

# Halvlederkomponenter

## Formelsamling

Formlene gjelder under visse forutsetninger.

Noen formler er gitt for hull (elektroner) og tilsvarende formel gjelder for elektroner (hull) med muligens skiftet fortegn.

Avogadros tall	$A_0 = 6.02 \times 10^{23}$ molekyler/mol
Boltzmann's konstant	$k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K $= 8.62 \times 10^{-5}$ eV/K
Elektronenes ladning	$q = 1.60 \times 10^{-19}$ C
Elektronenes hvilemasse	$m_0 = 9.11 \times 10^{-31}$ kg
Dielektrisitetskonstant i vakuum	$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-14}$ F/cm
Planck's konstant	$h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js $= 4.14 \times 10^{-15}$ eVs
Termisk energi	$kT = 0.0259$ eV ved 300 K
Lysets hastighet i vakuum	$c = 2.998 \times 10^{10}$ cm/s
Richardson's konstant	$A^* = 120$ A/K <sup>2</sup> cm <sup>2</sup>
1 Å	= $10^{-8}$ cm
1 eV	= $1.6 \times 10^{-19}$ J
$\lambda$	= 1 $\mu$ m tilsvare 1.24 eV i fotonenergi

	Si	Ge	GaAs
$E_g$ (eV) ved 300 K	1.11	0.67	1.43
$n_i$ (cm <sup>-3</sup> ) ved 300 K	$1.5 \times 10^{10}$	$2.5 \times 10^{13}$	$2 \times 10^6$
Atomtetthet (cm <sup>-3</sup> )	$5 \times 10^{22}$	$4 \times 10^{22}$	$2 \times 10^{22}$
Tetthet (g/cm <sup>3</sup> )	2.33	5.32	5.31
$\epsilon_r$	11.8	16.0	13.2
$\mu_n$ (cm <sup>2</sup> /Vs)	1350	3900	8500
$\mu_p$ (cm <sup>2</sup> /Vs)	480	1900	400
Intrinsisk $\rho$ ved 300 K ( $\Omega$ cm)	$2.5 \times 10^5$	43	$4 \times 10^8$
$m_n^*$	$1.1 m_0$	$0.55 m_0$	$0.067 m_0$
$m_p^*$	$0.56 m_0$	$0.37 m_0$	$0.48 m_0$
Smeltepunkt ( $^{\circ}$ C)	1415	936	1238

## Kap. 3 og 4

Fermi-Dirac's fordelingsfunksjon	$f(E) = \frac{1}{1 + e^{(E-E_F)/kT}}$
Elektron- og hullkonsentrasjoner	$n_0 = N_C e^{-(E_c - E_F)/kT} = n_i e^{(E_F - E_i)/kT}$ $p_0 = N_V e^{-(E_F - E_V)/kT} = n_i e^{-(E_F - E_i)/kT}$
Effektiv tilstandstetthet i valensbåndet	$N_V = 2 \left( \frac{2\pi m_p^* kT}{h^2} \right)^{3/2}$
Intrinsisk ladningsbærerkonsentrasjon	$n_i = 2 \left( \frac{2\pi kT}{h^2} \right)^{3/2} (m_n^* m_p^*)^{3/4} e^{-E_g/2kT}$
Massevirkningsloven	$n_0 p_0 = n_i^2$
Ladningsnøytralitet	$p_0 + N_d^+ = n_0 + N_a^-$
Konduktivitet	$\sigma = q(n\mu_n + p\mu_p)$
Einsteins relasjon	$\frac{D}{\mu} = \frac{kT}{q}$
$\delta n$ er avvik fra likevektkonsentrasjon	$n = n_0 + \delta n$
Strømtetthet	$J_n(x) = q\mu_n n(x)E(x) + qD_n \frac{dn(x)}{dx}$ $J_p(x) = q\mu_p p(x)E(x) - qD_p \frac{dp(x)}{dx}$
Nettogenerasjon	$\frac{dn(t)}{dt} = \alpha_r n_i^2 - \alpha_r n(t)p(t)$
Kontinuitetsligning for hull	$\frac{\partial p(x,t)}{\partial t} = \frac{\partial \delta p}{\partial t} = -\frac{1}{q} \frac{\partial J_p}{\partial x} - \frac{\delta p}{\tau_p}$
Diffusjonsligning for elektroner	$\frac{\partial \delta n}{\partial t} = D_n \frac{\partial^2 \delta n}{\partial x^2} - \frac{\delta n}{\tau_n}$
Diffusjonslengde for elektroner	$L_n = \sqrt{D_n \tau_n}$

## Kap.5 Overganger

Kontaktpotensial	$V_0 = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{N_a N_d}{n_i^2}\right)$
Potensialbarriere	$V_j = V_0 - V \quad (V \text{ er påtrykt spenning})$
Minoritetsbærerinjeksjon	$\Delta p_n = p(x_{n0}) - p_n = p_n (e^{qV/kT} - 1)$ $\Delta n_p = n(-x_{p0}) - n_p = n_p (e^{qV/kT} - 1)$
Poisson's ligning	$\frac{d^2 V_j}{dx^2} = -\frac{\rho}{\epsilon_r \epsilon_0}$
Deplesjonszone	$W = x_{p0} + x_{n0} = \sqrt{\frac{2\epsilon_r \epsilon_0 V_j}{q} \left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_d}\right)}$ $x_{p0} = \frac{W N_d}{N_a + N_d} = \sqrt{\frac{2\epsilon_r \epsilon_0 V_j}{q N_a (1 + N_a / N_d)}}$ $x_{n0} = \frac{W N_a}{N_a + N_d} = \sqrt{\frac{2\epsilon_r \epsilon_0 V_j}{q N_d (1 + N_d / N_a)}}$
Diodelikningen	$I = I_0 \left( e^{qV/\eta kT} - 1 \right)$ $I_0 = qA \left( \frac{D_p}{L_p} p_n + \frac{D_n}{L_n} n_p \right)$
Idealitetsfaktor	$1 \leq \eta \leq 2, \eta_{\text{ideal}} = 1$
Deplesjonskapasitans	$C_j = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{W}$
Schottkydiode	$I = I_0 \left( e^{qV/\eta kT} - 1 \right)$ $I_0 = AA^* T^2 e^{-q\Phi_B/kT}$

## Kap. 6 JFET

Pinch-off spenning  $V_p = \frac{qa^2 N_d}{2\epsilon_0 \epsilon_r}$  (n-kanal)

Strøm-spennings karakteristikk med kanalkonduktansen  $I_D = G_0 V_p \left[ \frac{V_D}{V_p} + \frac{2}{3} \left( -\frac{V_G}{V_p} \right)^{3/2} - \frac{2}{3} \left( \frac{V_D - V_G}{V_p} \right)^{3/2} \right]$   
 $G_0 \equiv 2aZ / \rho L$

## Kap. 6 MOSFET

Terskelspenning med  $V_T = \Phi_{ms} - \frac{Q_i}{C_i} - \frac{Q_d}{C_i} + 2\phi_F$   
 $\Phi_{ms} = \Phi_m - \Phi_s, C_i = \epsilon_i \epsilon_0 / d, \phi_F = (E_i - E_F) / q$

Maksimal deplesjonszone  $W_{maks} = 2 \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_r \phi_F}{q N_a}}$  (n - kanal)

Strøm-spennings karakteristikk  $I_D = \frac{\bar{\mu} Z C_i}{L} \left[ (V_G - V_T) V_D - \frac{1}{2} V_D^2 \right]$

## Kap. 7 Bipolartransistor (PNP)

Basetransportfaktor  $B = \frac{I_C}{I_{Ep}}$

Emitter effektivitet  $\gamma = \frac{I_{Ep}}{I_{En} + I_{Ep}}$

Strømtransportfaktor  $\alpha = B\gamma = \frac{I_C}{I_E}$

Strømførsterkningsfaktor  $\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$

Hullstrøm i emitter  $I_{Ep} = qA \frac{D_p}{L_p} \left[ \Delta p_E \coth \left( \frac{W_b}{L_p} \right) - \Delta p_C \csc h \left( \frac{W_b}{L_p} \right) \right]$

Kollektorstrøm  $I_C = qA \frac{D_p}{L_p} \left[ \Delta p_E \csc h \left( \frac{W_b}{L_p} \right) - \Delta p_C \coth \left( \frac{W_b}{L_p} \right) \right]$

Basestrøm

$$I_B = qA \frac{D_p}{L_p} \left[ (\Delta p_E + \Delta p_C) \tanh \left( \frac{W_b}{2L_p} \right) \right]$$

$$\operatorname{cthn} = \operatorname{coth} = \frac{1}{\tanh}; \operatorname{csch} = \frac{1}{\sinh}$$

$$\sinh(u) = \frac{1}{2}(e^u - e^{-u})$$

$$\cosh(u) = \frac{1}{2}(e^u + e^{-u})$$

$$\operatorname{coth}(y) = \frac{1}{y} + \frac{y}{3} + \frac{y^3}{45} + \dots$$

$$\operatorname{csch}(y) = \frac{1}{y} - \frac{y}{6} + \frac{7y^3}{360} - \dots$$

$$\operatorname{tanh}(y) = y - \frac{y^3}{3} + \dots$$

## Kap. 8 Fotodiode (solcelle,...)

Total strøm

$$I = I_0(e^{qV/kT} - 1) - I_{op}$$

hvor

$$I_{op} = qA g_{op} (L_p + L_n + W)$$

Spenning ved åpen krets

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{g_{op}}{g_{th}} \right)$$