

Dissertation No. 4023

# **Offset Gate Field Effect Transistors with High Drain Breakdown Potential and Low Miller Feedback Capacitance**

A Dissertation submitted  
to the

**SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
ZURICH**

for the degree of  
Doctor of Technical Sciences

Presented by

**HANS G. DILL**  
dipl. El. Ing. ETH

born 27 May 1927  
from Pratteln (Kt. Baselland)

Accepted on the recommendation of

Prof. Dr. M. J. O. Strutt  
P. D. Dr. W. Guggenbühl

Offsetdruck Trulex, Zürich  
1967

## SUMMARY

Insulated Gate Field Effect Transistors (IGFET) with the gate offset from the drain electrode exhibit high drain breakdown potential and very low Miller feedback capacitance. The offset inversion channel not covered by the gate may be created by substitutional impurities or induced by a field from surface states or from an auxiliary gate. Available high frequency N channel devices, where the offset channel is induced by positive surface states, are limited in application because of stability problems related to ion migration in the gate insulation material. Two new offset gate IGFET's described herein are the Insulated Gate Tetrode (IGT), which utilizes a second stacked gate to induce the offset channel, and the Insulated Gate Off-Set Transistor (IGOST), in which the offset channel is produced with ion implantation. The main advantages of these devices are better stability, availability of P and N channel devices, and the possibility of optimizing the device performance, especially the drain breakdown potential. Considered in the paper are design and fabrication problems, V-I characteristics, drain breakdown potential, dynamic drain resistance, small signal equivalent circuit, large signal limitations, and 1/f noise. P channel devices with drain breakdown potentials up to 350 V have been built. The design of the IGT and IGOST depends mainly on the tradeoff between drain breakdown potential and the limited frequency response caused by the time constant of the offset channel. The results to date indicate that the IGOST has a larger and more linear drain voltage range and a higher frequency response than IGT, but the IGT is more adaptable for different operating conditions. Both the IGT and IGOST are very promising for use in power amplifiers and as switching devices.

## ZUSAMMENFASSUNG

Feld Effekt Transistoren mit einem isolierten Gate, das nicht bis zur Drain Elektrode reicht, zeigen eine hohe Drain Durchbruchspannung und eine niedrige Miller Rückkopplungskapazität. Dieser Transistortyp weist jedoch nur Pentodencharakteristik auf (hohe Ausgangsimpedanz), wenn ein zweiter leitender Kanal den bereits vorhandenen Kanal mit der Drain Elektrode verbindet. Ein solcher Kanal entsteht entweder durch eine Schicht von Störstellen im Silizium oder wird induziert durch ein Feld von einer zusätzlichen Gate Elektrode oder von Oberflächenladungen. N Kanal Transistoren, bei welchen der zweite Kanal von positiven Oberflächenladungen induziert ist, haben eine beschränkte Anwendung. Man kann bei diesen Transistoren die hohe Drain Durchbruchspannung nicht ausnützen, da eine Ionenwanderung im Isoliermaterial den zweiten Kanal zu unterbrechen vermag. Dies führt zu einer raumladungsbegrenzten Triodencharakteristik mit anfänglich grossem Ausgangswiderstand.

In diesem Bericht werden die mit einem zusätzlichen Gate versehenen Transistoren (IGT) gründlich untersucht und mit Transistoren verglichen, bei denen der zweite Kanal mit Ioneneinschusstechnik hergestellt wird (IGOST). Beide Typen sind bei hohen Source-Drain Spannungen stabil, haben eine sehr kleine Miller Kapazität und können in P oder N Kanal Ausführung hergestellt werden. Die folgenden Gebiete werden im Detail besprochen: Fabrikationsprozess, Kennlinienfeld, Drain Durchbruch, Ausgangswiderstand, Ersatzschaltbild für kleine Signalspannungen, Verhalten bei grossen Signalspannungen und 1/f Rauschen. P Kanal Transistoren mit Durchbruchspannungen bis zu 350 V wurden selber hergestellt. Der Entwurf dieser neuen Transistoren führt im allgemeinen zu einem Kompromiss zwischen der Drain Durchbruchspannung und dem Frequenzbereich, der durch die Zeitkonstante des zweiten Kanals bestimmt wird. Ein Vergleich zwischen dem IGT und dem IGOST zeigt, dass der IGOST einen etwas grösseren Frequenzbereich und eine grössere Drain Durchbruchspannung aufweist. Der IGOST hat jedoch den Nachteil, dass der Widerstand des zweiten Kanals eine unveränderliche Grösse ist.

Es ist daher äusserst wichtig, dass dieser Kanal sorgfältig dimensioniert und genau hergestellt wird. Der IGT hingegen kann mit Hilfe des zweiten Gates den gewünschten Betriebsbedingungen angepasst werden. Beide Transistortypen eignen sich als Leistungsverstärker mit kleinen Verzerrungen und als Leistungsschalter.