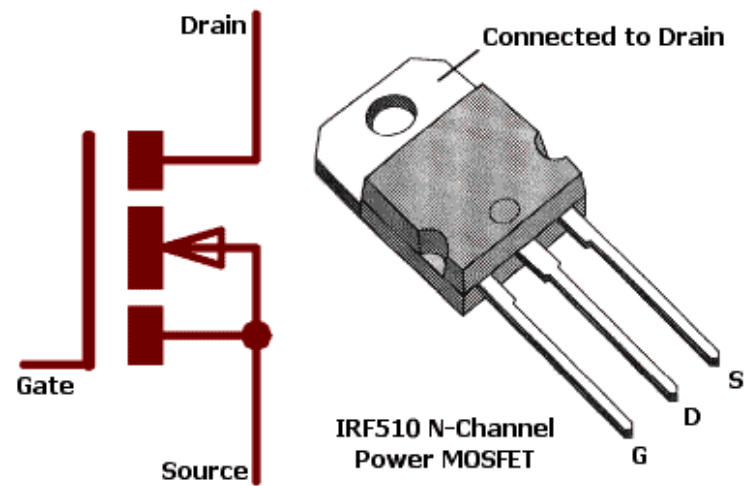
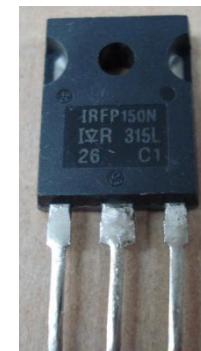
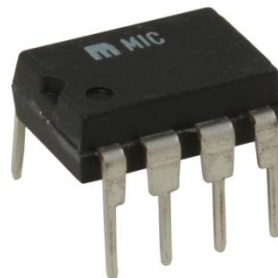




Der MosFET

Referent: Dominik Tuszyński

27.05.2010



Gliederung

1. Geschichte

1.1. Erfinder

1.2. Ein paar Fakten

2. Einsatzgebiete

3. Aufbau

3.1. Schaltzeichen

3.2. physikalischer Aufbau

3.3. Funktionsweise

3.4.1. Kennlinienfeld

3.4.2. Formeln

4. Zusammenfassung

4.1. Formelsammlung

4.2. Vorteile

4.3. Nachteile

5. Quellen

1. Geschichte

1.1. Erfinder

- Patentanmeldungen: Julius Edgar Lilienfeld (1926)
Oskar Heil (1934)

1.2. Ein paar Fakten

- erste MOSFETs wurden erst 1960 gefertigt,
 - ein neues Materialsystem (Silizium/Siliziumdioxid)
 - gute Halbleiter-Isolator-Grenzfläche
- Abkehr vom Germanium als Basismaterial
- Dotiertes Polysilizium als Gate-Material
(ab 1970) anstelle aufgedampftem Aluminium

1. Geschichte

1.2. Ein paar Fakten

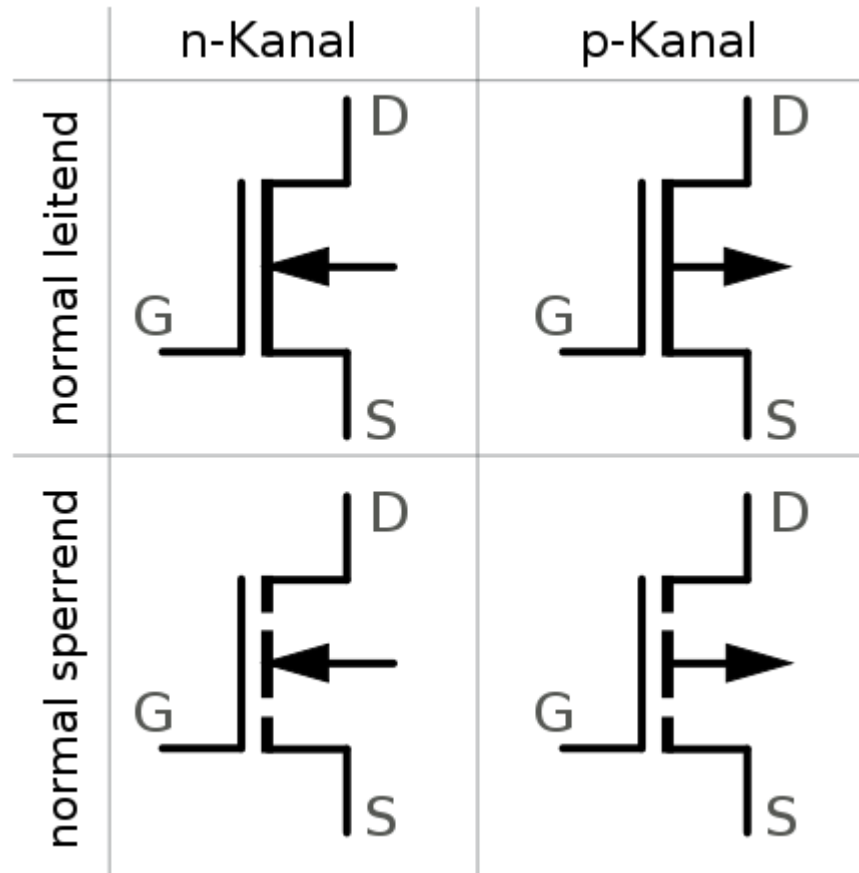
- Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor (engl. metal oxide semiconductor field-effect transistor, **MOSFET** auch **MOS-FET**, selten **MOST**)
- Feldeffekttransistor mit isoliertem Gate (IGFET)
 - Metall-Isolator-Halbleiter-Feldeffekttransistoren (MISFET).
- heute (2009) dotiertes Polysilizium als Gate-Material
 - die Bezeichnung MOSFET bleibt beibehalten
 - Historisch begründet steht damit MOSFET als Synonym für IGFET
- meist verwendeter Transistor für analoge und digitale integrierte Schaltungen, wegen der großen Packungsdichte und den geringen Herstellungskosten
- 2008 wurden bis zu 1,9 Milliarden Transistoren in einem Prozessor verbaut

2. Einsatzgebiete

- Leistungs-MOSFET (Spannungen bis ca. 800 V und Strömen von bis zu mehreren 100 A)
 - Schaltnetzteile, Synchrongleichrichter, getaktete Strom- und Spannungsregler und auch starke Hochfrequenzsender bis in den UKW-Bereich
- Arbeits- und Fertigungsbereiche, in denen mit Feldeffekttransistoren gearbeitet wird, sind durch ESD-Warnschilder gekennzeichnet

3. Aufbau

3.1. Schaltzeichen

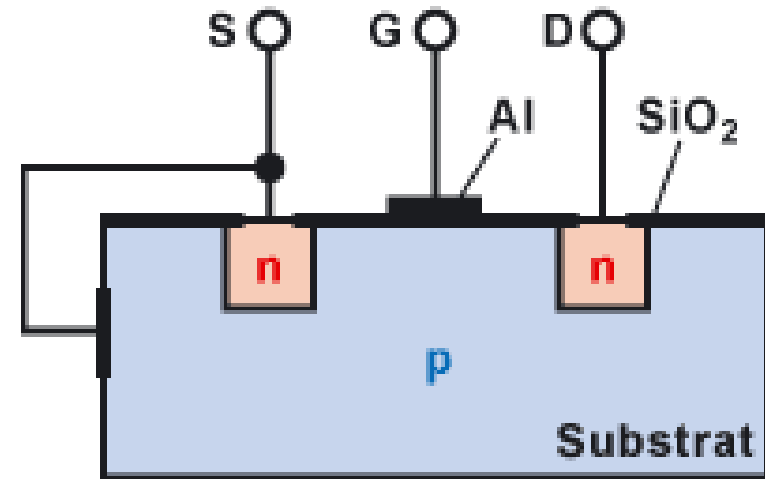
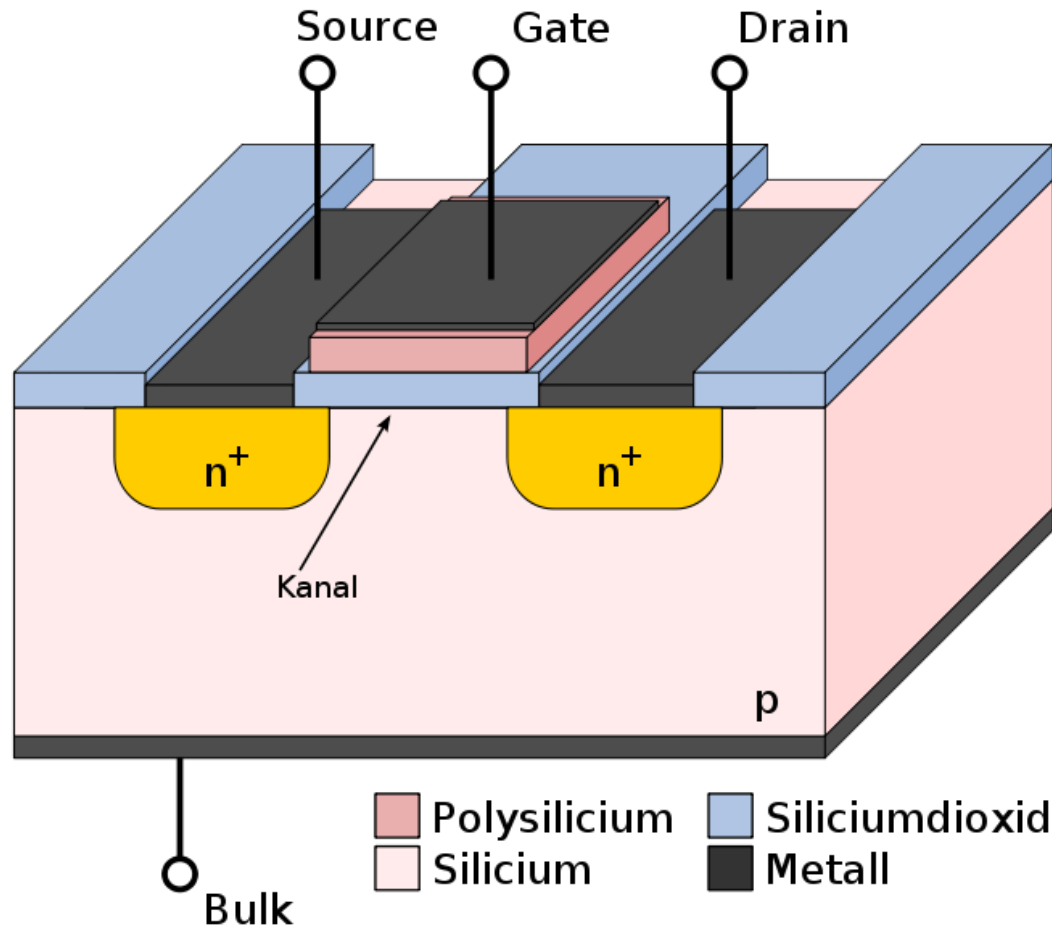


3. Aufbau

- 3.2. physikalischer Aufbau
- MOS-FET oder auch IG-FET
 - Bezeichnung kommt von Insulated Gate (isoliertes Gate)
- n-Kanal-Anreicherungstyp:
 - besteht aus p-leitenden Kristall (Substrat)
 - zwei n-leitende Inseln eindotiert.
 - Kristall ist mit Siliziumdioxid [SiO_2] (Isolierschicht) abgedeckt
 - die freiliegenden Inseln sind über Kontakte nach außen geführt (S ;D)
 - auf dem Siliziumdioxid ist eine Aluminiumschicht (Al) als Gate-Elektrode aufgedampft

3. Aufbau

3.2. physikalischer Aufbau

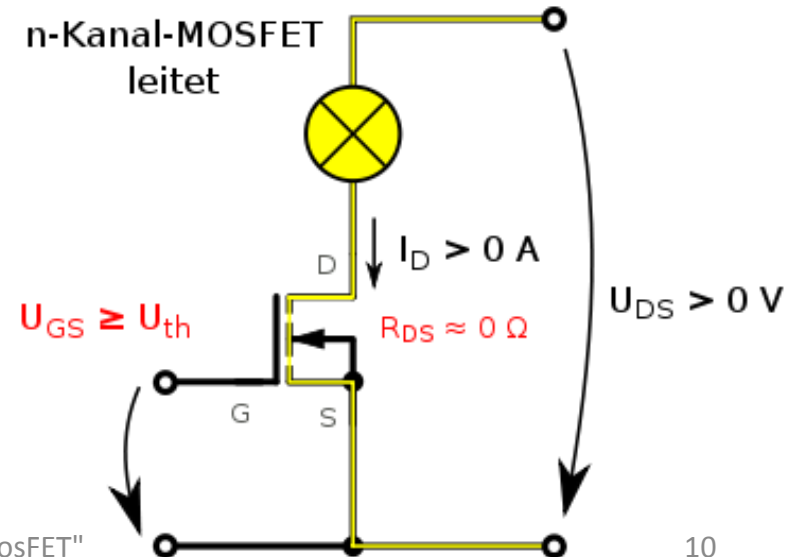
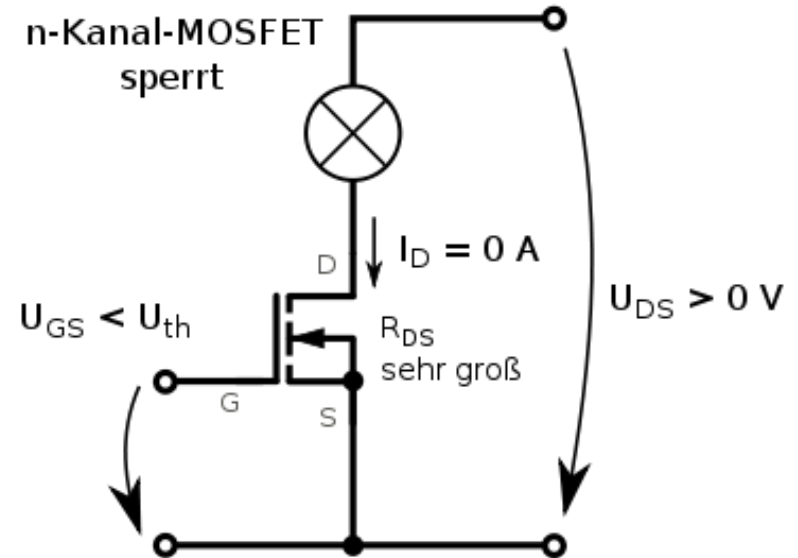
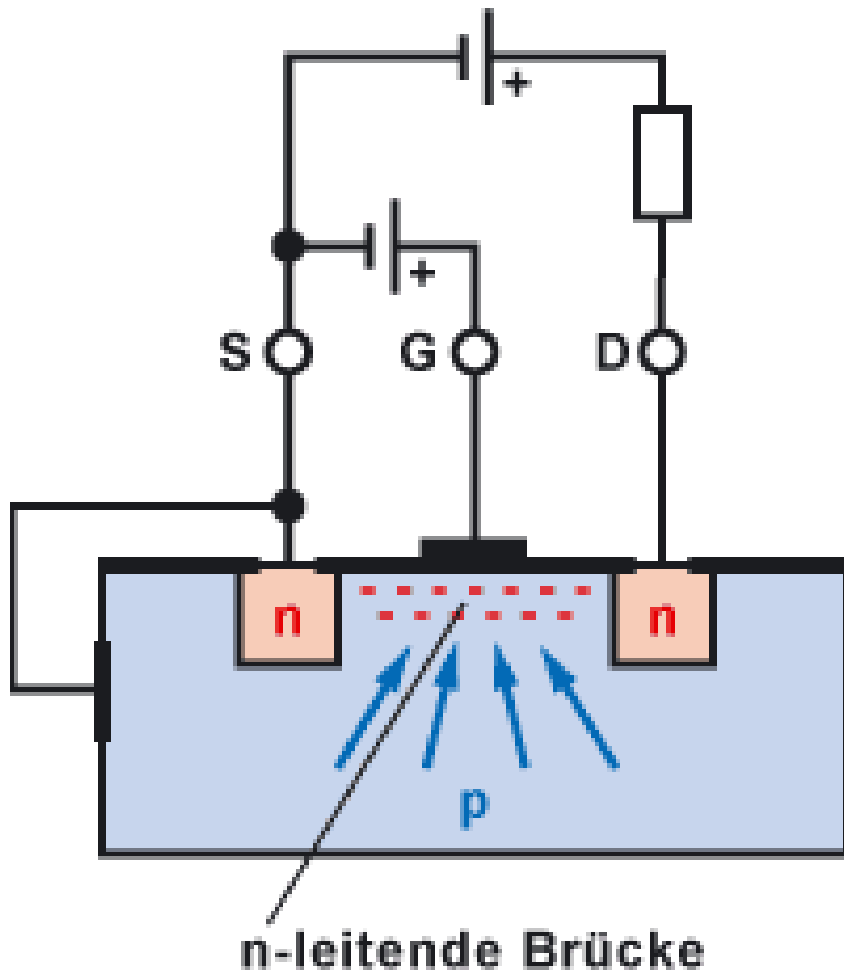


3. Aufbau

- 3.3. Funktionsweise
- Anreicherungstyp:
 - keine positive Spannung zwischen Gate- und Source-Anschluss (Sperr-Zustand)
 - zwischen Gate und Source liegt eine positive Spannung U_{GS} (elektrisches Feld im Substrat)
 - Elektronen, im p-leitenden Substrat, werden vom positiven Gate-Anschluss angezogen
 - wandern unter das Siliziumdioxid (Isolierschicht)
 - eine n-leitende Brücke zwischen Source- und Drain-Anschluss entsteht
 - Die Leitfähigkeit der Brücke lässt sich durch die Gatespannung U_{GS} steuern
 - Die Vergrößerung der positiven Gatespannung führt zu einer Anreicherung der Brücke mit Elektronen
 - Siliziumdioxid-Schicht wirkt isolierend zwischen Aluminium und Substrat
 - es fließt kein Gatestrom I_G
 - zur Steuerung wird nur eine Gatespannung U_{GS} benötigt
 - die Steuerung des Stromes I_D durch den MOS-FET erfolgt leistungslos

3. Aufbau

3.3. Funktionsweise



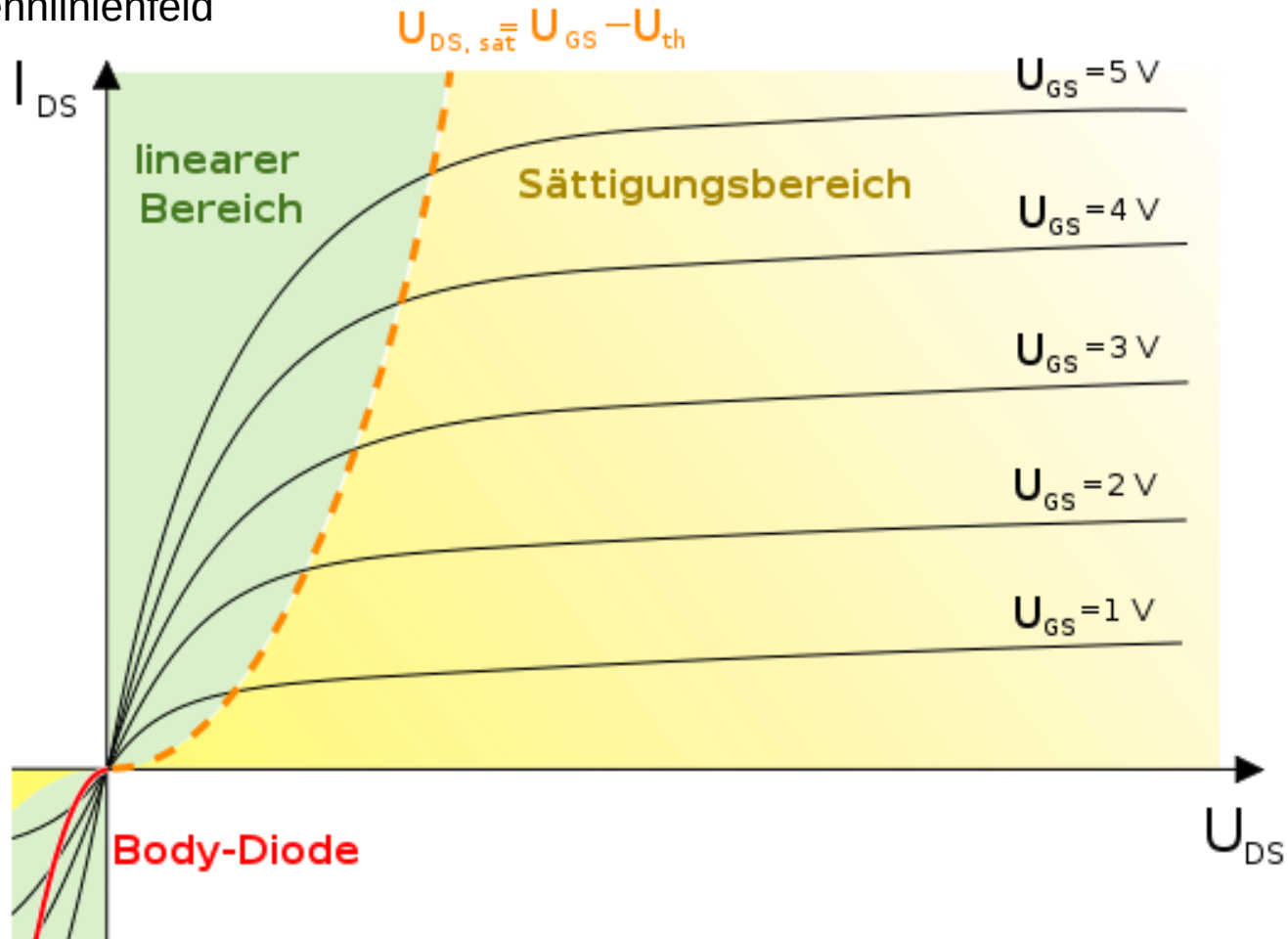
3. Aufbau

3.4.1. Kennlinienfeld

- Darstellung der Zusammenhänge zwischen dem Drain-Strom I_D und der Drain- Source-Spannung U_{DS} in Abhängigkeit von der Gate-Source-Spannung U_{GS}
- ist für alle MOSFET-typen prinzipiell gleich
- eine einzelne I_D - U_{DS} -Kennlinie unterteilt sich in drei Bereiche:
 - den Sperrbereich
 - den linearen (aktiven) Bereich
 - den Sättigungsbereich
- Kennlinien sind durch weitere Effekte (Temperatur, Substratvorspannung, etc.) beeinflussbar

3. Aufbau

3.4.1. Kennlinienfeld



Ausgangskennlinienfeld für einen NMOS vom Anreicherungstyp ($U_{GS} > U_{th}$)

Dominik Tuszyński "Der MosFET"

3. Aufbau

3.4.2. Formeln

- Schwellenspannung

Die *Schwellenspannung* U_{th} (engl.: threshold voltage) stellt ein zentrales Element bei der Modellbetrachtung von MOSFETs dar und hängt stark von der Prozesstechnik ab. Dabei entscheiden die Dotierungen von Source, Drain und des Kanal-Gebietes über die Größe der Schwellenspannung.

$U_{th} < 0\text{ V}$ für NMOS-Verarmungstyp und PMOS-Anreicherungstyp

$U_{th} > 0\text{ V}$ für NMOS-Anreicherungstyp und PMOS-Verarmungstyp (zwischen 1V-3V)

$$U_{th}(T) = U_{th0} + \alpha \cdot (T - T_0)$$

- Schwellenspannung abhängig von der Temperatur
- Temperaturkoeffizient: α ; Stütztemperatur: T_0 (z.B. typische Betriebstemperatur)

3. Aufbau

3.4.2. Formeln

Sperrbereich

im Sperrbereich (auch Abschaltbereich oder Subthreshold-Bereich genannt, engl. cutoff region) liegt die Gate-Source-Spannung U_{GS} unterhalb der Schwellenspannung U_{th} .

Für $U_{GS} < U_{th}$ gilt:

$$I_{DS} = I_0 \cdot \exp\left(\frac{U_{GS} - U_{th}}{U_T \cdot m}\right) = I_0 \cdot 10^{\left(\frac{U_{GS} - U_{th}}{S}\right)}$$

In einfachen Modellen wird $I_{DS0}(U_{GS} < U_{th}) = 0$ angenommen

3. Aufbau

3.4.2. Formeln

Linearer Bereich

Im linearen Bereich (auch aktiver Bereich oder ohmscher Bereich [ohmic region] genannt) liegt die Gate-Source-Spannung U_{GS} über der Schwellenspannung U_{th} (Im Fall des Anreicherungs-MOSFET), sodass ein durchgehender Kanal zwischen Drain und Source entsteht. Der Bereich wird durch die Kennlinie der Grenzspannung $U_{DS,sat} = U_{GS} - U_{th}$ begrenzt.

$$U_{DS} \approx 0$$

Für $U_{GS} \geq U_{th}$ und $(U_{GS} - U_{th}) > U_{DS}$ gilt:

$$I_{DS} = K_{n/p} \cdot \left((U_{GS} - U_{th}) \cdot U_{DS} - \frac{U_{DS}^2}{2} \right)$$

3. Aufbau

3.4.2. Formeln

Sättigungsbereich

- Im Sättigungsbereich (engl.: *saturation region*, auch Abschnürbereich genannt) verläuft die I_D - U_{DS} -Kennlinie parallel zur U_{DS} Achse. Real steigt der Drainstrom I_D aber weiterhin an.
- Der Begriff *Sättigung* hat beim Bipolartransistor eine andere Bedeutung

Für $U_{GS} \geq U_{th}$ und $(U_{GS} - U_{th}) \leq U_{DS}$ gilt:

$$I_{DS} = \frac{K_{n/p}}{2} \cdot (U_{GS} - U_{th})^2$$

4. Zusammenfassung

4.1. Formelsammlung

U_{DS}	$\varphi_D - \varphi_S$	Ausgangsspannung zwischen Drain und Source.
----------	-------------------------	---

Schwellenspannung:

$$U_{th}(T) = U_{th0} + \alpha \cdot (T - T_0)$$

Sperrbereich:

Für $U_{GS} < U_{th}$ gilt:

$$I_{DS} = I_0 \cdot \exp\left(\frac{U_{GS} - U_{th}}{U_T \cdot m}\right) = I_0 \cdot 10^{\left(\frac{U_{GS} - U_{th}}{s}\right)} \quad I_{DS0}(U_{GS} < U_{th}) = 0$$

Linearer Bereich:

Für $U_{GS} \geq U_{th}$ und $(U_{GS} - U_{th}) > U_{DS}$ gilt:

$$I_{DS} = K_{n/p} \cdot \left((U_{GS} - U_{th}) \cdot U_{DS} - \frac{U_{DS}^2}{2} \right)$$

Sättigungsbereich:

Für $U_{GS} \geq U_{th}$ und $(U_{GS} - U_{th}) \leq U_{DS}$ gilt:

$$I_{DS} = \frac{K_{n/p}}{2} \cdot (U_{GS} - U_{th})^2$$

4. Zusammenfassung

4.2. Vorteile

- schnellere Einzeltransistoren
- feine Wabenstrukturen → schnelle MOSFET für große Ströme
- Durch Skalierung (Submikrometerbereich) ist MOSFET für integrierte digitale Anwendungen mit Taktfrequenzen oberhalb von 1 GHz verwendbar
- einfacher Herstellungsprozesses (CMOS-Prozess)
- geringere Schaltverluste als Bipolartransistoren
- positiven Temperaturkoeffizienten (bei steigender Temperatur steigt Widerstand)
 - mehrere MOSFETs ohne zusätzliche symmetrierende Maßnahmen parallelschalten
 - die Stromtragfähigkeit erhöhen und den Spannungsabfall verringern

4. Zusammenfassung

4.3. Nachteile

- geringe Oberflächenbeweglichkeit der Ladungsträger im Kanal
- Elektronen haben eine höhere Beweglichkeit als Defektelektronen
→ n-Kanal-MOSFET ein wenig bessere Eigenschaften als p-Kanal-Typen
- Zur Umladung der Gate-Kapazität ist ein teilweise erheblicher Lade- und Entladestrom notwendig (in der Leistungselektronik bis über 10 A)
- Gate-Leckstrom (die bei heutigen Mikroprozessoren nicht mehr vernachlässigbar)
- erreicht keine hohe Sperrspannungen

5. Quellen

- <http://www.elektronik-kompendium.de/sites/bau/0510161.htm> [13.05.2010] (14:36)
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor> [13.05.2010](14:54)
- „Halbleiter Bauelemente“ TU-B Vorlesungsskript (2009)
- Bilder:
- <http://rocky.digikey.com/weblib/Infineon/Web%20Photos/New%20Photos/448-TO-220AB.jpg> [13.05.2010](15:10)
- <http://www.wholesaleec.com/upload/upimg944%5CMOSFET-17832.jpg> [13.05.2010](15:12)
- <http://media.digikey.com/photos/Micrel%20Photos/576-8-DIP.jpg> [13.05.2010](15:13)
- <http://www.ilmuku.com/file.php/1/Elektronik/mosfet1.gif> [13.05.2010](15:15)

Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit!