

Wie funktioniert ein Transistor?

Es gibt zwei Arten bipolare und FETs. Beide basieren auf quantenmechanischen Eigenschaften von Halbleitern

Das ist:

Elektronen, die für Strom relevant sind, (Valenzelektronen) befinden sich in zwei Energiebänder

Wenn Valenzband voll ist, und Leitungsband leer, leitet der Halbleiter keinen Strom. Das entspricht reinem Halbleiter auf niedriger T. (Unterscheid zum gesunden Verstand)

Wenn man dem Halbleiter Donator-Atomen hinzufügt (etwa eins in Million), (Phosphor) spendieren diese Atomen ihre Elektronen die sich dann im Leitungsband bewegen. Diese Elektronen verhalten sich wie Elektronen in Vakuum. N-Typ Halbleiter.

Wenn man dem Halbleiter Akzeptor Atome hinzufügt, können die Elektronen aus dem Valenzband auf die Akzeptor Atome übergehen. Es bleiben Löcher (unbesetzte) Stellen im Valenzband. Auch jetzt, können sich die Elektronen im E-Feld bewegen, den Strom kann man aber modellieren, in dem man annimmt dass sich die Leere Stelle (Loch) wie ein positives Teilchen im E-Feld bewegt.

Man kann die Anwesenheit von Löchern und Elektronen auch damit erklären dass die Donator oder Akzeptor Ionen, durch ihre Ladung, die Energiebänder verformen. Elektronen sammeln sich in den Stellen im Leitungsband mit niedrigerem Potential.

Löcher sammeln sich in den Stellen im Valenzband mit höheren Elektronen Potential. (Dort ist die Wahrscheinlichkeit dass ein Elektron fehlt größer.)

Es ähnelt einem System mit Wasser, Bergen, usw.

Beide Arten von Transistoren basieren auf einer N-P-N (oder PNP) Struktur

Diese Struktur hat ein Energiediagramm wie auf der Folie

Die N-Bereiche haben niedrigere Elektronen-Potentiale (Donator-Ionen sind Positiv – sie ziehen die Elektronen an)

Wir möchten den Strom zwischen zwei N Bereichen durch die Spannung am Mittleren Bereich kontrollieren. Dabei verändern wir die Spannung des Mittleren Bereichs oder den Strom durch ihn. Wichtig ist es, dass für diese Ansteuerung weniger Leistung verbraucht wird als die Leistungsänderung im Hauptkontakt beträgt.

Ein Feldeffekt Transistor basiert auf Veränderung der Potentialbarriere durch die angelegte Spannung. Einfachste Auslegung ist MOS FET. Es ist eine Oberflächen Struktur. Oberhalb des P-Bereichs haben wir einen Kondensator.

Ohne Spannung leitet die Struktur nicht. Wenn wir auf die Elektrode (Gate) positive Spannung anlegen, verringert sich die Potentialbarriere. Wenn die Potentialbarriere verschwindet, können die Elektronen wie in einem Leiter zwischen zwei N-Bereichen fließen. Der P-Bereich wird ein N-Bereich.

Der Strom hängt von Gate Spannung ab. Für digitale Schaltungen ist es wichtig, ein MOS Transistor mit hoher Gate Spannung verhält sich wie ein geschlossener Schalter. Ein MOS Transistor mit niedriger Gate Spannung wie ein offener Schalter.

Es gibt auch einen komplementären MOS Transistor, der auf PNP Struktur basiert. Hier sind die Löcher die Ladungsträger. Um einen Löcher-Kanal zu bilden benötigt man negative Spannung. Ein PMOS leitet also wenn eine Gate Elektrode auf einem niedrigen Potential steht.

Wichtig ist hier folgendes zu merken.

Nur eine Art der Ladungsträger ist relevant für den Strom – hier Elektronen.

Der Strom fließt nur unmittelbar unter dem Isolator – Oberflächenstrom

Eine dünne Isolator-Lage ist für die Qualität entscheidend.

Die Funktionsweise eines bipolaren Transistors ist komplizierter.

Ich möchte im Vorfeld sagen, bei einem bipolaren Transistor, fließt der Strom durch das Ganze Volumen des Materials – nicht nur an der Oberfläche

Wir haben wieder die N-P-N Struktur. P Lage ist dünn.

Hier hat die P-Lage eigenen Kontakt. Dieser Kontakt dient zur Regelung. Wenn es keine Spannung zwischen dem P-Bereich (Basis) und dem linken N-Bereich (Emitter) gibt, sperrt der Transistor. Elektronen können die Potentialbarriere nicht überwinden. Wenn wir an Basis eine Stromquelle anschließen, leitet die P-N Diode und die Potentialbarriere wird niedriger. Trotzdem bleibt die Barriere erhalten, und es bildet sich keinen Elektronen-Kanal, wie im MOSFET, und der P-Bereich bleibt P. Es werden bloß die Elektronen als Minoritätsträger in P-Bereich injiziert. Sie gelangen dort da sie genügend thermische Energie besitzen. Wegen Injektion, ist die Elektronendichte höher nah am Emitter als tiefer in Basis. Die Elektronen bewegen sich durch P-Bereich durch Diffusion. Wenn Basis dick wäre, würden die injizierten Elektronen nach einer Weile mit den in Basis vorhandenen Löchern rekombinieren. Das heißt, die überschussige Elektronen würden in die Löcher fallen. Wenn aber Basis sehr dünn ist, ist die Wahrscheinlichkeit sehr hoch dass ein Injiziertes Elektron am Rande des Kollektors gelangt, ohne vorher zu rekombinieren. Sobald das passiert, wird das Elektron vom Kollektor aufgesaugt. Wir möchten dass möglichst Viele Elektronen in Kollektor fallen, und möglichst wenige rekombiniert werden. Denn die rekombinierten Elektronen bilden den Basis Strom. Wir möchten also bei einem möglichst kleinem Basisstrom einen großen Kollektor-Emitter Strom. Das kann man erreichen wenn Basiskontakt dünn ist, und die Beweglichkeit der Elektronen groß.

Der Strom zwischen Kollektor und Emitter hängt von der unterschiedlichen Dichten, hauptsächlich von der Elektronendichte am Emitter Rand.

$$I_{KE} = D n/L$$

Basisstrom hängt ebenfalls von Dichte n

$$I_B = n L/T$$

Das Verhältnis

$$I_{KE}/I_B = D T/L^2 = L_{dif}^2/L^2$$

Hier habe ich die Formel für die Diffusionslänge benutzt  $L_{dif}^2 = DT$

Falls die Basislänge viel kleiner als die Diffusionslänge (länge die die Ladungsträger zurücklegen bevor sie rekombinieren) ist  $I_{KE}$  viel Größer als  $I_B$ .

Beachten wir auch folgendes – der bipolare Transistor verhält sich mehr wie ein Stromverstärker und weniger als ein spannungsgesteuerter Schalter.

In keinem Arbeitsbereich gibt es eine ohmsche Verbindung zwischen Emitter und Kollektor. Deshalb lässt sich mit einem bipolaren Transistor nur bedingt ein Schalter realisieren. Logische Schaltungen mit bipolaren Transistoren sind zwar möglich (TTL, ECL Logik), deren Struktur ist aber komplizierter als im Falle von CMOS Schaltungen.