

Bilder: ale

Feldeffekttransistoren haben ihren Namen, weil ihre Ansteuerung über ein elektrisches Feld und nicht über einen (Basis-) Strom erfolgt, wie er bei bipolaren Transistoren erforderlich ist. Es werden JFET und MOSFET unterschieden. Die JFET trennen den Ansteuerungspin (Gate) vom leitenden Kanal durch einen pn-Übergang. Bei den MOSFET geschieht dies durch eine Isolierschicht.

Bei den JFETs werden p-Kanal- und n-Kanal-Typen unterschieden. Bei den MOSFETs können die noch selbstleitend (in Ruhestellung leitend) oder selbstsperrend (in Ruhestellung sperrend) sein. Feldeffekttransistoren weisen gegenüber bipolaren Transistoren in gewissen Anwendungen Vorteile auf. Auf die Eigenschaften und die Funktion wird in der Folge eingegangen.

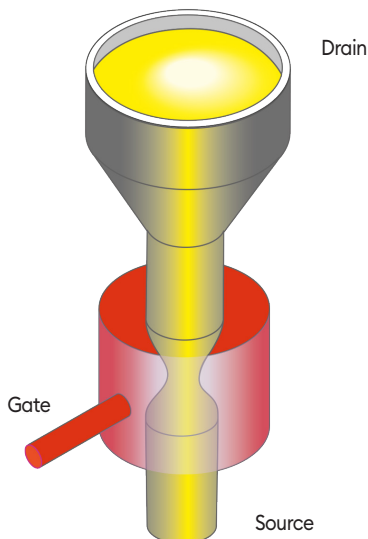
Hydraulikmodell

Feldeffekttransistoren werden auch unipolare Transistoren genannt, weil der Hauptstrom nicht über einen pn-Übergang fließen muss, sondern über einen in seinem Widerstand veränderlichen unipolaren (entweder p oder n) Kanal geleitet wird. Im Hydraulikmodell fließt der Ölstrom von oben nach unten. Wird mehr Flüssigkeit in den roten Ring gepumpt, wird der Ölkanal dünner, der Widerstand steigt und es fließt weniger Öl durch den Kanal.

Aufbau und Funktion

In einem p-leitenden Substrat werden zwei n-leitende Inseln eindotiert und mit Elektroden verbunden. Danach wird die Fläche mit einer Isolierschicht abgedeckt. Normalerweise handelt es sich um ein dünnes SiO₂-Plättchen, welches über einen hohen ohmschen Widerstand verfügt. Auf diese Siliziumdioxidschicht wird die Steuerelektrode (meistens Aluminium) aufgedampft.

Unten am Substrat befindet sich der Bulk-Anschluss. Dieser Anschluss steht als Gegenpol zum Steueranschluss (Gate). Der



Wasser- oder Hydraulikmodell eines selbstleitenden MOSFET.

Bulk-Anschluss wird meistens intern mit dem Source-Anschluss verbunden. Wird eine positive Spannung an Drain gegen den Source gelegt, so fließt kein Strom. Umgekehrt auch nicht. Der MOSFET ist gesperrt (selbstsperrend). Wird ein positives Potenzial an Gate gegen das Substrat (= Bulk) und Source gelegt, wirkt ein elektrisches Feld.

Dotierung

Das p-leitende Substrat besteht aus einer Siliziumkristallschicht, welche in geringem Masse mit dreiwertigem Aluminium, Indium oder Bor dotiert ist. Dadurch entstehen im vierwertigen Siliziumgitter Löcher, welche mit Elektronen gefüllt werden können und dadurch als Ladungsträger arbeiten. N-Leiter sind mit fünfwertigem Arsen, Phosphor oder Antimon dotiert und weisen im Kristallgitter als Ladungsträger Valenzelektronen auf.

Im MOSFET weist das p-dotierte Substrat Löcher als freie Ladungsträger auf (Majoritätsträger). Aber in jedem Halbleiter gibt es auch Minoritätsträger, d.h. in dem Substrat bewegen sich auch einige freie Elektronen.

Gate-Ansteuerung

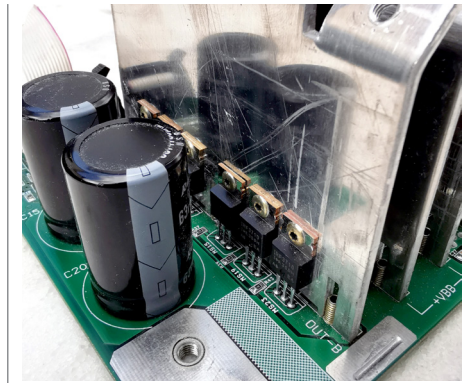
Das positive Potenzial am Gate wirkt auf diese freien Elektronen (Minoritätsträger) im Substrat. Positives Potenzial bedeutet Elektronenmangel, deshalb werden über das elektrische Feld die freien Elektronen aus dem Substrat angesaugt (Pfeile im Bild unten rechts) und bilden unmittelbar unter der Isolierschicht einen n-leitenden Kanal zwischen Drain und Source.

Zwischen Gate und Bulk befindet sich die Isolierschicht. Der Steuerstromkreis ist unterbrochen. Das positive Potenzial zwischen den beiden Elektroden reicht, um den Strom zwischen Drain und Source zu schalten. Weil kein Steuerstrom fließt, wird auch vom leistungsfreien oder leistungsarmen Schalten gesprochen.

Leistungsfreies Schalten

Wird die Isolierschicht zwischen Gate und dem Substrat mit dem Bulk-Anschluss als Dielektrikum angeschaut, dann handelt es sich um einen Kondensator. Kondensatoren unterbrechen ihre Stromkreise; während der Lade- oder Entladephase strömen jedoch Elektronen in die Kondensatorplatten und im Stromkreis fließt Strom. Ist ein Kondensator aber geladen oder entladen, fließt kein Strom mehr. Deshalb haben Kondensatoren im Gleichstrom unendlich große Widerstandswerte. Werden sie mit Wechselstrom betrieben, laden und entladen sie sich periodisch und je höher die Frequenz steigt, desto niederohmiger werden sie.

Genau so funktioniert das auch beim MOSFET. Die Gate-Kapazität beträgt zwischen 2 und 5 pF und somit wird der Widerstand bei hohen Frequenzen nicht



Parallelschaltete MOSFET auf den massiven Kühlblechen.

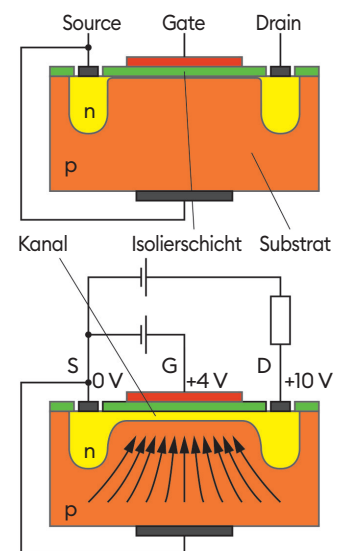
mehr unendlich sein und die Transistoren schalten nicht mehr leistungsfrei.

pn-Übergänge

Wenn sich p- und n-Leiter treffen, ergeben sich pn-Übergänge. Beim MOSFET zwischen dem Substrat und der Drain- oder Source-Insel. Wird angenommen, dass am Transistor 12 V abfallen, so beträgt die Spannungsdifferenz zwischen Drain und Source 12 Volt. Das Substrat ist über den Bulk-Anschluss mit Masse verbunden. Demzufolge liegen an Drain (n-dotiert) 12 V und am Substrat (p-dotiert) 0 V. Liegt das positive Potenzial am n-Leiter, das negative an p, bildet sich eine Sperrzone um den leitenden Kanal. Dieser wird im Bereich des Drain-Anschlusses relativ stark zugeschnürt und öffnet sich gegen den Source-Anschluss immer mehr. Bei der Konstruktion des MOSFET muss diesem Zusammenhang Rechnung getragen werden.

Aus diesem Grund muss bei der Schaltung beachtet werden, dass das Substrat nie positiver wird als der Drain-Anschluss. MOSFETs sind ausserdem durch die dünne Isolierschicht empfindlich gegen Überspannungen (z.B. elektrostatische Aufladungen).

Im Gegensatz zu bipolaren Transistoren lassen sich MOSFETs problemlos parallelschalten (Bild oben).



Schematischer Aufbau und Schaltung eines selbstsperrenden n-Kanal-MOSFET.

Partner: © A&W Verlag AG / SVBA-ASETA-ASITA / AGVS/UPSA / Andreas Lerch