



Doctoral Thesis

Leistungsdioden mit Lastkreis physikalisches Modell und Experimente

Author(s):

Lawatsch, Herbert M.

Publication Date:

1993

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000887621> →

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 Nr. 10126

**LEISTUNGSDIODEN MIT LASTKREIS;
PHYSIKALISCHES MODELL UND EXPERIMENTE**

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN
HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

HERBERT M. LAWATSCH
Dipl.-Ing. Techn. Phys.
Techn. Hochschule Wien
geboren am 5. Dezember 1929
in Innsbruck, Österreich

Angenommen auf Antrag der Hrn.
Prof. Dr. H. Melchior, Referent
Prof. Dr. H. Stemmler, Korreferent
Prof. Dr. A. A. Jaecklin, Korreferent

ADAG Administration & Druck AG

Zürich 1993

ABSTRACT

Besides the accomplishment of the stationary operating conditions in application of bipolar high power diodes high dynamical requirements are getting important . The turn-on, steady-state and turn-off process of bipolar power diodes taking into account the interaction of circuit *and* device is calculated, measured and analysed, assisted by a specially developed modelling, a computer program called RECIRC - Rectifier and Circuit - .

Simulation and experiment are showing that at turn-on the forward voltage drop of diodes can be much higher during several μs until the axial steady-state carrier distribution within the diode is reached. That increase depends primarily on: a) turn-on di/dt , b) wafer thickness and c) junction temperature.

Different technological methods to influence the turn-off behaviour with respect to minimize turn-off losses are discussed and compared:

- a) Inducing a defined density of impurities into the neutral zone to influence the carrier life-time (e.g. Au-doping) leads especially for diodes with high reverse blocking voltages to a dramatically rise of the on-state losses;
- b) varying the charge carrier life-time or the edge concentration of the emitter profile or
- c) inhomogenous carrier life-time profiles in the neutral zone (proton implantation) reduce that increase to a tolerable range with respect to the application. .

Of both switching processes the physical background is investigated. The reverse current for instance causes an increasing electrical field. With regard to the reliability in high power electronics worst-case conditions caused by dynamical avalanche are simulated by implementing the program RECIRC.

The lay-out for diodes in the periphery of gate turn-off thyristors (GTO) is following an optimisation process simultaneously observing the dynamical parameters and steady-state conditions, especially the reverse blocking capability, of the device.

To the author's knowledge, RECIRC is the first computer program with the following feature: Simulation and special measurements are proving that after a storage phase the recovery current consists of two components. One of them is due to the device when the expansion of the space charge layer is neglected, the other is due to the expansion of the space charge layer and influenced by the wave-form of the reverse voltage. - That detailed knowledge about physics at turn-off of power diodes is also applicable to thyristors and, important for application, allows to establish the equivalent electrical circuit at recovery for these devices.

ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Anwendung von Hochleistungsdioden rücken neben der Erfüllung der stationären Betriebsdaten auch erhöhte dynamische Anforderungen in den Vordergrund. Die Vorgänge beim Einschalten, dem stationären Betrieb und dem Ausschalten werden, unterstützt von einem speziell entwickelten Computerprogramm genannt RECIRC - Rectifier and Circuit -, berechnet, mit den Meßresultaten verglichen und analysiert.

Simulation und Experiment weisen beim Einschalten von Leistungsdioden bis zum Erreichen einer stationären axialen Ladungsträgerverteilung innerhalb der Diode für einige μs wesentlich höhere Durchlaßwerte auf. Dieser Anstieg hängt vor allem ab von:

- Der Anstiegsteilheit des Stroms,
- der Dicke des Wafers und
- der Junction-Temperatur.

Unterschiedliche technologische Methoden das Schaltverhalten mit dem Ziel einer Minimierung der Ausschaltenergie zu beeinflussen werden diskutiert und verglichen:

- Die Lebensdauereinstellung über eine definierte Dichte von Störstellen in der neutralen Zone (z. B. Au-Dotierung) führt , insbesondere bei Dioden mit hoher Sperrfähigkeit, zu einem dramatischen Anstieg der Durchlaß-Verluste;
- eine Variation von Trägerlebensdauer oder Randkonzentration des Emitter-Profiles oder ein
- inhomogenes Trägerlebensdauer-Profil in der Basis (Protonen Implantation) beschränkt diesen Anstieg auf einen für die Anwendung akzeptablen Wert.

Bei den Schaltvorgängen wird der physikalische Hintergrund beleuchtet. Der Rückstrom z. B. verursacht eine Erhöhung der elektrischen Feldstärke. Im Hinblick auf eine Sicherung der Zuverlässigkeit in der Leistungselektronik können an Hand von RECIRC durch dynamischen Avalanche verursachte worst-case Bedingungen simuliert werden.

Die Auslegung von Leistungsdioden in der Peripherie von Gate-abschaltbaren Thyristoren (GTO) unterliegt einem Optimierungsprozeß im Hinblick auf die Einstellung der dynamischen Parameter bei gleichzeitiger Erfüllung der stationären Bedingungen, insbesondere der Sperrfähigkeit des Halbleiters.

Soweit dem Author bekannt, ist RECIRC ist das erste Computerprogramm mit folgendem charakteristischem Merkmal: Simulation und Spezialmessungen beweisen, daß nach Ablauf einer Storage-Phase der Rückstrom aus zwei Komponenten besteht. Eine von diesen entspricht einem Rückstrom des Halbleiters unter Vernachlässigung der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Raumladungszone, die andere resultiert aus dem

wechselseitig von Halbleiter und Schaltkreis bedingten Sperrspannungsverlauf und dessen Einfluß auf die Ausbreitung der Raumladungszone.

Diese detaillierte Kenntnis der physikalischen Vorgänge beim Abschaltvorgang von Leistungsdioden ist auch auf Thyristoren übertragbar und erlaubt, wesentlich für den Anwender, die Erstellung eines elektrischen Ersatzschaltbildes für den Abschaltvorgang des Halbleiters in einem Schaltkreis.