

Vorwort

Dieses Buch behandelt die Grundlagen der Mikroelektronik. Integrierte Schaltkreise unterschiedlichster Art sind ihre Bauelemente, und deren Produktionstechnik wird von Ingenieuren der Festkörpertechnik betrieben, die in der Elektrotechnik, der Physik und in der Chemie ausgebildet sind. Dieses Buch wendet sich an Studenten. Es ist entstanden aus einer Lehrveranstaltung der Elektrotechnik an der Technischen Universität Berlin für die Studienrichtung Mikroelektronik. Der Stoffumfang entspricht einer dreistündigen Lehrveranstaltung. Der angehende Ingenieur soll die Grundlagen der Systemtechnik überschauen, dank derer Integrierte Schaltkreise hergestellt werden können.

Die Entstehung des Buches in dieser Form wäre nicht ohne die Hilfe zahlreicher Personen möglich gewesen. In erster Linie ist dabei den studentischen Mitarbeitern, vor allem Bernd Weise, aber auch Matthias Issing und Thomas Meyer-Thorke zu danken für viele Anregungen und ihren geduldigen Einsatz bei der Umsetzung des Manuskriptes in eine druckfähige Form. Bernt Müller hat aus seiner breiten Erfahrung durch viele Hinweise das Vorhaben gefördert. Ebenfalls Dank für ihre Mithilfe gebührt Brigitte Auerbach und Andreas Eckert, aber auch allen Kollegen und Mitarbeitern, durch deren konstruktive Kritik das Manuskript verbessert werden konnte.

Übersicht über den Stoff des Buches

Im Mittelpunkt des Buches steht eine Einführung in die **Planartechnologie des Siliziums** und die damit hergestellten Halbleiterbauelemente. Insofern werden zunächst die **Grundprozesse** der Planartechnologie dargestellt und die damit erzielten Veränderungen des Halbleitermaterials physikalisch erläutert und mathematisch beschrieben. Die Grundprozesse stehen zur Verfügung, um Teile und Strukturen von Bauelementen zu erzeugen. Ein Standardprozess zur Herstellung eines CMOS-Inverters wird in der Maskenfolge beschrieben. Zur physikalischen Funktionsweise von **Grundstrukturen**, wie z. B. Widerstände, Kontakte, Transistoren usw., müssen die **Grundgleichungen** der Halbleitertechnik herangezogen werden und die Modelle des Quasi-Gleichgewichtes der Ladungsträger im Halbleitermaterial für das Dioden-Modell von W. Shockley hier erweitert werden zu **Nicht-Gleichgewichtsmodellen**. Deshalb werden **Quasi-Fermi-Niveaus** der Ladungsträger beschrieben, ebenso die für Siliziumbauelemente wichtige **Zwischenniveau-Rekombination** behandelt, mit der das Halbleitermaterial vom Nichtgleichgewicht ins Gleichgewicht übergeht. Es folgt die

Behandlung der wichtigen Grundstrukturen der Siliziumplanartechnologie für MOS-Bauelemente.

Da ist zunächst das Grundelement aller Halbleiterbauelemente, der *pn*-Übergang oder als Bauelement die „Halbleiterdiode“, in einer realistischen Beschreibung. Danach werden dann die **Metallkontakte** auf dem Halbleiter Silizium behandelt, die Widerstands- oder Diodeneigenschaften haben können: also entweder ohmsches Verhalten zeigen oder aber Schottky-Dioden sind. Weiter beschäftigen wir uns mit der **MOS-Oberfläche**, deren theoretische und experimentelle Beherrschung eine Voraussetzung für das Verständnis und den Bau von MOS-Schaltungen ist. Hier schließen wir mit der Beschreibung des in jeder MOS-Technologie betriebenen C(U)-Versuches. Dann wenden wir uns dem **MOS-Transistor** zu, dem Grundbaustein aller MOS-Schaltungen. Als einfachstes Beispiel für Integrierte Schaltungen steht wieder der bereits in der Technologie behandelte **CMOS-Inverter**. Eine kurze Betrachtung über **Halbleiterbauelemente als Massenprodukt** schließt dieses Buch ab.

Die Themen werden unter dem Aspekt behandelt, dass in der Praxis **Standardbeschreibungen** der Prozesstechnologie („**process modeling**“) und der physikalischen Funktion („**device modeling**“) existieren und zu **Programm-Systemen** benutzerfreundlich zusammengefasst werden. Für die Prozesstechnologie existieren beispielsweise Programmpakete **ISE-TCAD** mit dem Simulationsprogramm **DIOS** für die Prozesstechnologie [ISE03], für Bauelementfunktionen und Schaltungen z. B. das Programm **SPICE** [SPI03]. Insofern stehen neben physikalischen Erläuterungen algorithmische Beschreibungen im Mittelpunkt, und bis zu ihnen führen die Erörterungen. Meist wird in diesem Buch auch die Ableitung einer Gleichung angegeben. Hinweise auf neueste Verfahren und Prozeduren werden als Einschub knapp gehalten, weil es im Buch um eine einführende Darstellung geht.

Das Buch beschäftigt sich mit dem kristallinen **Silizium**, aus dem 1999 ca. 95% der weltweit gefertigten Halbleiterbauelemente gefertigt wurden. Demgegenüber tritt die Bedeutung anderer Materialien zurück, z. B. die des amorphen Siliziums (für Solarzellen und Dünnschichttransistoren) und die des Galliumarsenids sowie anderer Verbindungshalbleiter (für optoelektronische Bauelemente).

Das Buch zielt auf die **Standardbausteine der Silizium-Planartechnologie**, die Anreicherungs-MOS-Transistoren und den CMOS-Inverter. In CMOS-Technologie werden mehr als 90 % aller am Markt gängigen ICs gebaut. Insofern wird auf die Behandlung des

Bipolar-Transistors in diesem Buch weitgehend verzichtet und auf andere Darstellungen verwiesen, z. B. [Gro67], [Sze85].

Zusätzlich zu den Literatur-Referenzen im Text folgen hier einige **Hinweise auf zusammenfassende Darstellungen** (vorwiegend in englischer Sprache) zum ergänzenden oder weiterführenden Studium der Halbleitertechnik allgemein bzw. für einzelne Kapitel dieses Buches. Bei der Auswahl wurde der didaktische Wert der Werke über die Aktualität gestellt. Insofern wird auch das Buch A. S. Grove aus dem Jahre 1967 angeführt, das seinerzeit eine neue Epoche der Halbleitertechnik eröffnete und bis heute seine zeitlose Geltung bewahrt hat.

- Allgemein: S. M. Sze, *Physics of Semiconductor Devices*, John Wiley, 1981.
D. A. Neamen, *Semiconductor Physics and Devices*, Irwin, 1992.
K. Hoffmann, *VLSI-Entwurf*, Oldenbourg, 1998.
J. D. Plummer; M. D. Deal; P. B. Griffin, *Silicon VLSI Technology*, Prentice Hall Electronics, 2000.
- Kap. 1: I. Ruge, *Halbleitertechnologie*, Springer, 1985.
S. M. Sze, *VLSI-Technology*, Mc Graw Hill, 1983.
C. Y. Chang; S. M. Sze, *ULSI-Technology*, Mc Graw Hill, 1996.
- Kap. 2: A. Schenk, *Advanced Physical Models for Silicon Device Simulation*, Springer, 1998.
S. Selberherr, *Analysis and Simulation of Semiconductor Devices*, Springer, 1984.
- Kap. 3: A. Möschwitzer, *Halbleiterelektronik*, A. Hüthig, 1975.
- Kap. 4: A. S. Grove, *Physics and Technology of Semiconductor Devices*, John Wiley, 1967.
- Kap. 5: E. H. Rhoderick, *Metal-Semiconductor Contacts*, Clarendon Press, 1978.
- Kap. 6: S. M. Sze, *Semiconductor Devices, Physics and Technology*, John Wiley, 1985.
- Kap. 7: Y. P. Tsividis, *Operation and Modeling of the MOS transistor*, Mc Graw Hill, 1988.

Die meisten der in diesem Buch dargestellten Kurvenscharen, die anhand der behandelten Gleichungen gezeichnet wurden, sind im Programm MATHCAD Version 8 errechnet worden.