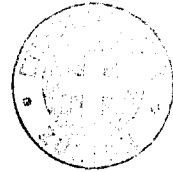


# **The Transparent Anode GTO (TGTO): A New Low-Loss Power Switch**

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
ZURICH

for the degree of  
Doctor of technical sciences

presented by  
**SIMON EICHER**  
Dipl. El.-Ing.  
born February 14, 1967  
citizen of Switzerland



accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. W. Fichtner, examiner  
Prof. Dr. A. A. Jaecklin, co-examiner

# Abstract

In this thesis the Gate Turn-Off (GTO) thyristor with transparent anode emitter, or briefly TGTO, is described for the first time in detail. The unique feature of this new switching device for high power applications is its anode design. It uses a buffer layer, which stops the electric field before it can reach into the anode layer. This allows to reduce the device thickness from originally  $830\ \mu\text{m}$  to  $525\ \mu\text{m}$  for 4.5 kV devices. Typically, buffer layer GTO devices need large gate trigger currents to cause strong hole injection from the anode emitter required for save turn-on. To avoid this problem, the TGTO is equipped with a homogeneous anode without shorts. To achieve a good turn-off capability all the same, the anode has an extremely low injection efficiency. This is accomplished by a shallow diffusion and a low peak doping concentration.

Because of the reduced wafer thickness, the loss figures can be massively cut down as compared to conventional devices without buffer. We manufactured and characterized full-scale 4.5 kV/3 kA TGTO devices. Depending on the buffer and the anode design, these devices have turn-off losses, which are 30% to 65% lower and the conduction losses are reduced by 35% to 60%.

Because of the homogeneity of the anode layer, these TGTO devices have very low gate trigger currents ( $I_{GT}$ ). In order to attain the required minimum value of the  $I_{GT}$  for some applications, we manufactured devices with two different anode shorting schemes with shorting percentages below 1%. These designs were based on extensive simulation work with the ISE-TCAD tools [ISE95c]. There resulted a successful first integration and the possibility to adjust the  $I_{GT}$  within an unprecedentedly large range.

The failure mode limiting the turn-off capability of TGTO thyristors was successfully modeled with cylindrical quasi 3-D structures. From the analysis of the failure mechanism we deduced design rules, which allow to increase the

maximum controllable current significantly. The use of a hard gate drive unit, which prevents current filamentation is discussed as a possibility for further extending the safe operation area.

The concept of the TGTO thyristor is very well suited for devices with ultrahigh blocking voltages. A structure with a blocking capability of 7 kV was simulated, which has a wafer thickness that is still less than that commonly used for conventional 4.5 kV GTO devices. The simulations showed that the losses of such high voltage devices are comparable to those of conventional 4.5 kV GTO thyristors. This means that a significant increase of the blocking voltage can be achieved without having to pay for it with increased loss figures.

# Zusammenfassung

In dieser Dissertation wird der ‘Transparente Gate Turn-Off (TGTO)’ Thyristor zum ersten Mal detailliert beschrieben. Das Neuartige an diesem Bauelement liegt im Design der Anode. Es hat eine Stoppschicht, die verhindert, dass das elektrische Feld im Blockierfall in die Anode durchgreift. Das erlaubt eine Reduktion der Bauelementdicke von ursprünglich  $830\ \mu\text{m}$  auf  $525\ \mu\text{m}$  für 4.5 kV Thyristoren. Bisherige GTOs mit Stoppschicht brauchen typischerweise sehr hohe Gateströme, um sicher eingeschaltet zu werden. Um dieses Problem zu vermeiden, weist der TGTO eine Anode mit extrem niedriger Injektionseffizienz auf. Dies wird durch eine geringe Eindringtiefe und eine niedrige Randkonzentration erreicht. Auf diese Weise lassen sich hohe Ströme ausschalten, ohne dass Kurzschlüsse auf der Anodenseite notwendig wären.

Aufgrund der niedrigen Bauelementdicke lassen sich die Verluste im Vergleich zu herkömmlichen Bauelementen ohne Stoppschicht massiv senken. Bei den von uns hergestellten und gemessenen 4.5 kV/3 kA TGTOs mit einer Fläche von  $50\ \text{cm}^2$  konnten die Ausschaltverluste um 30% bis 65% und die Durchlassverluste um 35% bis 60% abgesenkt werden. Der Grad der Absenkung hängt dabei in erster Linie vom Design der Stoppschicht und der Anode ab.

Wegen der homogenen Anode ohne Kurzschlüsse lassen sich diese TGTO Typen mit einem sehr niedrigen Gatestrom ( $I_{GT}$ ) zünden. Für gewisse Anwendungen ist aber ein minimales  $I_{GT}$  vorgeschrieben, das von den TGTOs mit homogener Anode nicht erreicht wird. Um diese Anforderung zu erfüllen, haben wir TGTO Thyristoren mit kleinen Anodenkurzschlüssen entwickelt. Es wurden dabei Bauelemente mit zwei verschiedenen Anodenmasken hergestellt, bei denen die kurzgeschlossene Fläche jeweils weniger als 1% von der gesamten Anodenfläche ausmacht. Ausgiebige Simulationen mit den ISE-TCAD Tools [ISE95c] haben dazu geführt, dass die erste Integration bereits erfolgreich war,

und dass der Gatestrom in einem weiten Bereich eingestellt werden kann.

Der Fehlermodus, der den maximalen Ausschaltstrom begrenzt, wurde mit einer quasi 3-D Struktur erfolgreich modelliert. Dabei wurde eine zylindersymmetrische Struktur mit mehreren Zellen unter Berücksichtigung thermischer Effekte simuliert. Aus der Analyse des Fehlermechanismus haben wir Designregeln abgeleitet, die eine wesentliche Erhöhung des maximal ausschaltbaren Stromes erlauben. Mit dem Einsatz einer speziellen Gateansteuerung (hard switching gate unit) wird es möglich, nochmals erhöhte Ströme und Spannungen zu schalten.

Das Konzept des TGTOs ist sehr geeignet für Bauelemente mit extrem hoher Sperrspannung. Um dies zu demonstrieren, wurde eine Struktur simuliert, die für eine maximale Sperrspannung von 7 kV ausgelegt ist. Da ein solches Bauelement nicht dicker ist als ein herkömmlicher 4.5 kV GTO ohne Stoppschicht, resultierten auch vergleichbare Verluste. Dies bedeutet, dass mit dem neuen Konzept eine wesentlich höhere Sperrspannung erreicht werden kann, ohne dass dabei, im Vergleich zu heutigen 4.5 kV Bauelementen, der Preis höherer Verluste bezahlt werden müsste.