

Formelsammlung - Halbleiter und Nanotechnologie, Prof. Förster

Christoph Hansen

chris@university-material.de

Dieser Text ist unter dieser [Creative Commons](#) Lizenz veröffentlicht.

Ich erhebe keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder Richtigkeit. Falls ihr Fehler findet oder etwas fehlt, dann meldet euch bitte über den Emailkontakt.

Inhaltsverzeichnis

Aus Übung 5	2
Aus Übung 6	2
Aus Übung 7	3
Aus Übung 8	4
Aus Übung 9	4
Transistoren	5
Konstanten	6

Ich habe keine Formeln aus vorigen Übungen inkludiert, da diese recht gut im Skript zusammengefasst sind.

Aus Übung 5

Zustandsdichten im k-Raum:

$$D(k) dk = \frac{\pi k^2}{\pi^3} dk$$

Zustandsdichte im Energieraum:

$$D(E) dE = \frac{4\pi \cdot (2m)^{3/2} \cdot \sqrt{E}}{h^3}$$

Dichte der Zustände:

$$n = \int D(E) dE$$

Wahrscheinlichkeit eines besetzten Elektronenzustandes

$$f_h(E) = \frac{1}{1 + e^{\frac{E-E_F}{kT}}}$$

Aus Übung 6

Zustandsdichte

$$D(E) = \frac{dN}{dE} = \frac{1}{2\pi^2} \cdot \left(\frac{2m}{\hbar^2}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{E} \cdot V$$

Elektronendichte

$$n = \frac{N}{V}$$

Fermienergie

$$E_F = \left(3\pi^2\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{\hbar^2}{2m} \cdot n^{\frac{2}{3}} = \frac{E_C - E_V}{2} + \frac{3kT}{4} \cdot \ln\left(\frac{m_h^*}{m_e^*}\right) \quad \text{im Skript mit +}$$

Fermitemperatur

$$T_F = \frac{E_F}{k}$$

Innere Energie von Fermigas

$$U = \frac{3}{5} \cdot N \cdot E_F$$

Teilchendruck

$$P = \frac{\partial U}{\partial V} = \frac{2}{5} \cdot n \cdot E_F$$

Zustandsdichte der Elektronen

$$N_C = 2 \cdot \left(\frac{kT}{2\pi\hbar} \right)^{3/2} \cdot m_e^*{}^{3/2}$$

Zustandsdichte der Löcher

$$N_V = 2 \cdot \left(\frac{kT}{2\pi\hbar} \right)^{3/2} \cdot m_h^*{}^{3/2}$$

Teilchenenergie (masseabhängig)

$$E = \frac{\hbar^2 \cdot k^2}{2m^*}$$

Aus Übung 7

Besetzungsdichte bei einem dotierten Halbleiter

$$n_d = N_d \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{2} e^{\frac{E-E_F}{kT}}}$$

Zustandsdichte N_c

$$N_c = 2 \cdot \left(\frac{2\pi \cdot m^* \cdot kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}}$$

die Elektronenkonzentration dazu ist dann

$$n = N_c \cdot e^{-\frac{E_c - E_F}{kT}}$$

Raumladungsweite bei einem Schottky-Kontakt

$$w = \sqrt{\frac{2 \cdot \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot (V_{bi} + V_R)}{e \cdot N_d}}$$

Dabei ist V_R die Gatespannung mit - am Gate

Die Kapazität

$$C' = \frac{C}{A} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{w} = \sqrt{\frac{e \cdot N_d \cdot \epsilon_0 \epsilon_r}{(V_{bi} + V_R)^2}}$$

Aus Übung 8

Sättigungsstromdichte:

$$j_s = A \cdot T^2 \cdot e^{-e \cdot \frac{\phi_{SB} - \Delta\phi}{kT}}$$

Widerstand:

$$R = \frac{l\phi}{A} = \frac{l}{n \cdot e \cdot \mu \cdot A}$$

Der y-Achsen Abschnitt bei einer Transmissionslinie ist $2R_C$. Es gilt weiter:

$$l_0 = 2 \cdot \frac{R_s}{r_s} \cdot l_T \approx 2 \cdot l_T$$

effektive Kontaktfläche:

$$A_{eff} = A \cdot l_T$$

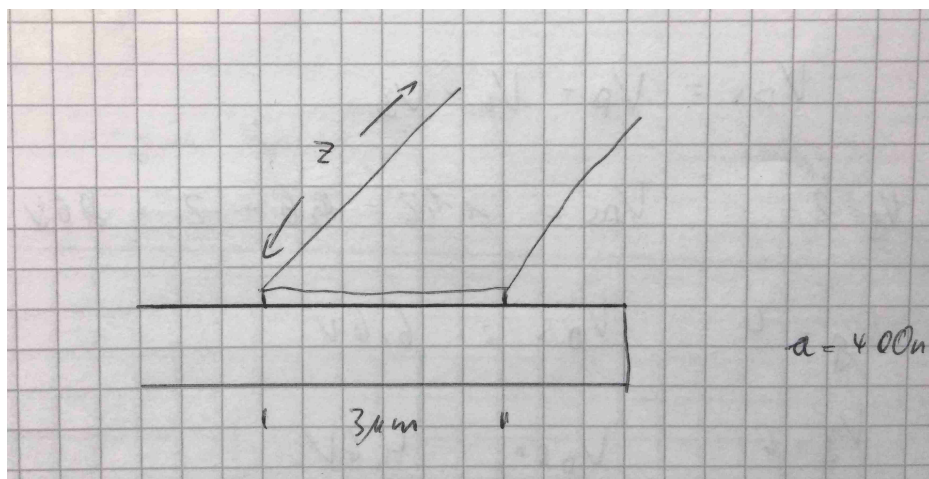
spezifischer Kontakwiderstand:

$$\rho_e = R_c \cdot A$$

Schottky Barriere

$$\phi_{SB} = V_{bi} + \phi_n$$

Aus Übung 9



Pinch-Off Spannung

$$V_P = \frac{a^2 \cdot e \cdot N_d}{2 \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}$$

Pinch-Off Strom

$$I_P = \frac{z \cdot \mu \cdot q^2 \cdot N_d^2 \cdot a^3}{6 \cdot \epsilon_0 \epsilon_r \cdot L}$$

Sättigungsstrom

$$I_S = I_P \cdot \left[\frac{3 \cdot (V_P - V_g - V_{bi})}{V_P} - \frac{2 \cdot (V_P^{3/2} - (V_g + V_{bi})^{3/2})}{V_P^{3/2}} \right]$$

Drain-Spannung

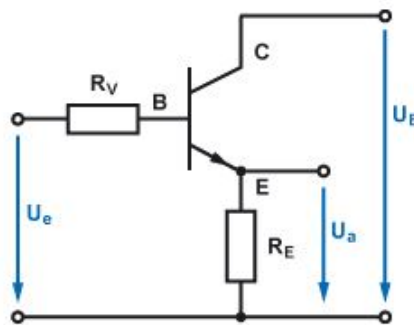
$$V_{DS} = V_P - V_{bi} - V_g$$

Steilheit

$$g_m = I_P \cdot \left[\frac{-3}{V_P} + \frac{3 \cdot \sqrt{V_g + V_{bi}}}{V_P^{3/2}} \right]$$

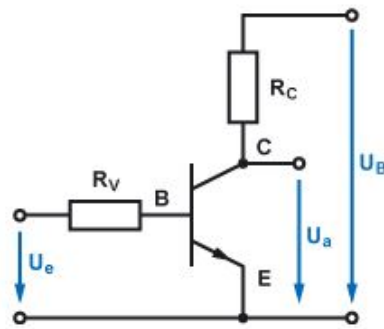
Transistoren

Kollektorschaltung



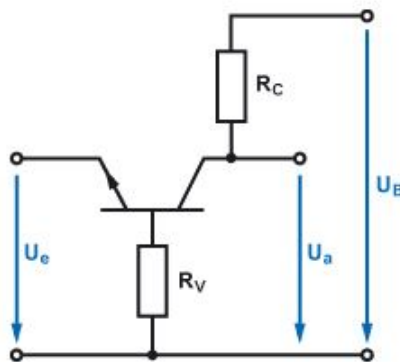
Spannungsverstärkung kleiner 1, aber sehr hohe Stromverstärkung

Emitterschaltung



kleine Stromverstärkung, aber hohe Spannungsverstärkung (keine hohe Frequenzen)

Basisschaltung



kann bei hohen Frequenzen als Spannungs- und Leistungsverstärker eingesetzt werden.

MOSFET/MESFET

Der MESFET hat im Gegensatz zum MOSFET einen Metall-Halbleiter Kontakt (Schotky-Kontakt). Dadurch sind bei gleichen Abmessungen höhere Ströme als auch Frequenzen möglich.

Konstanten

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ V}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol K}$$

$$m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \quad \hbar = \frac{h}{2\pi}$$