfläche: $A = 100 \mu\text{m}^2$; $T = 300 \text{ K}$. Hinweis: Berechnen Sie den Diffusionskoeffizienten D_n aus der Beweglichkeit ($\mu = 800 \text{ cm}^2 / (\text{Vs})$).

- (a) Berechnen Sie den Earlyleitwert $g_3 = |dI_C / dU_{CB}|$ bei $U_{BE} = 0.9 \text{ V}$ und $U_{CB} = 3 \text{ V}$.
- (b) Bei sehr großem U_{CB} frisst die RLZ die gesamte Basis auf: Dieser **Punch-through-Effect** stellt eine Grenze für U_{CB} dar. Bei welcher CB-Sperrspannung tritt er auf ?

Beispiel 40 (Bandstruktur von Halbleiterhetero-Übergängen)

Konstruieren Sie für die beiden Halbleiter GaAs ($E_G = 1.42 \text{ eV}$, Elektronenaffinität $\chi = 4.08 \text{ eV}$) und ZnSe ($E_G = 2.67 \text{ eV}$, Elektronenaffinität $\chi = 4.08 \text{ eV}$) die Bandschemata der Übergänge: n-GaAs/n-ZnSe, p-GaAs/p-ZnSe, p-GaAs/n-ZnSe und n-GaAs/p-ZnSe. Die Fermienergie der dotierten Halbleiter soll dabei jeweils 0.4 eV von der jeweiligen Bandkante entfernt liegen.