



Doctoral Thesis

Design and implementation of a three-dimensional, general purpose semiconductor device simulator

Author(s):

Heiser, Gernot; Baltes, Henry

Publication Date:

1991

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000592987> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 9382

**Design and Implementation
of a
Three-Dimensional,
General Purpose
Semiconductor Device Simulator**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by
GERNOT HEISER
Master of Science, Brock University
born 7 July 1957
citizen of Germany

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. W. Fichtner, examiner
Prof. Dr. H. Baltes, co-examiner

1991

W. Fichtner

Abstract

Since the early work by Gummel in the 1960s, numerical simulation of semiconductor devices has developed into an indispensable tool for device engineers. So far, most device simulations have been one or two dimensional. With continuously shrinking device features truly three-dimensional (3d) treatment of the semiconductor becomes necessary.

A few 3d device simulation programs exist since the early 1980s, but their applicability is limited by the fact that they cannot simulate really general device geometries. They all use grids that are tensor-products of one- and two-dimensional meshes, which leaves little flexibility in modelling the third dimension.

This thesis describes the design and implementation of SECOND, a general-purpose, 3d semiconductor device simulator. SECOND solves the traditional drift-diffusion equations of the semiconductor. The partial differential equations are discretized with the box method on a general 3d mesh consisting of a mixture of tetrahedra, quadrilateral pyramids, triangular prisms, and parallel epipeds. The one dimensional Scharfetter-Gummel scheme is used for integrating the current relations along grid edges. Decoupled (Gummel) and coupled (Newton) methods are implemented for linearizing the discrete equations. Iterative methods (preconditioned conjugate-gradient type algorithms) are used for the solution of the linear systems. A time discretization with automatic time step control, based on an estimate of the local truncation error, is used for transient simulations. Physical models implemented include doping and field dependent carrier mobilities, surface scattering, band gap narrowing, and generation and recombination models with doping dependent carrier life times.

The flexibility of SECOND is demonstrated on a few case studies. One

is an investigation of parasitic MOSFETs in a trench isolated sub-micron n-MOS device. This study demonstrates how design rules may be drawn up based on the results of 3d device simulations. A second example investigates latchup in CMOS devices and contains a comparison between two- and three-dimensional simulation results. A third case is a study of the switching behaviour of a bipolar transistor.

Zusammenfassung

Seit den frühen Arbeiten von Gummel in den sechziger Jahren hat sich die numerische Simulation von Halbleiterbauelementen zu einem unverzichtbaren Werkzeug für den Entwurf neuer Bauelemente entwickelt. Bisher waren die meisten Bauelementsimulationen ein- oder zweidimensional. Mit zunehmender Reduktion der Größe der Bauelemente wird jedoch eine echt dreidimensionale (3d) Behandlung der Halbleiterstrukturen notwendig.

Einige wenige 3d Bauelementsimulationsprogramme existieren seit den frühen achtziger Jahren, ihr Anwendungsbereich ist jedoch durch die Tatsache beschränkt, daß sie keine Behandlung wirklich allgemeiner Geometrien erlauben. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, daß die von diesen Programmen verwendeten Gitter Tensorprodukte ein- und zweidimensionaler Gitter sind, was nur eine wenig flexible Modellierung der dritten Raumdimension erlaubt.

Diese Dissertation beschreibt den Entwurf und die Implementierung von SECOND, einem dreidimensionalen Bauelementsimulator mit breitem Anwendungsspektrum. SECOND basiert auf der numerischen Lösung der traditionellen Drift-Diffusionsgleichungen für Halbleiter. Diese partiellen Differentialgleichungen werden mittels der Box-Methode auf einem allgemeinen dreidimensionalen Gitter, bestehend aus Tetraedern, Viereckspyramiden, Dreiecksprismen und Parallelepipeden, diskretisiert. Für die Integration der Kantenströme wird das eindimensionale Scharfetter-Gummel-Verfahren benutzt. Zur Linearisierung der diskreten Gleichungen wurden entkoppelte (Gummel-) und gekoppelte (Newton-) Verfahren implementiert. Die resultierenden linearen Gleichungssysteme werden mit iterativen Verfahren, basierend auf der Methode der konjugierten Gradienten, gelöst. Die Zeitintegration verwendet eine automatische Schrittweitenkontrolle basierend auf einer Abschätzung des lokalen Diskretisierungs-

fehlers. Die implementierten physikalischen Modelle beinhalten dotierungs- und feldabhängige Beweglichkeiten der Ladungsträger, Oberflächenstreuung, Bandlückenverengung, sowie Erzeugungs- und Rekombinationsmodelle mit dotierungsabhängigen Lebensdauern.

Die vielfältige Verwendbarkeit von SECOND wird anhand einiger Fallstudien demonstriert: Eine Untersuchung parasitärer MOSFET-Elemente in einem n-MOS-Transistor zeigt, wie aufgrund von Simulationsergebnissen Designregeln für integrierte Schaltungen aufgestellt werden können. Als weiteres Beispiel dient eine Studie von Latchup-Effekten in CMOS-Strukturen, die auch einen Vergleich zwischen zwei- und dreidimensionalen Simulationsergebnissen präsentiert. Als letzter Fall wird das Schaltverhalten eines Bipolartransistors untersucht.