## Bauelemente I – Formelsammlung



### Ladungstransport im HL:

Spezifischer Widerstand $\boxed{\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{q(p\mu_p + n\mu_n)} = \frac{RA}{l}}$ $[\Omega cm]$

Stromdichte $\boxed{J = \frac{I}{A} = \sigma E = \sigma \frac{U}{l}}$

Im Eigenleitungfall (=intrinsisch) gilt. $\boxed{n_0 = p_0 = n_i}$

Bei Störstellenleitung (=extrinsisch): $\boxed{n_0 p_0 = n_i^2}$

Intrinsische Ladungsträgerkonz.: $\boxed{n_i = \sqrt{N_C N_V} e^{\left\{-\frac{E_g}{2kT}\right\}}}$

Intrinsiches Fermi- Niveau: $\boxed{E_{Fi} = \frac{E_C + E_V}{2} + \frac{1}{2} kT \ln\left\{\frac{N_V}{N_C}\right\}}$

Extrinsisches Fermi- Niveau $\boxed{E_F = E_{Fi} + kT \ln\left\{\frac{n_0}{n_i}\right\} = E_{Fi} - kT \ln\left\{\frac{p_0}{n_i}\right\}}$

### Injektion zusätzlicher Ladungsträger

→ Nichtgleichgewicht: $\boxed{(n_0 + \Delta n)(p_0 + \Delta p) \neq n_i^2}$

Bei Beleuchtung ( $hf \geq E_g$ ): $\boxed{\Delta n = \Delta p}$

Minoritätsladungträgerdauer (bei n-dot.): $\boxed{\tau_r = \frac{1}{r n_0}}$

→ $\boxed{\Delta p(t) = p(0) \cdot e^{\left(-t/t_r\right)}}$

### Ladungsträgerdiffusion: (wenn örtliche Konzentrationsdifferenzen)

Diffusionsstromdichte: $\boxed{J_p = -qD_p \frac{\partial \Delta p}{\partial x}}$ bzw. $\boxed{J_n = qD_n \frac{\partial \Delta p}{\partial x}}$

Mit Diffusionskoeffizient $\boxed{D_{p/n} = \frac{kT}{q} \mu_{p/n} = U_T \mu_{p/n}}$

→ $\boxed{\Delta p(x) = p(0) \cdot e^{\left(-\frac{x}{L_p}\right)} \approx p(0)\left(1 - \frac{x}{L_p}\right)}$ (Diffusionsdreieck)

**Dioden:**

Diffusionsspannung: $$\boxed{U_{Diff} = \frac{kT}{q}\ln\left\{\frac{N_A N_D}{n_i^2}\right\}}$$

Konzentration der Minoritätsladungsträger (der Löcher im p- HL): $$\boxed{n_{p,o} = \frac{n_i^2}{N_A}}$$

Konzentration der Minoritätsladungsträger (der Elektronen im n- HL): $$\boxed{p_{n,o} = \frac{n_i^2}{N_D}}$$

Sperrschichtweite im n- HL: $$\boxed{x_n = \sqrt{\frac{2\varepsilon_o\varepsilon_{HL}\left(U_{Diff} - U\right)}{q}\frac{N_A}{N_D}\frac{1}{N_A + N_D}}}$$

Sperrschichtweite im p- HL: $$\boxed{x_p = \sqrt{\frac{2\varepsilon_o\varepsilon_{HL}\left(U_{Diff} - U\right)}{q}\frac{N_D}{N_A}\frac{1}{N_A + N_D}}}$$

Weite der Raumladungszone: $$\boxed{w_{RLZ} = \sqrt{\frac{2\varepsilon_o\varepsilon_{HL}\left(U_{Diff} - U\right)}{q}\left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D}\right)}}$$

Sperrschichtkapazität: $$\boxed{C_S = \frac{\varepsilon_0\varepsilon_{HL}}{w_{RLZ}}A}$$

**npn - Mikrowellentransistoren:**

Kollektorstrom: $$\boxed{I_C = \frac{D_{n,B}}{Q_B}qAn_i^2 e^{\left\{\frac{qU_{BE}}{kT}\right\}}}$$

Emitterstrom: $$\boxed{I_E = \left(\frac{D_{n,B}}{Q_B} + \frac{D_{p,E}}{Q_{E,eff}}\right)qAn_i^2 e^{\left\{\frac{qU_{BE}}{kT}\right\}}}$$

Basisstrom: $$\boxed{I_B = \frac{D_{p,E}}{Q_{E,eff}}qAn_i^2 e^{\left\{\frac{qU_{BE}}{kT}\right\}}}$$

Mit den Gummelzahlen: $$\boxed{Q_{C.eff} = N_{D,C}L_{p,C}}$$

$$\boxed{Q_{E.eff} = N_{D,E}L_{p,E}}$$

$$\boxed{Q_B = N_{A,B}d_B}$$

Hilfreich: $n_{p,o} = \frac{n_i^2}{N_A}$ und $p_{n,o} = \frac{n_i^2}{N_D}$

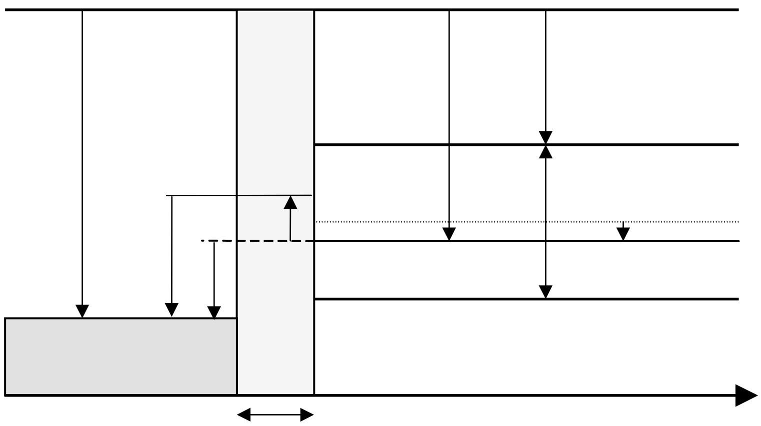
Laufzeit der Ladungsträger $$\boxed{\tau_{EC} \approx \tau_E + \tau_B = \frac{kT}{qI_E}C_E + \frac{d_B^2}{2D_{n,B}}}$$

Transitfrequenz: $\boxed{f_T = \frac{1}{2\pi\tau_{EC}}}$

Speicherladung: $\boxed{Q_{B,S} = -I_C\tau_B = -\frac{I_C d_B^2}{2D_{n,B}} = -\frac{1}{2} qAd_B n_{B,0} e^{\left\{\frac{qU_{BE}}{kT}\right\}}}$

**MOS – Strukturen**

Bändermodell für Flachbandfall mit Spannungsabfall $U_{ox}$ am Isolator



Flachbandspannung: $\boxed{U_{FB} = \Phi_{MHL} + U_{OX}}$

mit $\boxed{U_{OX} = -\frac{Q_{OX}}{C_{OX}}}$ Spannungsabfall an der Isolatorschicht

$\boxed{C_{OX} = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0}{x_{OX}}}$ flächenspezifische Isolatorkapazität

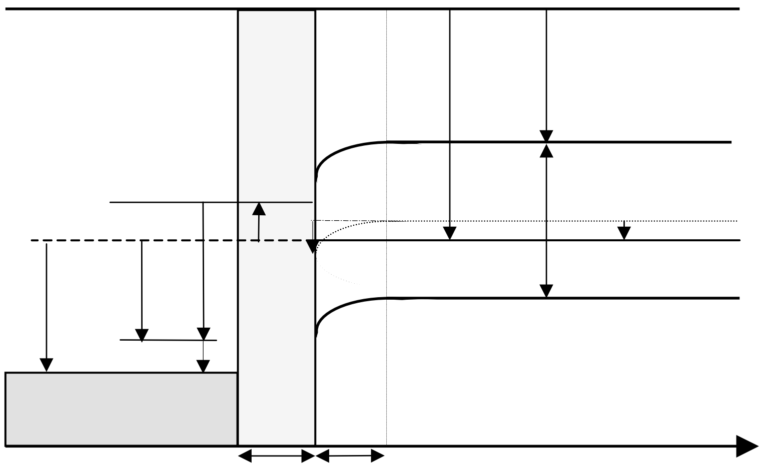
$\boxed{\Phi_{MHL} = \Phi_M - \Phi_{HL}}$ Differenz der Austrittsarbeiten

$$\boxed{\Phi_{HL} = \chi_{HL} + \frac{E_g}{2q} + \Phi_B}$$

$$\boxed{\Phi_B = \frac{kT}{q} \ln\left\{\frac{N_A}{n_i}\right\} = \frac{kT}{q} \ln\left\{\frac{n_i}{N_D}\right\}}$$

Da keine Bandverbiegung vorliegt ➔ $\Phi_S = 0$ ➔ $w_{RLZ} = 0$

**Bändermodell bei angelegter Spannung $U_G \neq U_{FB}$**



Einsatzspannung: $\boxed{U_T = U_{FB} + 2\Phi_B - \frac{Q_{HL}}{C_{OX}}}$ (= die Spannung, bei der starke Inversion eintritt)

Flachbandspannung: $\boxed{U_{FB} = \Phi_{MHL} + U_{OX}}$

Angelegte Spannung: $\boxed{U_G = \Phi_{MHL} + U_{OX} + \Phi_S}$

Bandverbiebung: $\boxed{\Phi_S = U_G - U_{FB} = \frac{kT}{q} \ln\left\{\frac{n(0)}{n_0}\right\} = \frac{kT}{q} \ln\left\{\frac{p_0}{p(0)}\right\}}$

RLZ- Ladung: $\boxed{Q_{HL,n} = qN_D w_{RLZ} = \sqrt{2\varepsilon_o \varepsilon_{HL} qN_D |2\Phi_B - U_B|}}$ $\left[\frac{As}{m^2}\right]$ für n - HL- Substrat

$\boxed{Q_{HL,p} = -qN_A w_{RLZ} = -\sqrt{2\varepsilon_o \varepsilon_{HL} qN_A |2\Phi_B - U_B|}}$ $\left[\frac{As}{m^2}\right]$ für p - HL- Substrat

Weite der RLZ: $\boxed{w_{RLZ} = \sqrt{\frac{2\varepsilon_o \varepsilon_{HL}}{qN} |\Phi_S|}}$

max. Weite der RLZ: $\boxed{w_{RLZ,max} = \sqrt{\frac{4\varepsilon_o \varepsilon_{HL}}{qN} |\Phi_B|}}$

Im thermischen Gleichgewicht d.h. $U_G = 0$ ist das Ferminiveau $E_F$ über die Struktur konst.

**Naturkonstanten:**

Bolzmannkonstante: $\boxed{k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}}$ $\left[\frac{J}{K} = \frac{VAs}{K}\right]$

Elektrische Feldkonstante: $\boxed{\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}}$ $\left[\frac{F}{m} = \frac{As}{Vm}\right]$

Plankkonstante $\boxed{h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}}$ $\left[Js = VAs^2\right]$

**SI- Einheiten:**

1 Farad $\boxed{F = \frac{As}{V} = \frac{C}{V}}$

1 Henry $\boxed{H = \frac{Vs}{A}}$