

Leistungselektronik - Formelsammlung

S. Reinli L. Mazzoleni

Inhaltsverzeichnis

23. September 2016

1 Halbleiter	2
1.1 Kristallgitter	2
1.2 Dotierung	2
1.3 pn-Übergang	2
2 Idiotenseite	3
3 Glossar	5

1 Halbleiter

- **Metallische Leiter:** der Stromtransport wurde durch Elektronen erzeugt.
- **Isolatoren:** der Stromtransport wurde durch Isolatoren erzeugt.
- **Halbleiter:** die Leitfähigkeit liegt irgendwo zwischen Metallen und Isolatoren.

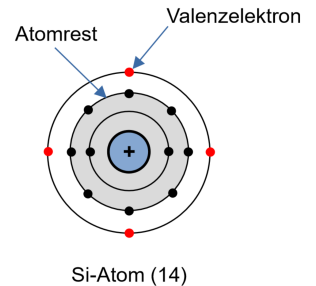
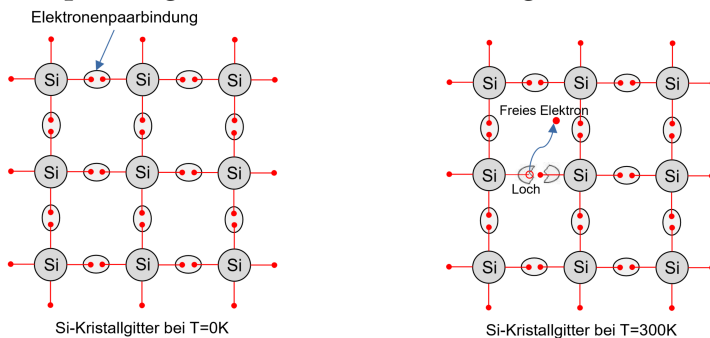
Die wichtigsten Halbleiter sind Si, Ge, CuO_2 und GaAs

- **Dotierte Halbleiter:** Durch kontrollierte Verunreinigung (Dotierung) der reinen Halbleiterwerkstoffe kann die Leitfähigkeit wesentlich verändert werden.

1.1 Kristallgitter

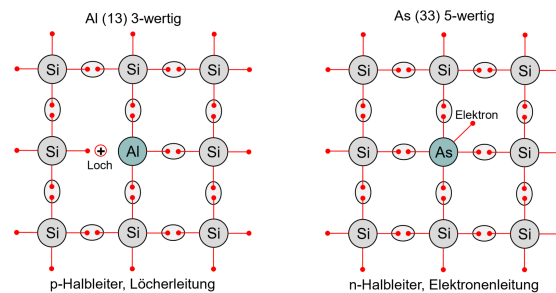
Durch die thermische Bewegung der Atome um ihre Ruhelage im Kristallgitter ist es möglich einige **Elektronenpaarbindungen** aufzubrechen.

Auf diese Weise ein gelöstes Elektron bewegt sich im Kristallgitter frei und hinterlässt eine **positiv geladene Lücke im Kristallgitter** (Defektelektron)



1.2 Dotierung

Durch eine Dotierung des Halbleitermaterials mit Fremdatomen ist es möglich die Ladungsträgerdichte effizient zu kontrollieren:



1.3 pn-Übergang

1.3.1 Diffusionsstrom

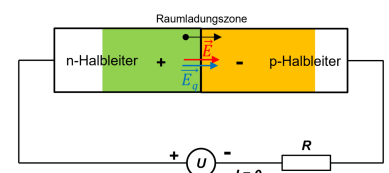
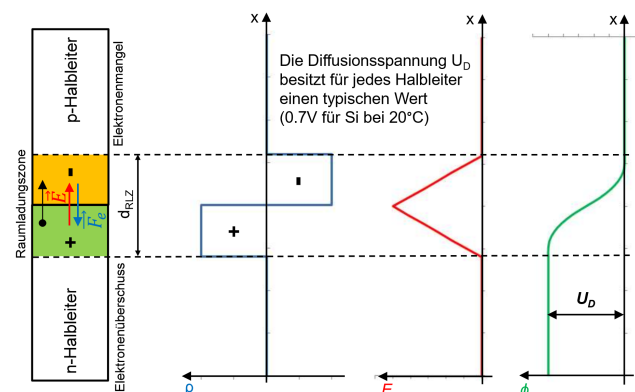
Der Diffusionsstrom wird durch den Ladungsträgeraustausch zwischen beiden Halbleitergebieten erzeugt und dadurch verschwinden in der Grenzschicht alle freien Ladungsträger.

Durch die Elektronenwanderung entsteht im n-Teil des Grenzgebiets die **ortsfeste** Positive Ladung(+). Die eindiffundierten Elektronen erzeugen im p-Teil des Grenzgebiets die **ortsfeste** negative Ladung (-). Die ortsfesten Ladungen erzeugen das elektrische Feld in der Raumladungszone und damit auch den Driftstrom.

Der Driftstrom ist gegen den Diffusionsstrom gerichtet. Sobald die Ströme gleich sind, ist eine stabile Raumladungszone etabliert.

1.3.2 pn-Übergang mit äusserer Spannung

Die Spannungsquelle ist an den pn-Übergang in **Sperrrichtung** geschaltet. Die Spannung U vergrößert die Breite der Raumladungszone. Der Strom kann nicht über den pn-Übergang fließen.



2 Idiotenseite

2.1 SI-Vorsätze

Symbol	Name	Wert	Binär	Symbol	Name	Wert
da	Deka	10^1		d	Dezi	10^{-1}
h	Hekto	10^2		c	Centi	10^{-2}
k	Kilo	10^3	$2^{10} = 1024$	m	Mili	10^{-3}
M	Mega	10^6	2^{20}	μ	Mikro	10^{-6}
G	Giga	10^9	2^{30}	n	Nano	10^{-9}
T	Tera	10^{12}	2^{40}	p	Piko	10^{-12}
P	Peta	10^{15}	2^{50}	f	Femto	10^{-15}

2.2 Dreiecksformeln

Cosinussatz

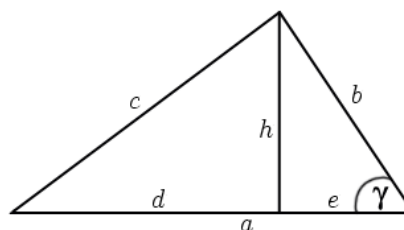
$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos \gamma$$

Sinussatz

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma} = 2r = \frac{u}{\pi}$$

Pythagoras beim Sinus

$$\sin^2(b) + \cos^2(b) = 1 \quad \tan(b) = \frac{\sin(b)}{\cos(b)}$$



$$\sin \beta = \frac{b}{a} = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}}$$

$$\cos \beta = \frac{c}{a} = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Hypotenuse}}$$

$$\tan \beta = \frac{c}{b} = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}}$$

$$\cot \beta = \frac{b}{c} = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Gegenkathete}}$$

2.3 Funktionswerte für Winkelargumente

deg	rad	sin	cos	tan	deg	rad	sin	cos	deg	rad	sin	cos	deg	rad	sin	cos
0	0	0	1	0	90	$\frac{\pi}{2}$	1	0	180	π	0	-1	270	$\frac{3\pi}{2}$	-1	0
30	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	120	$\frac{2\pi}{3}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$-\frac{1}{2}$	210	$\frac{7\pi}{6}$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	300	$\frac{5\pi}{3}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{2}$
45	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	1	135	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	225	$\frac{5\pi}{4}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	315	$\frac{7\pi}{4}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$
60	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\sqrt{3}$	150	$\frac{5\pi}{6}$	$\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	240	$\frac{4\pi}{3}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	$-\frac{1}{2}$	330	$\frac{11\pi}{6}$	$-\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$

2.4 Periodizität

$$\cos(a + k \cdot 2\pi) = \cos(a) \quad \sin(a + k \cdot 2\pi) = \sin(a) \quad (k \in \mathbb{Z})$$

2.5 Quadrantenbeziehungen

$$\sin(-a) = -\sin(a)$$

$$\sin(\pi - a) = \sin(a)$$

$$\sin(\pi + a) = -\sin(a)$$

$$\sin\left(\frac{\pi}{2} - a\right) = \sin\left(\frac{\pi}{2} + a\right) = \cos(a)$$

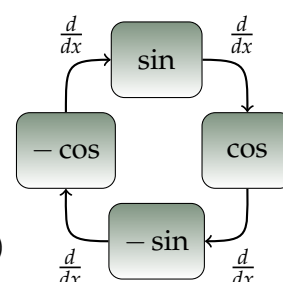
$$\cos(-a) = \cos(a)$$

$$\cos(\pi - a) = -\cos(a)$$

$$\cos(\pi + a) = -\cos(a)$$

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} - a\right) = -\cos\left(\frac{\pi}{2} + a\right) = \sin(a)$$

2.6 Ableitungen



2.7 Additionstheoreme

$$\sin(a \pm b) = \sin(a) \cdot \cos(b) \pm \cos(a) \cdot \sin(b)$$

$$\cos(a \pm b) = \cos(a) \cdot \cos(b) \mp \sin(a) \cdot \sin(b)$$

$$\tan(a \pm b) = \frac{\tan(a) \pm \tan(b)}{1 \mp \tan(a) \cdot \tan(b)}$$

2.8 Doppel- und Halbwinkel

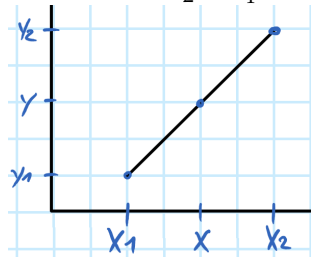
$$\sin(2a) = 2 \sin(a) \cos(a)$$

$$\cos(2a) = \cos^2(a) - \sin^2(a) = 2 \cos^2(a) - 1 = 1 - 2 \sin^2(a)$$

$$\cos^2\left(\frac{a}{2}\right) = \frac{1 + \cos(a)}{2} \quad \sin^2\left(\frac{a}{2}\right) = \frac{1 - \cos(a)}{2}$$

2.9 Geradengleichung Interpolieren

$$y(x) = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1)$$



2.10 Grad <-> Rad

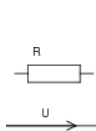
$$\alpha_{rad} = \alpha_{grad} \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$\alpha_{grad} = \alpha_{rad} \cdot \frac{180}{\pi}$$

2.11 Grundelemente

Ohmscher Widerstand R

u und i können sprunghaft ändern



$$u(t) = R \cdot i(t)$$

$$i(t) = \frac{u(t)}{R}$$

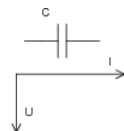
$$\underline{Z}_R = R$$

nicht linear:
 $R = R(u) = \frac{u}{i(u)}, r_D = \frac{dU}{dI} \big|_{U_0}$

$$P = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}$$

Kapazität C

u kann nicht sprunghaft ändern



$$u(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d\tau + u(0)$$

$$i(t) = C \frac{du(t)}{dt}$$

$$\underline{Z}_C = \frac{1}{j\omega C} = -\frac{j}{\omega C}$$

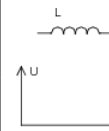
$$X_C = -\frac{1}{\omega C} \quad B_C = \omega C$$

$$Q_C = -U^2 \cdot \omega C = -\frac{P}{\omega C}$$

$$W_C = \frac{1}{2} C U_C^2$$

Induktivität L

i kann nicht sprunghaft ändern



$$u(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

$$i(t) = \frac{1}{L} \int_0^t u(\tau) d\tau + i(0)$$

$$\underline{Z}_L = j\omega L$$

$$X_L = \omega L \quad B_L = -\frac{1}{\omega L}$$

$$Q_L = I^2 \cdot \omega L = \frac{P}{\omega L}$$

$$W_L = \frac{1}{2} L I_L^2$$

2.12 Begriffe der Impedanz und Admittanz

Scheinwiderstand

$$Z = \frac{U_{eff}}{I_{eff}}$$

$$= \sqrt{R^2 + X^2}$$

Ohm

Komplexer Widerstand Impedanz

$$\underline{Z} = R + jX = Z \cdot e^{j\varphi}$$

$$= \frac{U}{I} = \frac{U \cdot U^*}{I \cdot I^*} = \frac{U^2}{I^2} = \frac{S}{I^2}$$

Ohm

Komplexer Leitwert Admittanz

$$\underline{Y} = G + jB = \frac{1}{\underline{Z}} = \frac{1}{Z} e^{-j\varphi}$$

$$= \frac{1}{\underline{Z}}$$

Siemens

Wirkwiderstand Resistanz

$$R = \operatorname{Re}(\underline{Z})$$

$$= Z \cdot \cos(\varphi)$$

Ohm

Wirkleitwert Konduktanz

$$G = \operatorname{Re}(\underline{Y})$$

$$\neq \frac{1}{R}$$

Siemens

Blindwiderstand Reaktanz

$$X = \operatorname{Im}(\underline{Z})$$

$$= Z \cdot \sin(\varphi)$$

Ohm

Blindleitwert Suszeptanz

$$B = \operatorname{Im}(\underline{Y})$$

$$\neq \frac{1}{X}$$

Siemens

Phasenverschiebung

$$\varphi = \varphi_u - \varphi_i = \arctan\left(\frac{\operatorname{Im}(\underline{Z})}{\operatorname{Re}(\underline{Z})}\right)$$

Radian

3 Glossar

GTO	Gate Turn-Off Thyristor
IGCT	Integrated Gate-Commutated Thyristor
BT	Bipolarer Transistor
MOS	Metal Oxide Semiconductor
IGBT	Insulated-Gate Bipolar Transistor