ETG
Zusammenfassung

''Die Electricität ist der reine Zweck der Gestalt, der sich
*v*on ihr befreit — die Gestalt, die ihre Gleichgültigkeit
*a*ufzuheben anfängt. Denn die Electricität ist das
*u*nmittelbare Hervortreten oder das noch von der Gestalt
*h*erkommende, noch durch sie bedingte Daseyn — oder noch
*n*icht die Auflösung der Gestalt selbst, sondern der
*o*berflächliche Prozeß , worin die Differenzen die
*G*estalt verlassen, aber sie zu ihrer Bedingung haben,
*u*nd noch nicht an ihnen selbständig sind.''
(G.F.W. Hegel, ca. 1830)

Günter Bartsch

17. Mai 1998

Inhaltsverzeichnis

0.0.1 Vorwort zur Version 0.5

Dieses Dokument stellt meinen Versuch dar, meine Erkenntnisse zu den Vorlesungen "Elektrotechnische Grundlagen I/II", die Prof. Baitinger im Sommersemester 1997 und im Wintersemester 1997/98 an der Universität Stuttgart gehalten hat, zusammenzufassen. Dank des TEX–Systems war es mir möglich, schnell und problemlos dieses Dokument zu erstellen — vielen Dank an D. E. Knuth, für dieses tolle Textsatzsystem!

Für die inhaltliche Vollständigkeit oder Korrektheit kann ich in keiner Weise garantieren. Konstruktiver Kritik stehe ich aber jederzeit offen gegenüber. Ich bin per email zu erreichen unter:

`bartscgr@trick.informatik.uni-stuttgart.de`

Günter Bartsch, im März 1998

0.0.2 Vorwort zur Version 0.6

Um die Veröffentlichung im WWW zu ermöglichen, habe ich das Dokument nach LATEX konvertiert, aus dem Source kann nun automatisch die HMTL-Version generiert werden.

Günter Bartsch, 17.03.1998

1 Passive Bauelemente

Im Folgendenden : Widerstände, Kondensatoren, Spulen, Dioden. Doch zunächst einige Grundbegriffe:

1.1 Grundbegriffe

1.1.1 Spannung, Strom, Leistung

Elektrische Spannung entsteht durch Trennung von Ladung. Sie ist definiert als Arbeit pro Ladungseinheit

$$U = \frac{W}{Q} \; [U] = V$$

el. Spannung
$U = \frac{W}{Q} \; [U] = V$

Elektrischer Strom ist der gerichtete Fluß von Ladungsträgern.

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{N \cdot e}{t} \; [I] = A$$

el. Strom
$I = \frac{Q}{t} = \frac{N \cdot e}{t} \; [I] = A$

Elektrische Leistung ist als elektrische Arbeit pro Zeit definiert:

$$P = \frac{W}{t} = U \cdot I$$

el. Leistung
$P = \frac{W}{t} = U \cdot I$

Im Wechselstromkreis betrachtet man die Winkelgeschwindigkeit

$$\omega = 2\pi f$$

Winkelgeschw.
$\omega = 2\pi f$

1.1.2 Elektrisches Feld

Für das elektrische Feld gilt:

$$E = \frac{U}{d} = \frac{F_{el}}{d}$$

elektr. Feld
$E = \frac{U}{d} = \frac{F_{el}}{d}$

1.2 Widerstände

$$R = \frac{U}{I} \; [R] = \Omega = \frac{V}{A}$$

Ohmsches Gesetz
$R = \frac{U}{I} \; [R] = \Omega = \frac{V}{A}$

An einem ohmschen Widerstand sind Spannung und Stromstärke in Phase. Werden nun mehrere Widerstände in Reihe geschaltet, so addieren sich deren Werte : $R_{ges} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots$. Schaltet man sie parallel, so ist ihr Gesamtwiderstand : $\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots$

1.2.1 spezifische Leitfähigkeit

Die spezifische Leitfähigkeit eines Materials ist

$$\sigma = n \cdot e \cdot \mu$$

spez. Leitfähigkeit
$\sigma = n \cdot e \cdot \mu$

dabei ist n die Dichte der Ladungsträger (z.B. Elektronen) und μ die Beweglichkeit der Ladungsträger im Kristallgitter.

1.2.2 spezifischer Widerstand

Der spezifische Widerstand ist der Kehrwert der elektrischen Leitfähigkeit und tritt als Proportionalitätsfaktor in der Formel zu Berechnung des Widerstandes eines elektrischen Leiters auf:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = R \cdot \frac{A_R}{L_R}$$

spez. Widerstand
$\rho = \frac{1}{\sigma} = R \cdot \frac{A_R}{L_R}$

1.3 Spulen

lange Spule
$L = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot \frac{A}{L}$
Henry
$[L] = H = \frac{Vs}{A}$
U an Spule
$U_L = L \cdot \frac{di}{dt}$
Blindwiderstand
$X_L = \omega \cdot L$

Spulen sind induktive Zweipole. Für eine lange Spule gilt:

$$L = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot \frac{A}{L}$$

wobei die Einheit Henry ist :

$$[L] = H = \frac{Vs}{A}$$

An der Spule eilt der Strom der Spannung nach, wobei gilt

$$U_L = L \cdot \frac{di}{dt}$$

Der Blindwiderstand einer Spule im Wechselstromkreis ist

$$X_L = \omega \cdot L$$

1.3.1 Reihen- und Parallelschaltung von Induktivitäten

Schaltet man mehrere Spulen in Reihe, so addieren sich deren Blindwiderstände und damit auch deren Induktivitäten. Dies entspricht dem Verhalten von ohmschen Widerständen; dasselbe gilt auch für die Parallelschaltung von Induktivitäten.

1.4 Kondensatoren

Plattenkond.
$C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot \frac{A}{D}$
Farad
$[C] = F = \frac{As}{V}$
Ladung in C
$Q = C \cdot U$
i an Kond.
$i_C = C \cdot \frac{du}{dt}$
Blindwiderstand
$X_C = \frac{1}{\omega C}$

Kondensatoren sind elektrische Kapazitäten. Für den Plattenkondensator berechnet sich die Kapazität zu

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot \frac{A}{D}$$

Die Einheit ist Farad:

$$[C] = F = \frac{As}{V}$$

Die in einem Kondensator gespeicherte Ladung ist:

$$Q = C \cdot U$$

Am Kondensator eilt die Spannung dem Strom nach, wobei gilt:

$$i_C = C \cdot \frac{du}{dt}$$

Ein Kondensator im Wechselstromkreis hat den Blindwiderstand

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

1.4.1 Reihen- und Parallelschaltung von Kondensatoren:

Schaltet man Kondensatoren parallel, so addiert sich deren Kapazität (!) — dieses Verhalten ist komplementär zu dem von ohmschen Widerständen; gleiches gilt für die Reihenschaltung von Kapazitäten.

1.5 Dioden

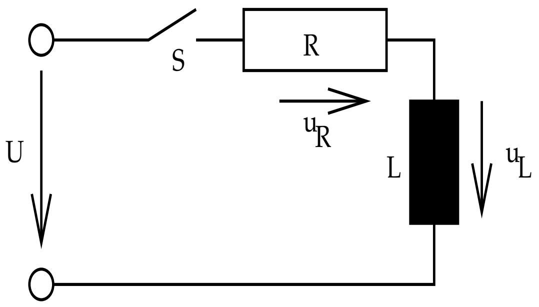
Siehe Kapitel 2, Halbleiter.

1.6 Lineare passive Schaltungen

1.6.1 Aufstellen und Lösen der DGL

Um Ausgleichsvorgänge im Gleichstromkreis zu erfassen, stellt man eine Differentialgleichung für den Stromkreis auf. Dann löst man die allgemeine DGL für den stationären und die homogene DGL für den flüchtigen Vorgang.

Beispiel: Einschaltvorgang des Spulenstromes mit Widerstand



DGL für diese Schaltung:

$$U = R \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt}$$

Die Lösung der DGL besteht aus dem eingeschwungenen und dem flüchtigen Anteil nach $i(t) = i_e + i_f(t)$.

Im eingeschwungenen Zustand ändert sich der Spulenstrom nicht mehr und damit gilt

$$\frac{di}{dt} = 0 \quad \Leftrightarrow \quad i_e = \frac{U}{R}$$

Für den flüchtigen Vorgang löst man die homogene DGL

$$0 = R \cdot i_f + L \cdot \frac{di_f}{dt}$$

durch Trennung der Variablen (Division durch i_f):

$$\frac{di_f}{i_f} = -(\frac{R}{L})dt$$

und anschließende Integration:

$$\int \frac{di_f}{i_f} = -(\frac{R}{L}) \int dt \quad \Leftrightarrow \quad \ln i_f = -(\frac{R}{L}) \cdot t + c$$

1.6.2 Zeitkonstante τ

Die Zeitkonstante ergibt sich, indem man den Ausdruck für $\ln i$ gleich -1 setzt ($c = 0$). Für RC-Gleider erhält man dabei:

$$\tau = R \cdot C$$

τ im RC-Glied
$\tau = R \cdot C$

Analog für RL-Glieder:

$$\tau = \frac{L}{R}$$

τ im RL-Glied
$\tau = \frac{L}{R}$

1.6.3 Zeigerdiagramme

Parallelschaltung : U als Bezugsgröße

Reihenschaltung: I als Bezugsgröße

2 Halbleiter

2.1 Donatoren, Akzeptoren

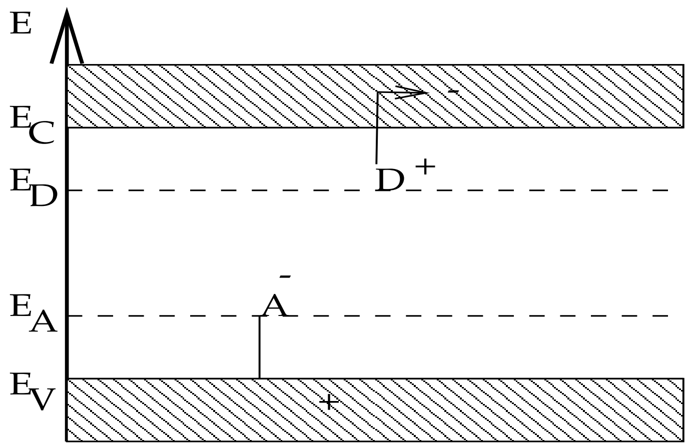
Halbleiter werden mit Fremdatomen dotiert. Dazu verwendet man 3-wertige Elemente (z.B. Al, Ga) als Akzeptoren oder 5-wertige Elemente (z.B. P, As) als Donatoren.

Akzeptoren können ein Elektron aufnehmen: $A^x + e^- \rightarrow A^-$ und sorgen so für die "Defektleitung".

Donatoren können ein Elektron abgeben: $D^x \rightarrow D^+ + e^-$ und sorgen so für "Elektronenleitung".

Sind, wie in der Praxis unvermeidlich, beide Arten von Störatomen im Kristall enthalten, so kommt es zur Kompensation : $D^x + A^x \rightarrow D^+ + A^-$; der Kristall ist dann nach außen hin entweder P- oder N-dotiert, ja nach dem, welche Störstellenart überwiegt.

2.2 Energieniveaus



Die Leitungsvorgänge im Halbleiter beschreibt man durch Energieterme im Energiebänderschema. Grundsätzlich gibt es das Energieniveau E_V von Elektronen im Valenzband und das Energieniveau E_C von Elektronen im Leitungsband.

Donatorel. $\rightarrow$ E_C
$E_{CD} = E_C - E_D$

Donatorelektronen werden durch Energieterme E_D nahe unter E_C dargestellt. Sie benötigen nur die geringe Energiezufuhr

$$E_{CD} = E_C - E_D$$

um abgelöst und ins Leitungsband gehoben zu werden.

Valenzel. $\rightarrow$ Akzeptor
$E_{AV} = E_A - EV$

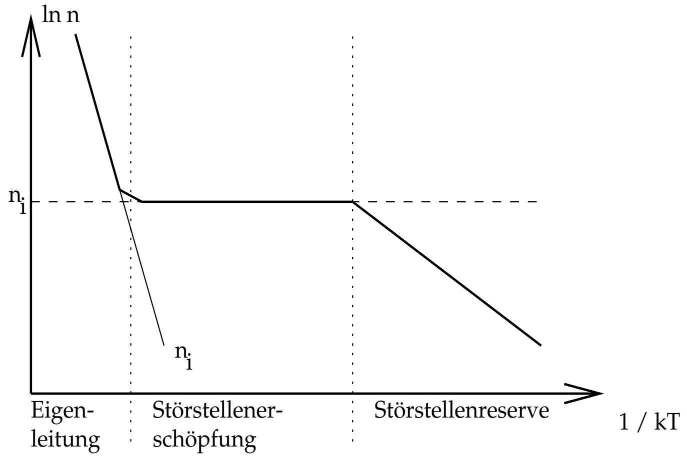
Akzeptoren werden dicht oberhalb des Valenzbandes dargestellt. Es ist nur eine relativ geringe Energie

$$E_{AV} = E_A - EV$$

nötig, um Elektronen aus dem Valenzband anzuheben so, daß Akzeptorionen entstehen.

Diese benötigten Energien können beispielsweise durch Wärme (Phononen) oder Licht (Photonen) eingebracht werden.

2.3 Temperaturbereiche, Massenwirkungsgesetz



Es gilt grundsätzlich das Massenwirkungsgesetz:

$$n_i^2 = n_n \cdot n_p$$

dabei ist n_i die (materialspezifische) Eigenleitungsdichte.

$$k = 1.38 \cdot 10^{-23} JK^-1$$

Massenwirkungsgesetz
$n_i^2 = n_n \cdot n_p$
Boltzmann-Konst.
$k = 1.38 \cdot 10^{-23} JK^-1$

2.3.1 Störstellenreserve

Die Störstellenreserve tritt bei niedrigen Temperaturen auf.

Für n-dotierte Halbleiter ist die Dichte der Elektronen

$$n_n = \left(n_D N_C/2\right)^{1/2} e^{-\frac{E_{CD}}{2kT}}$$

for p-dotierte Halbleiter ist entsprechend $n_p = \sqrt{n_A N_V/2} e^{-\frac{E_{AV}}{2kT}}$ die Dichte der Defektelektronen.

Elektronendichte (Reserve)
$n_n = \left(n_D N_C/2\right)^{1/2} e^{-\frac{E_{CD}}{2kT}}$

2.3.2 Störstellenerschöpfung

Die Störstellenerschöpfung tritt bei mittleren Temperaturen auf. Dabei gilt für die Dichte der Elektronen im n-Halbleiter:

$$n_n = n_D$$

Die Zahl der Elektronen ist also gleich der Anzahl der im Kristall enthaltenen Donatoren. Für p-Halbleiter ist entsprechend $n_p = n_A$ die Dichte der Defektelektronen gleich der Anzahl der im Kristall enthaltenen Akzeptoren.

Elektronendichte (Erschöpfung)
$n_n = n_D$

2.3.3 Eigenleitung

Zur Eigentleitung kommt es bei hohen Temperaturen (technisch unbrauchbar). Die Eigenleitungsdichte ("intrinsic density") für n- und p-dotierte Halbleiter ist

$$n_i = \left(N_V N_C\right)^{1/2} e^{\frac{-E_{CV}}{2kT}}$$

Eigenleitungsdichte
$n_i = \left(N_V N_C\right)^{1/2} e^{\frac{-E_{CV}}{2kT}}$

2.4 Bestimmung der Materialkenngrößen

2.4.1 Messung der elektrischen Leitfähigkeit

Die Bestimmung des spezifischen Widerstandes einer Halbleiterprobe und der Beweglichkeit der Ladungsträger darin kann durch die Zweischneidenmethode erfolgen.

Dabei schickt man einen Strom I längs einer Halbleiterprobe mit bekanntem Querschnitt und mißt die abfallende Spannung. Aus dieser kann der spezifische Widerstand nach

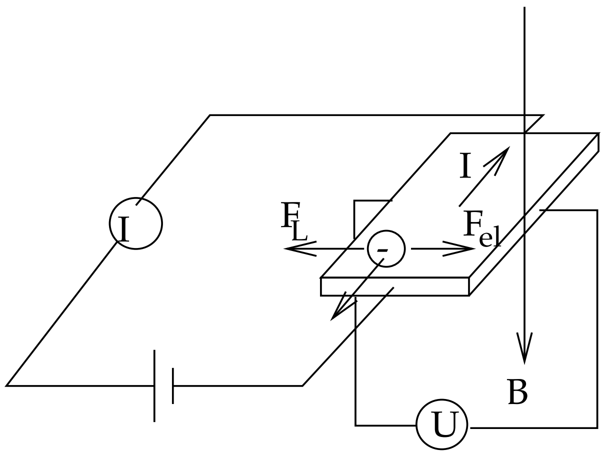
$$\rho = \frac{L_R}{A_R} \cdot \frac{I}{U}$$

berechnet werden. Mit gegebener Netto-Störstellendichte n kann nun nach

$$\rho = n \cdot e \cdot \mu \quad \Leftrightarrow \quad \mu = \frac{\rho}{e \cdot n}$$

die Beweglichkeit der Ladungsträger gewonnen werden.

2.4.2 Hall-Effekt



Der Hall-Effekt wird ausgenutzt, um die Dichte der Ladungsträger n_n bzw. n_p und die Beweglichkeit der Ladungsträger μ in einer Halbleiterprobe zu bestimmen. Dazu läßt man einen Strom durch die Halbleiterprobe fließen, die sich in einem Magnetfeld befindet. Auf die Elektronen wirkt dann die Lorenzkraft

$$F_L = B \cdot v \cdot q$$

Lorenzkraft
$F_L = B \cdot v \cdot q$

die diese zur Seite abdrängt. Durch diese Ladungsverschiebung entsteht eine elektrische Spannung, die gemessen werden kann. Die Elektronen können nicht beliebig zu Seite wandern, da sie durch ihre Wanderung ein Elektrisches Feld erzeugen, das auf sie

$$F_{el} = E \cdot q$$

wirken läßt; diese Kraft ist F_L entgegengerichtet.

Aus der Stromstärke $I = \frac{q}{t}$ und der Anzahl der Ladungsträger N in der Probe (aus $N = n \cdot V$) ergibt sich eine Formel für die Geschwindigkeit der Elektronen in der Probe. Diese setzt man in die Formel für die Lorenzkraft ein und setzt diese Kraft mit der Elektrischen Kraft gleich und erhält so eine Formel für die Dichte der Ladungsträger.

Die Bestimmung der Beweglichkeit der Ladungsträger μ erfolgt nach dem Verfahren aus der Zweischneidenmethode.

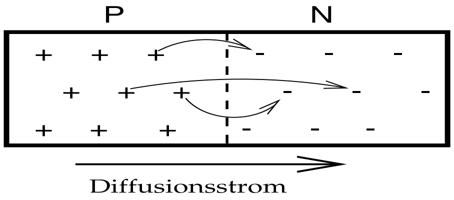
2.5 Injektion von Ladungsträgern

Blubb ...

3 Aktive Bauelemente

3.1 Diffusionsstrom, Feldstrom

Bringt man einen P-dotierten Halbleiterund einen N-dotierten Halbleiter zusammen, so entsteht ein *Diffusionsstrom* I_{Diff} vom P- zum N-Halbleiter. Dieser Diffusionsstrom wird durch das Dichtegefälle der Ladungsträger in den unterschiedlich dotierten Gebieten hervorgerufen.

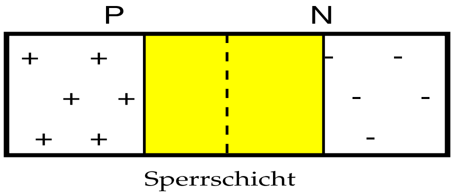


Durch den Diffusionsstrom entsteht ein Potentialgefälle (N-Gebiet: positiv, P-Gebiet: negativ), welches den sog. *Feldstrom* I_Ω vom N- zum P-Halbleiter hervorruft. Der Feldstrom ist also dem Diffusionsstrom entgegengerichtet. Es entsteht ein (nach außen hin stromloser) Gleichgewichtszustand, bei dem die Diffusionsstromstä rke gleich der Feldstromstä rke ist

$$I_{Diff} = I_\Omega$$

3.2 Sperrschicht

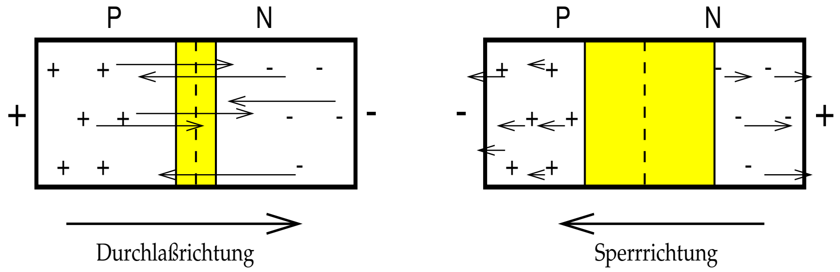
Das Gebiet um den PN-Übergang verarmt durch den Diffusionsvorgang an Majoritätsladungsträgern. Es entsteht auf beiden Seiten des Übergangs eine hochohmige *Sperrschicht*. Die Breite der Sperrschicht wird durch das Gleichgewicht bestimmt, das sich durch Feld- und Diffusionsstrom eingestellt hat.



Durch den Potentialunterschied der beiden Bereiche entsteht ein elektrisches Feld. Der PN-Übergang entspricht damit einem geladenen, stromlosen Kondensator.

3.3 Durchlaß- und Sperrichtung

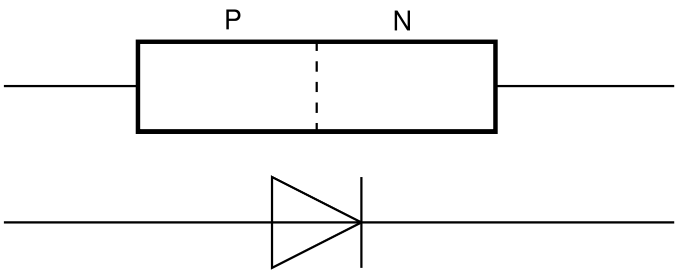
Legt man an einen PN-Übergang eine äußere Spannungsquelle an, so fließt entweder ein großer Durchlaß- oder ein kleiner Sperrstrom:



3.4 Halbleiterdiode

3.4.1 Aufbau

Eine Diode besteht aus einem Halbleiter mit PN-Übergang. Je nach Polung leitet oder sperrt sie:

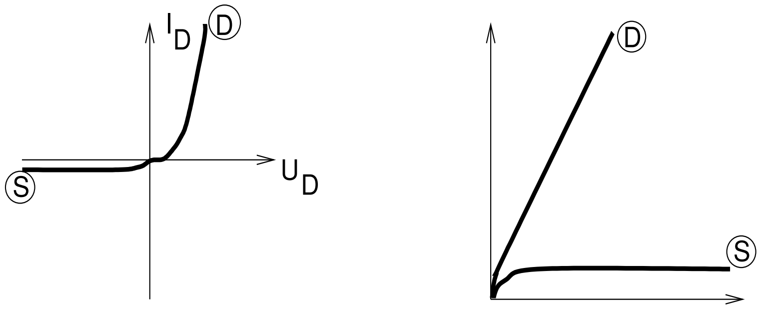


Legt man positive Spannung ans P-Gebiet und negative Spannung ans N-Gebiet, so werden die beweglichen Ladungsträger durch die Sperrschicht hindurchgetrieben, wobei die Stromrichtung der des Diffusionsstromes entspricht. Das Potentialgefälle wird erhöht während die Breite der Sperrschicht abnimmt. Wird eine Spannung angelegt, die größer ist als die Diffusionsspannung (bei Si: 1 Volt), so verschwindet die Sperrschicht ganz und die Diode leitet.

Legt man umgekehrt negative Spannung ans N-Gebiet und positive Spannung ans N-Gebiet, so werden die Ladungsträger nach außen “abgesaugt”. Der Feldstrom wächst und mit ihm die Sperrschicht. Die Diffusionsspannung nimmt um den Wert der angelegten Spannung zu. Die Diode sperrt, es kann nur ein kleiner Strom (aufgrund der immer vorhandenen Minoritätsladungsträger) fließen.

3.4.2 Kennlinien

Eine ideale Diode hat folgende Kennlinie:



Im rechten Diagramm ist das Verhältnis zwischen Diodenstrom und Sperrstrom $\frac{I_D}{I_{S0}}$ über dem Verhältnis zwischen angelegter Spannung und Temperaturspannung (ca. 26 mV bei Zimmertemperatur) $\frac{U_D}{U_T}$ aufgetragen. Für die Stromachse wurde ein logarithmischer Maßstab gewählt. Das Verhalten einer idealen Diode läßt sich mathematisch so beschreiben:

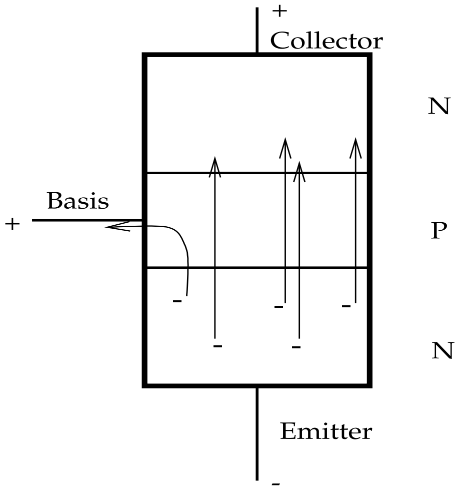
$$I_D = I_{S0} \cdot e^{\frac{U_D}{U_T}}$$

Dioden-Kennlinie
$I_D = I_{S0} \cdot e^{\frac{U_D}{U_T}}$

Eine Reale Diode hat einen höheren Sperrstrom und bei Schaltung in Durchlaßrichtung zeigt sich ein gewisser Widerstand, so daß die Kurve flacher ausfällt. Sie leitet erst völlig, wenn die Diffusionsspannung überschritten ist (s.o.).

3.5 Der Bipolartransistor

Fügt man einem PN-Übergang eine weitere N-Schicht hinzu, so erhält man den NPN-Transistor (PNP analog):



Der Transistor leitet, sobald $U_{BE} \geq U_S = 0.7V$ ist. Er dient der Leistungsverstärkung. Für diese definiert man zwei Verstärkungsfaktoren (für Gleichstrom):

$$\alpha = I_C : I_E \; (ca.0,9)$$
$$\beta = I_C : I_B \; (= 10 \ldots 100)$$

Verstärkung Bipolartr.
$\alpha = I_C : I_E \; (ca.0,9)$
Verstärkung Bipolartr.
$\beta = I_C : I_B \; (= 10 \ldots 100)$

3.5.1 Kennlinien

Man unterscheidet drei verschiedene Kennlinien für Bipolartransistoren:

- Steuerkennlinie :

  $$I_C = f(U_{BE})$$

  für $U_{CE} = const.$

- Eingangskennlinie :
$$I_B = f(U_{BE})$$
für $U_{CE} = const.$
- Ausgangskennlinienfeld:
$$I_C = f(U_{CE})$$
für verschiedene $U_{BE} = const.$

3.5.2 Arbeitsbereiche

Man unterscheidet drei verschiedene Arbeitsbereiche des Bipolartransistors:

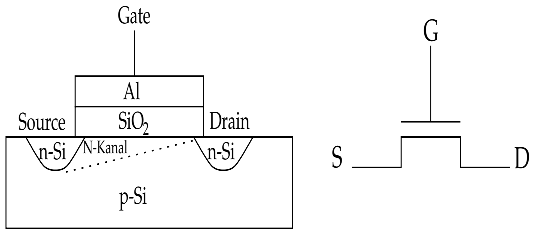
- Gesperrter Bereich: $U_{BE} \leq U_S, U_{BC} \leq U_S$
- Linearer Bereich: $U_{BE} > U_S, U_{BC} \leq U_S$
- Gesättigter Bereich : $U_{BE} > U_S, U_{BC} > U_S$

3.6 MOS-Kondensator

Blubber...

3.7 MOS-Transistor

Der MOS-Transistor (oder Unipolartransistor) hat folgenden Aufbau (N-Kanal, Anreicherungstyp):



Der MOS-Transistor ist vollkommen symmetrisch aufgebaut, es besteht also kein Unterschied zwischen Drain und Source.

Auch beim MOS-Transistor unterscheidet man drei Kennlinientypen; wie beim Bipolartransistor gibt es die Steuer- und die Ausgangskennlinie, daneben gibt es hier aber noch ein Schaubild über die Empfindlichkeit, in dem $U_{th} = f(U_{BS})$, also die Abhängigkeit der Schwellspannung von der Body-Vorspannung angegeben wird.

3.7.1 Die Schwellspannung

Die Schwellspannung U_{th} berechnet sich nach folgender Gleichung:

Schwellspannung MOS $U_{th} = \frac{1}{c_{ox}} \cdot (K_1(\Phi - U_{BS})^{1/2} - K_2)$

$$U_{th} = \frac{1}{c_{ox}} \cdot (K_1(\Phi - U_{BS})^{1/2} - K_2)$$

dabei sind $c_{ox} = \varepsilon_{ox} \cdot \varepsilon_0 / d_{ox}$, Φ, $K1$ und $K2$ meßtechnisch zu ermittelnde Kenngrößen des Transistors.

3.7.2 Betriebsbereiche

Der MOS-Transistor hat dieselben Betriebsbereiche wie der Bipolartransistor:

- Gesperrter Bereich : $U_{GS} < U_{th}$
- Linearer Bereich : $U_{GS} \geq U_{th}, U_{DS} < U_p$
  Hier gilt für den Drainstrom:
  $I_{D,lin} = \mu \cdot c_{ox} \cdot \frac{W}{L} \cdot (U_{GS} - U_{th} - \frac{1}{2}U_{DS}) \cdot U_{DS}$
  wobei W die Weite und L die Länge des Kanalbereichs ist.
- Gesättigter Bereich : $U_{GS} \geq U_{th}, U_{DS} \geq U_p$
  Hier gilt für den Drainstrom:
  $I_{D,sat} = \frac{\mu}{2} \cdot c_{ox} \cdot \frac{W}{L} \cdot (U_{GS} - U_{th})^2$

linearer Bereich
$I_{D,lin} = \mu \cdot c_{ox} \cdot \frac{W}{L} \cdot (U_{GS} - U_{th} - \frac{1}{2}U_{DS}) \cdot U_{DS}$

gesättigter Bereich
$I_{D,sat} = \frac{\mu}{2} \cdot c_{ox} \cdot \frac{W}{L} \cdot (U_{GS} - U_{th})^2$

3.7.3 Abschnürspannung

In obigen Gleichungen ist U_p die Abschnürspannung, die die Grenze zwischen linearem und gesättigtem Bereich darstellt. Durch Gleichsetzen der entsprechenden Gleichungen erhält man:

$$I_{D,p} = \frac{\mu}{2} \cdot c_{ox} \cdot \frac{W}{L} \cdot U_{DS}^2$$

dabei ist

$$U_{DS} = (U_{GS} - U_{th}) = U_p$$

Abschnürspannung
$U_{DS} = (U_{GS} - U_{th}) = U_p$

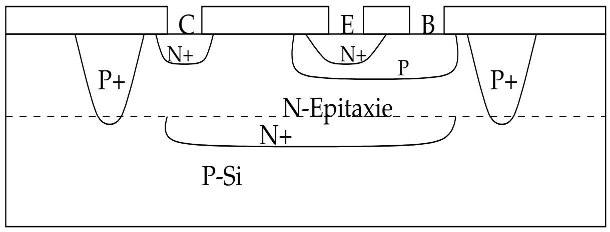
4 Mikroelektronik

4.1 Integrationstechniken

Hybridverfahren

4.1.1 Planarverfahren für Bipolartransistoren

Sperrschichtisolation
Isoliert durch gesperrte PN-Übergänge.
Dielektrische Isolation
Isoliert durch Quarzglas (SiO_2).
Querschnitt durch NPN-Transistor mit Sperrschichtisolation:



4.1.2 Planarverfahren für MOS-Transistoren

Vorteile der MOS-Technik: Einfacherer Aufbau, dadurch weniger Masken; also billiger und kleiner. Ausserdem weniger Platzbedarf wegen der Selbstisolation.
Querschnitt MOS / SNOS-Transistor :