

Halbleitertechnologie von A bis Z

Grundlagen

Transistoren und Speicher	3
MOSFET	3
Bipolartransistor	3
FinFET	4
DRAM-Zelle	4

Transistoren und Speicher

MOSFET

Ein Transistor ist ein elektronisches Halbleiterbauelement, das zum Schalten oder Verstärken von Strom dient. Beim Feldeffekttransistor (FET) steuert eine Gateelektrode den Stromfluss zwischen den Anschlüssen Source und Drain, ohne selbst im Stromkreis zu liegen. Die gebräuchlichste Bauform ist der MOSFET: Liegt am Gate keine Spannung an, trennt das p-dotierte Substrat Source und Drain wie ein gesperrter [p-n-Übergang](#); der Transistor sperrt. Erst eine positive Gatespannung zieht Elektronen an die Oberfläche und bildet dort einen leitenden n-Kanal – derselbe Mechanismus wie beim [Dotieren](#), hier jedoch elektrisch steuerbar. Wie der MOSFET tatsächlich gefertigt wird, zeigt das Kapitel [Aufbau eines n-Kanal-FET](#).

Die Bezeichnung MOSFET (engl. metal oxide semiconductor field-effect transistor) stammt aus einer Zeit, in der das Gate tatsächlich aus Aluminium bestand. Seit Jahrzehnten wird stattdessen hochdotiertes Polysilicium verwendet, weshalb IGFET (engl. insulated gate FET) genau genommen der treffendere Name wäre; mit der High-k-Metal-Gate-Technologie ist MOSFET wieder korrekt, sofern als Isolator weiterhin ein Oxid dient. Der Kanal bildet sich dabei nicht allmählich, sondern erst oberhalb der Schwellspannung – der wichtigsten Kenngröße des Transistors, die sich über die Substratdotierung und die Wahl des Gatematerials gezielt einstellen lässt.

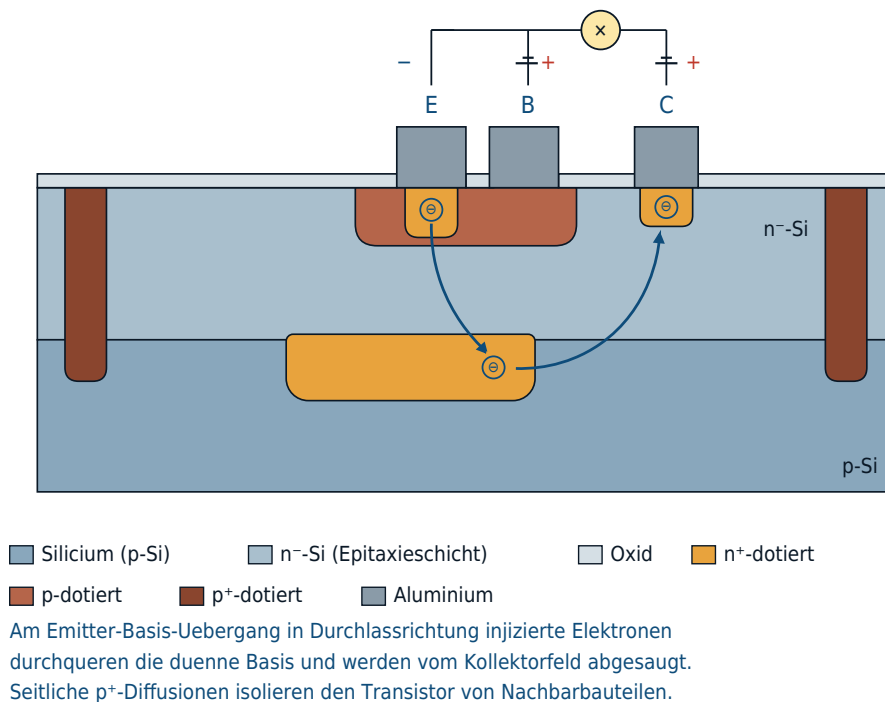
Bipolartransistor

Der zweite grundlegende Transistortyp ist der Bipolartransistor. Er besteht aus zwei gegeneinander geschalteten [p-n-Übergängen](#) mit der Schichtfolge n-p-n oder p-n-p; seine Anschlüsse heißen Emitter, Basis und Kollektor. Anders als beim MOSFET tragen hier beide Ladungsträgertypen – Elektronen und Löcher – zum Stromfluss bei, daher „bipolar“. Eine kleine Spannung an der dünnen Basisschicht öffnet den Übergang zum Emitter und lässt einen vielfach größeren Strom von Emitter zu Kollektor fließen. Bipolartransistoren sind schneller als MOSFETs, benötigen aber mehr Fläche. Details liefert das Kapitel [Aufbau eines npn-Transistors](#).

Durchgeschalteter npn-Transistor

Fertiger Bipolartransistor

Elektronenfluss vom Emitter ueber die Basis zum Kollektor



FinFET

Mit sinkender Strukturgröße reicht ein flach aufliegendes (planares) Gate irgendwann nicht mehr aus, um den Kanal zuverlässig zu sperren. Beim FinFET wird der Kanal deshalb als dünne, hochstehende Silicium-„Finne“ ausgeführt, die das Gate von drei Seiten umschließt – Source, Drain und die grundlegende Schaltfunktion bleiben identisch zum MOSFET. Durch den mehrseitigen Zugriff lassen sich Leckströme reduzieren und die Schwellspannung schärfer definieren. Wie ein FinFET im Detail aufgebaut und gefertigt wird, beschreibt das Kapitel [Aufbau eines FinFET](#).

DRAM-Zelle

Transistoren dienen nicht nur zum Schalten, sondern auch zum Speichern von Daten. Die DRAM-Zelle kombiniert dazu einen einzelnen Transistor mit einem Kondensator (1T1C-Zelle): Der Kondensator speichert ein Bit als elektrische Ladung, der Transistor verbindet ihn bei Bedarf über die Wordline mit der Bitline zum Lesen oder Schreiben. Da die Ladung über Leckströme langsam abfließt, muss sie alle paar Millisekunden aufgefrischt werden – daher „dynamisch“. Wie Kondensator und Zugriffstransistor gefertigt werden, zeigt

das Kapitel [DRAM-Fertigung: der Trench-Kondensator-Prozess](#).