

TRANSIENT ONE-DIMENSIONAL NUMERICAL ANALYSIS OF BIPOLAR POWER SEMICONDUCTOR DEVICES

A dissertation submitted to the
**SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZÜRICH**

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by
C. CHRISTIAAN ABBAS
Dipl. El.-Ing. ETH Zürich
born July 22, 1956 in Emmen, The Netherlands

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. H. Melchior, examiner
Prof. Dr. P. Henrici, co-examiner

ADAG Administration & Druck AG

Zürich 1984

ABSTRACT

A computer program called COMPASS - Computer Program for the Analysis of Semiconductors - has been developed which can simulate the complete turn-off processes of various bipolar power semiconductor devices in a circuit. The main purpose of the program is to analyse theoretically how and to what extend the turn-off process of a power semiconductor device can be optimized taking into account the interaction between circuit and device.

Shockley-Hall-Read and Auger processes, lattice, ionized impurity, and carrier-carrier scattering, the saturation of the carrier velocity at high electric fields, and impact ionization have been taken into account in Compass. The discrete one-dimensional continuity and Poisson equations have been solved simultaneously by Newton's method. The currents in the device are calculated using the Scharfetter-Gummel method. The distribution of the grid points is adapted to each device simulated. The time steps are a function of the actual state of the device and also depend upon the circuit.

To the author's knowledge, Compass is the first computer program with the following features : consideration of two energy levels for the Shockley-Hall-Read recombination process in the case of gold-doped silicon; consideration of all scattering processes mentioned above for the calculation of the carrier mobility in the case of transient simulations; simulations of realistic turn-off processes of power semiconductor devices; avalanche breakdown of the gate-cathode junction in the case of turn-off simulations of thyristors.

The results of various simulations are compared with those values actually obtained by measurements of the real devices. A systematic analysis of the influence of various parameters on the turn-off behaviour of power diodes has been carried out using Compass. Also the results of simulations of transistors and thyristors are described.

The detailed analysis of the turn-off behaviour of power diodes indicates that for a given geometry the only two device parameters which

significantly influence this behaviour are the impurity concentration at the anode surface and the carrier lifetime. It is shown that the reverse current and voltage peak linearly depend upon the latter parameter.

ZUSAMMENFASSUNG

Es wurde das Computerprogramm COMPASS (Computer Programm für die Analyse von Halbleitern) entwickelt, welches den ganzen Abschaltprozess bipolarer Leistungsbauelemente in einer Schaltung simuliert. Dieses Programm dient hauptsächlich dazu, theoretisch zu untersuchen, wie und in welchem Masse der Abschaltvorgang eines Leistungsbauelementes optimiert werden kann unter Berücksichtigung der Wechselwirkung zwischen Bauelement und Schaltung.

Shockley-Hall-Read und Auger Prozesse, Streuung am Kristallgitter und an ionisierten Störstellen und Träger-Träger Streuung, sowie die Sättigung der Trägergeschwindigkeit bei hohen elektrischen Feldern und die Stossionisation werden in Compass berücksichtigt. Die diskretisierten eindimensionalen Kontinuitäts- und Poisson-Gleichungen werden simultan mit Hilfe der Newton Methode gelöst. Für die Berechnung der Ströme im Bauelement wird die Scharfetter-Gummel Methode benutzt. Die Verteilung der Gitterpunkte ist dem simulierten Bauelement angepasst. Die Zeitschritte sind eine Funktion des momentanen Zustandes des Baulementes; sie hängen auch von der Schaltung ab.

Soweit mir bekannt ist, stellt Compass das erste Computerprogramm dar, das folgende Möglichkeiten bietet : Berücksichtigung von zwei Energie-Niveaux für die Berechnung der Shockley-Hall-Read Rekombinationsrate in gold-dotierten Silizium; Berücksichtigung aller oben genannten Streuprozesse für die Berechnung der Trägerbeweglichkeit bei transienten Simulationen; Simulationen von realistischen Abschaltprozessen von Leistungshalbleiterbauelementen; Berücksichtigung des Lawinendurchbruchs des Gate-Kathoden pn-Uberganges beim Abschalten eines Thyristors.

Die Ergebnisse verschiedener Simulationen werden mit Werten verglichen, die an echten Bauelementen gemessen wurden. Mit Hilfe von Compass wurde eine systematische Analyse durchgeführt, um den Einfluss verschiedener Parameter auf das Abschaltverhalten von Leistungsdioden festzustellen. Ergebnisse von Transistor- und Thyristorsimulationen werden ebenfalls dargestellt.

Die genaue Analyse des Abschaltverhaltens von Leistungsdioden zeigt, dass bei konstanter Geometrie dieses Verhalten nur von zwei Bauelementparametern beeinflusst wird, nämlich von der Randkonzentration der Dotierung an der Anode und von der Trägerlebensdauer. Es wird gezeigt, dass Rückstrom- und Rückspannungsspitze eine lineare Funktion von letzterem Parameter sind.