Einführung in die Halbleitertechnik

Ergänzung zum Skript Technische Informatik I

Marco Balke
mbalke@techfak.uni-bielefeld.de

26. Juni 2002

1 Elektrische Realisierung von Gattern

1.1 Halbleitertechnik

1.1.1 Eigenleitung

- Halbleiter können sowohl Isolator als auch Leiter sein. Sie leiten nur bei Temperaturen weit oberhalb 0 Kelvin und zeigen ein nicht-linieares Leitungsverhalten bei steigenden Temperaturen.
- Metallische Leiter (z.B. Kupfer) leiten am besten bei niedrigen Temperaturen und die Leitungsfähigkeit nimmt linear mit steigender Temperatur ab.
- Unterschiede der Energieniveaus der Elektronen bei Halbleitern und Leitern:

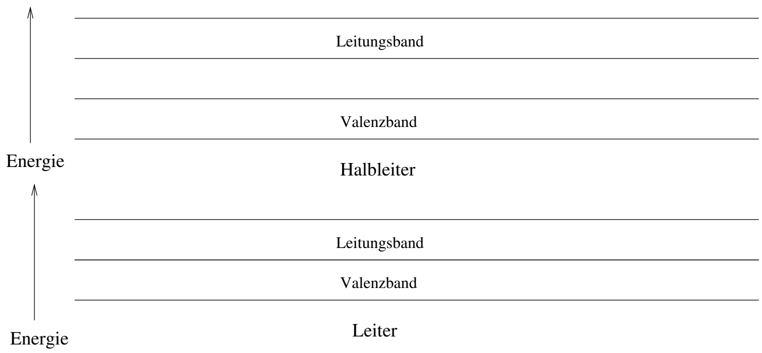

Abbildung 1: Bei Halbleitern gibt es einen größeren Abstand zwischen den Energieniveaus, deswegen muß dort eine größere Energie aufgebracht werden, um ein Elektron vom Valenzband ins Leitungsband zu bringen.

- Typisches Halbleitermaterial ist Silizium (Si). Es besitzt vier Valenzelektronen pro Atom und bildet eine Gitterstruktur.
- Bei höheren Temperaturen steigt die Bewegungsenergie der Atome und insbesondere der Elektronen. Dadurch können nun Elektronen mit genug Energie die Bindung verlassen und sich frei im Kristall bewegen. Legt man nun Spannung an den Kristall, findet eine zweifache Ladungsträgerbewegung statt:
  1. Freie Elektronen bewegen sich im Kristall in Richtung des positven Pols, die sog. *n-Leitung*.
  2. Die Löcher (auch als Defektelektronen bezeichnet) verschieben sich durch die Bewegung der Elektronen im Valenzband in Richtung des negativen Pols, die sog. *p-Leitung*.

- Die Eigenleitfähigkeit wird nur selten ausgenutzt, da bei höheren Temperaturen durch die höhere Bewegungsenergie der Atome mehr Elektronen mit diesen kollidieren und dadurch der elektrische Widerstand steigt.

1.1.2 Dotierung

- Eine um Größenordnungen bessere Leitfähigkeit wird durch die sog. Dotierung erreicht. Dabei werden Fremdatome in eine homogene Gitterstruktur eingebaut:
  - *p-Dotierung:* Einbau von Atomen mit drei Valenzelektronen, z.B. Bor oder Gallium. Dadurch gibt es Defektelektronen in der Gitterstruktur, wodurch p-Leitung ermöglicht wird. Diese Fremdatome werden als *Akzeptoren* bezeichnet, da sie freie Elektronen aufnehmen können.
  - *n-Dotierung:* Einbau von Atomen mit 5 Valenzelektronen, z.B. Arsen oder Phosphor. Dadurch sind freie Elektronen in der Gitterstruktur, wodurch n-Leitung ermöglicht wird. Diese Fremdatome werden auch als *Donatoren* bezeichnet, da sie freie Elektronen zur Verfügung stellen.

1.1.3 pn-Übergang und Dioden

- Theoretische Betrachtung: Beide Halbleiterhälften können gleichzeitig und in unendlich kurzer Zeit dotiert werden.
- Durch Diffusion an Grenze zwischen p- und n-dotiertem Gebiet rekombinieren Elektronen und Löcher.
- Durch die Raumladung der Ionen liegt eine Spannung an, die Diffusionsspannung U_D.
- Das Bauteil, das aus einer p- und einer n-dotierten Hälfte besteht, heißt *Diode*. Diese kann in Sperr- oder Durchlaßrichtung geschaltet werden.
  - *Sperrichtung:* Die angelegte Spannung U_A verstärkt die Spannung U_D, mehr bewegliche Ladungsträger werden abgesaugt, die Verarmungszone vergrößert sich, ein Stromfluß ist nicht möglich.
  - *Durchlaßrichtung:* Die angelegt Spannung U_A hebt die durch die Raumladung hervorgerufene Spannung U_D auf, die Elektronen bewegen sich gemäß der n-Leitung in Richtung des positiven Potentials, die Löcher entsprechend der p-Leitung entgegengesetzt.
    Die Spannung U_D muß zuerst überwunden werden, diese beträgt z.B. bei Silizium-Dioden ca. 0,6V.

1.1.4 Bipolartransistor

- Transistor: *Trans*fer Res*istor*
- Unterschied zur Diode: Ein Bipolartransistor hat 3 dotierte Schichten, wobei die beiden äußeren Schichten jeweils identisch dotiert sind. Der Name Bipolar erklärt sich daraus, daß sowohl Löcher- als auch Elektronenleitung entscheidend sind.
- Der Pfeil am Emitter gibt die technische Stromrichtung an.
- Im weiteren Verlauf wird der häufiger verwendete npn-Transistor verwendet.
- Durch die schwächere Dotierung der Basis rekombinieren dort die Löcher fast vollständig durch Diffusion. Dieses garantiert ein schnelles Durchschalten der Basis, wenn Spannung an das Bauteil angelegt wird.

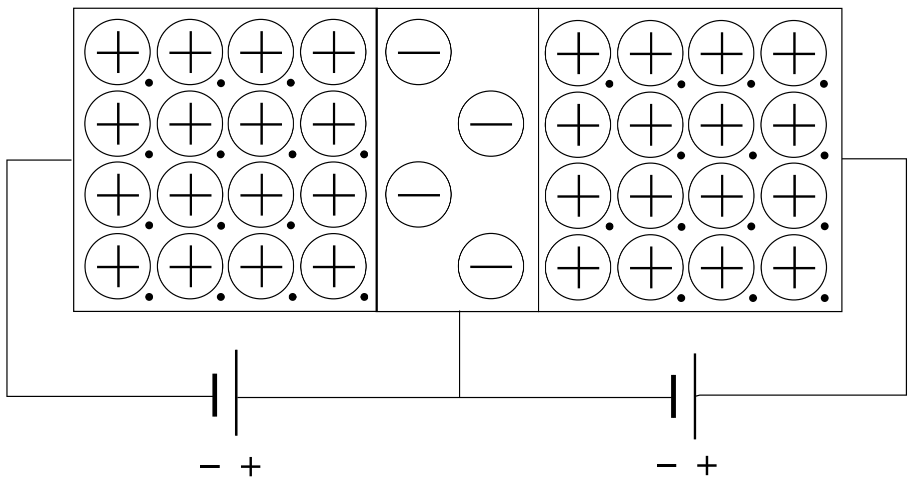

Abbildung 2: Ein beschalteter npn-Transistor.

- Wichtig für das Leitverhalten des Transistors sind die jeweiligen Potentialunterschiede zwischen Kollektor, Basis und Emitter.
- Vorausgesetzt der Potentialunterschied zwischen Basis und Emitter ist groß genug, um die Sperrschicht zu überwinden, dann werden die Elektronen aus dem Emitter in die Basis gedrückt. Ein kleiner Teil der Elektronen wird dort kombinieren, oder über die Basis abfließen, der Rest wird aufgrund des Potentialuntetrschiedes zwischen Basis und Kollektor die dortige Sperrschicht überwinden und über den Kollektor abfließen.

Daraus lassen sich drei Erkenntnisse ziehen:

1. Der Transistor ist ein aktives Bauelement, mit dem sich über einen schwachen Basisstrom der Stromfluß zwischen Emitter und Kollektor stufenlos steuern läßt.

2. Der Transistor ist ein Verstärker, den mit einem schwachen Basisstrom läßt sich als ein sehr viel größerer Emitter-Kollektor-Strom steuern. (Verstärkungfaktor $B = I_C/I_B$)

3. Der Transistor läßt sich als sehr schneller Schalter verwenden.