

elementare Formeln für Halbleiterbauelemente, TU-Berlin

$n_0 = \frac{2}{V} \int_{\text{Leitungsband}} f(W) D_{LB}(W) dW$	Elektronen im Leitungsband (Grundformel)
$f_F(W) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{W - W_F}{k_B T}\right)}$	Fermi-Dirac-Verteilungsfunktion
$f_B(W) = \frac{1}{\exp\left(\frac{W - W_F}{k_B T}\right)}$	Boltzmann-Verteilungsfunktion
$n = N_L \cdot f_B(W) = N_L \exp\left(-\frac{W_L - W_F}{k_B T}\right)$ $p = N_V \cdot [1 - f_B(W)] = N_V \exp\left(-\frac{W_F - W_V}{k_B T}\right)$	Vereinfachte Anzahl der Elektronen und Löcher als $f(W_F)$
$n_i^2 = n \cdot p$	Massenwirkungsgesetz
$p + N_D^+ = n + N_A^-$	Neutralitätsbedingung im Halbleiter
$\vec{J}_n = e \cdot n \cdot \mu_n \cdot \vec{E} + e \cdot D_n \cdot \text{grad}(n)$ $\vec{J}_p = e \cdot p \cdot \mu_p \cdot \vec{E} - e \cdot D_p \cdot \text{grad}(p)$ $\sigma = ne\mu_n + pe\mu_p$	Stromdichtegleichungen der Elektronen und Löcher (Summe aus Feld- und Diffusionsstrom) spezifischer Leitwert für Halbleiter (aus Feldstrom und ohmschem Gesetz)

elementare Formeln für Halbleiterbauelemente, TU-Berlin

$\frac{\partial n}{\partial t} = +\frac{1}{e} \cdot \text{div} \vec{j}_n - (r - g)$ $\frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{1}{e} \cdot \text{div} \vec{j}_p - (r - g)$	Bilanzgleichung für Elektronen und Löcher
$R = \frac{n - n_0}{\tau_n} = \frac{\Delta n}{\tau_n}$ $R = \frac{p - p_0}{\tau_p} = \frac{\Delta p}{\tau_p}$	Rekombinationsüberschussrate für Elektronen und Löcher (mit $R = (r - g)$ und $r \gg g$)
$n_p(-w_p) = n_{p0} e^{\frac{U}{U_T}}$ $p_n(w_n) = p_{n0} e^{\frac{U}{U_T}}$	Boltzmannfaktor: Minoritätsladungsträgerkonzentration am RLZ-Rand ($-w_p$) / auf der p-Seite RLZ-Rand (w_n) / auf der n-Seite
$J_{ges} = J_0 \cdot \left(e^{\frac{U}{U_T}} - 1 \right)$	Diodenkennlinie nach Shockley als Stromdichte
$J_0 = \left(\frac{eD_p p_{n0}}{L_p} + \frac{eD_n n_{p0}}{L_n} \right)$	Dunkel- / Sperrstromdichte
$J_{ges} = J_0 \cdot \left(e^{\frac{U}{U_T}} - 1 \right) - J_{ph}$	Stromdichte eines beleuchteten pn-Übergangs mit Photoströmweite J_{ph}
$I_D = \mu_n \cdot C_{OX} \frac{W}{L} \left[(U_{GS} - U_{TH}) \cdot U_{DS} - \frac{1}{2} U_{DS}^2 \right]$	Kennliniengleichung eines MOSFETs im parabolischen Bereich (zusammen mit dem linearen Bereich auch Triodenbereich genannt)

ergänzende Formeln für Halbleiterbauelemente, TU-Berlin

Hinweis: Es wird empfohlen, mindestens die elementaren Formeln zu kennen und zu verstehen.

$N_D^+ = N_D \cdot f_F(W) = N_D \cdot \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{W_F - W_D}{k_B T}\right)}$	Anz. der ionisierten Donatoren (n-Dotierung)
$N_A^- = N_A \cdot [1 - f_F(W)] = N_A \cdot \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{W_A - W_F}{k_B T}\right)}$	Anz. der ionisierten Akzeptoren (p-Dotierung)
$\vec{J}_{Feld,n} = -e \cdot n \cdot \vec{v}_n = e \cdot n \cdot \mu_n \cdot \vec{E}$ $\vec{J}_{Feld,p} = e \cdot p \cdot \vec{v}_p = e \cdot p \cdot \mu_p \cdot \vec{E}$	Drift- oder Feldstromdichte für Elektronen und Löcher
$\vec{J}_{Diff,n} = -e \cdot D_n \cdot [-grad(n)]$ $\vec{J}_{Diff,p} = e \cdot D_p \cdot [-grad(p)]$	Diffusionsstromdichte für Elektronen und Löcher
$I_{ges} = I_0 \cdot \left(e^{\frac{U}{U_T}} - 1 \right)$	Diodenkennlinie nach Shockley mit Strom
$I = J \cdot A$	Umrechnung Strom und Stromdichte mit Querschnittsfläche A [cm²]
$w = w_n + w_p = \sqrt{\frac{2\epsilon_0\epsilon_r}{e} \cdot \left(\frac{N_A + N_D}{N_A \cdot N_D} \right) \cdot (U_D - U)}$	Raumladungszonenweite (RLZ-Weite) mit außen angelegter Spannung U
$Q = \underbrace{A \cdot e \cdot N_A \cdot w_p}_{p-HL} = \underbrace{A \cdot e \cdot N_D \cdot w_n}_{n-HL}$	Ladung in der RLZ, es gilt $Q_p = Q_n$

ergänzende Formeln für Halbleiterbauelemente, TU-Berlin

$\frac{Q_S}{n-HL} = A \cdot e \cdot N_D \cdot \sqrt{\frac{2\epsilon_0\epsilon_r}{e} \cdot \frac{N_A}{N_D} \cdot \frac{1}{N_A + N_D}} \cdot \sqrt{U_D - U}$	RLZ-Ladung auf der n-Seite als Funktion der Spannung
$C_S = A \cdot \sqrt{\frac{e\epsilon_0\epsilon_r}{2}} \cdot \sqrt{\frac{N_A N_D}{N_A + N_D}} \cdot \sqrt{(U_D - U)^{-1}}$	Raumladungszonen- / Sperrschichtkapazität
$C_S \approx A \cdot \sqrt{\frac{e\epsilon_0\epsilon_r}{2}} \cdot \sqrt{N_D} \cdot \sqrt{(U_D - U)^{-1}}$	Vereinfachung der Raumladungszonenkapazität für eine p ⁺ n Diode
$C_D = A \cdot \frac{e \cdot n_i^2}{U_T} \left(\frac{L_p}{N_D} + \frac{L_n}{N_A} \right) \exp\left(\frac{U}{U_T}\right)$	Diffusionskapazität
$FF = \frac{P_{max}}{U_L \cdot I_K} = \frac{U_{MPP} \cdot I_{MPP}}{U_L \cdot I_K}$	Füllfaktor einer Solarzelle
$\eta = \frac{U_{MPP} \cdot I_{MPP}}{A \cdot E} = \frac{I_{MPP}^2 \cdot R_{L,opt}}{A \cdot E}$	Wirkungsgrad einer Solarzelle
$C_{OX} = \frac{\epsilon_0\epsilon_r \cdot L_G \cdot W}{t_{OX}}$	Oxidkapazität eines MOSFETs
$k = \frac{\mu_n \cdot C_{OX} \cdot W}{2 \cdot L}$	konstanter Vorfaktor der Kennliniengleichung eines MOSFETs („1/2“ wegen besserer Darstellung der Kennlinienformel insbesondere in Pinch-Off und Sättigung)