

Doktor-Arbeit

Untersuchung von Grenzflächen-Defekten an modernen Si-MOSFETs

Einleitung:

Die Negative Bias Temperature Instability (NBTI) wurde bereits im Jahre 1960 erstmals beobachtet: Die Einsatzspannung von Metal-Oxide-Semiconductor-Field-Effekt-Transistoren (MOSFETs) verschiebt sich durch den Einbau von Ladungen ins Oxid, wenn Spannung an das Gate angelegt wird. Dieser Effekt tritt besonders bei p-Kanal MOSFETs beim Anlegen von negativer Gate-Spannung auf, und verstärkt sich bei höherer Temperatur. Mit Verkleinerung der Gate-Oxid Dicken und dem Ersatz von SiO₂ durch Isolatoren mit höherer Dielektrizitäts-Konstante hat sich gezeigt, dass NBTI der dominierende Degradations-Mechanismus in modernen CMOS-Schaltkreisen ist. Die ursprüngliche und weit verbreitete Erklärung für NBTI war die Reaction/Diffusion Theorie (R&D). Nach R&D wird unter dem Einfluss von elektrischem Feld und Temperatur Wasserstoff von der Si-SiO₂ Grenzfläche losgerissen und diffundiert ins Oxid. Mit dem Fehlen dieses Wasserstoffs entstehen an der Grenzfläche nicht abgesättigte Bindungen und positive Ladungen, die die Einsatz-Spannung verschieben. In den letzten 2 Jahren haben nun neuere Untersuchungen gezeigt [1, 2], dass viele experimentelle Beobachtungen nicht mit R&D erklärt werden können. Es stellte sich heraus, dass NBTI durch „capture“ und „emission“ von Ladungen in grenzflächen-nahen Defekten erklärt werden kann, und dass NBTI die selbe Ursache hat wie das sog. Random-Telegraph-Signal (RTS). RTS wird verursacht durch die Verschiebung der MOSFET Einsatzspannung V_{th} durch Einfang einer einzelnen Ladung im Oxid. In einem sehr kleinen MOSFET erzeugt dies eine klar erkennbare, diskrete Stufe in V_{th} (vgl. Fig. 1). RTS war das Thema von mehreren 100 Arbeiten in den 1980er Jahren. Eine der experimentellen Herausforderungen bei der Untersuchung der Oxid-Defekte ist, dass die capture- und emissions-Zeitkonstanten τ_e und τ_c weit verteilt sind, über Zeiten von $<\mu\text{s}$ bis $>100\text{ks}$. Eine neue und verbesserte Messmethode, die in ref. [1, 2] beschrieben wird, ermöglicht die Bestimmung der Feld- und Temperatur-Abhängigkeit von τ_e und τ_c . In Fig. 2 werden Beispiele für Messdaten gezeigt.

Ziele und Aufgabenstellung:

Hauptziel der Arbeit ist die weitere Erforschung der physikalischen Ursachen von NBTI. Die Arbeit beinhaltet z.B. die Durchführung von elektrischen Messungen an MOSFETs,

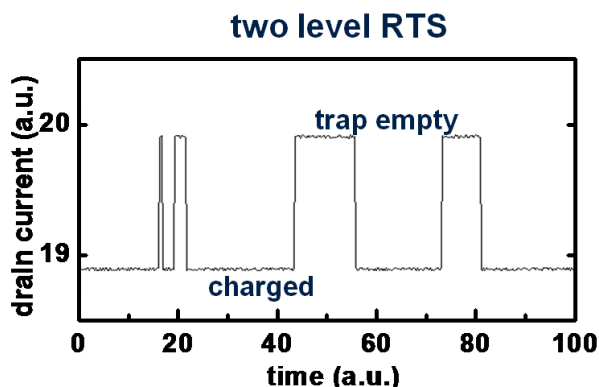


Fig. 1 : Durch die zufällige Besetzung eines Oxid-Defekts hervorgerufene Modulation des Drain-Stroms eines sehr kleinen MOSFETs.

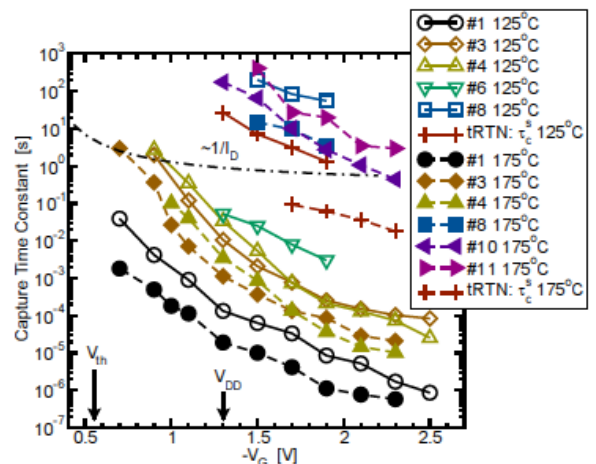


Fig. 2 : Die Abhängigkeit der capture Zeitkonstanten von elektrischem Feld und Temperatur (aus [1]).

die Analyse der Daten anhand von physikalischen Modellen, sowie die Anpassung der Modelle und die Implementierung der Modelle in kommerzielle Aging-Simulatoren. Die benötigten Proben wird die Infineon Technologie Entwicklung bereitstellen. Weitere experimentelle Untersuchungen wie z. B. Oberflächen-Analysen werden von den Infineon-Labors als Service-Leistung zur Verfügung gestellt.

Voraussetzungen und Rahmenbedingungen:

Voraussetzung für die Arbeit ist ein abgeschlossenes Studium der Physik, Elektrotechnik oder Chemie. Die Arbeit ist Teil eines EU-Projektes mit einer Laufzeit von 4 Jahren, das im März 2011 beginnt. Partner in dem Projekt sind Hochschulen und Forschungsinstitute in Finnland, England, Frankreich, Belgien und Österreich. Betreuender Professor ist Tibor Grasser von der TU Wien. Der Arbeitsvertrag mit Infineon, am Standort Neubiberg bei München, wird eine Laufzeit von 3 Jahren haben (ggf. verlängerbar). Die Vergütung liegt bei 2700€ / Monat.

Referenzen:

- [1] T. Grasser, H. Reisinger, P.-J. Wagner and B. Kaczer, "Time-dependent defect spectroscopy for characterization of border traps in metal-oxide-semiconductor transistors", Phys. Rev. B, Vol. 82, No. 24, pp. 5318-5327 (2010)
- [2] H. Reisinger, T. Grasser, W. Gustin, and C. Schlünder, "The statistical analysis of individual defects constituting NBTI and its implications for modeling DC- and AC-stress", Proc. IRPS 2010, pp.7-15
- [3] M. J. Kirton and M. J. Uren, "Noise in solid-state microstructures: A new perspective on individual defects, interface states and low frequency (1/f) noise", Adv. Phys., vol. 38, pp. 367-468 (1989)

Ansprechpartner:

Infineon:



Hans Reisinger, Infineon Technologies, Am Campeon 1-12, 85579 Neubiberg, Tel. 089-234-49210
Email: Hans.Reisinger@infineon.com

TU Wien:



Prof. Tibor Grasser, Institut für Mikroelektronik, TU Wien
Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien, Tel. +43 158801 36023
Email: Grasser@iue.tuwien.ac.at

PhD-Thesis

Investigation of Interface States in modern Si-MOSFETs

Introduction:

The Negative Bias Temperature Instability (NBTI) has first been observed in 1960: The threshold voltage of Metal-Oxide-Semiconductor-Field-Effect-Transistors (MOSFETs) is shifted by trapping of charge carriers in the oxide when a gate bias is applied. This effect predominantly occurs in p-channel MOSFETs when applying negative gate voltage and is enhanced with an increase of the temperature. With the shrinking of the gate oxide thicknesses and the replacement of SiO₂ by insulators with a higher dielectric constant it turned out that NBTI is the dominating degradation mechanism in modern CMOS circuits. The original and widely accepted explanation for the root cause of NBTI was the Reaction/Diffusion theory (R&D). According to R&D Hydrogen is removed from the Si-SiO₂ interface under the influence of electric field and temperature and starts to diffuse into the oxide. This missing Hydrogen produces dangling bonds and positive charges at the interface shifting the threshold voltage. Recent investigations have shown [1, 2] that the R&D predictions are contradicting some of the basic experimental observations. It turned out that NBTI can be explained by “capture“ und “emission“ of charges in defects sitting at the border of the Si-SiO₂ interface and that NBTI obviously has the same origin as the Random-Telegraph-Signal (RTS) phenomenon. RTS is caused by an instability of the MOSFET threshold voltage V_{th} by trapping of a single electric charge in an oxide defect. In a very small MOSFET this trapping and de-trapping causes distinct steps in V_{th} as shown in Fig. 1. RTS was the subject of several 100 studies in the 1980ies when sub- μm MOSFETs were available for the first time. When investigating these oxide defects one of the experimental challenges is that the time constants τ_c and τ_e for capture and emission, respectively, are widely distributed over times from $<\mu\text{s}$ to $>100\text{ ks}$. A new and advanced method for measurement and analysis which is described in ref. [1, 2] allows the determination of the field- and temperature-dependence of τ_e and τ_c . Fig. 2 shows some examples for measured data.

Goals and Tasks:

The main purpose of the work will be further investigation of NBTI in order to get a deeper insight into the physical processes. The work will consist in performing electrical

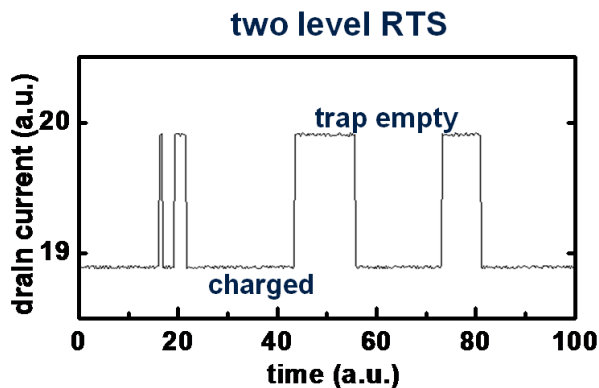


Fig. 1 : Modulation of the drain current of a very small MOSFET by the arbitrary occupation of an oxide-defect.

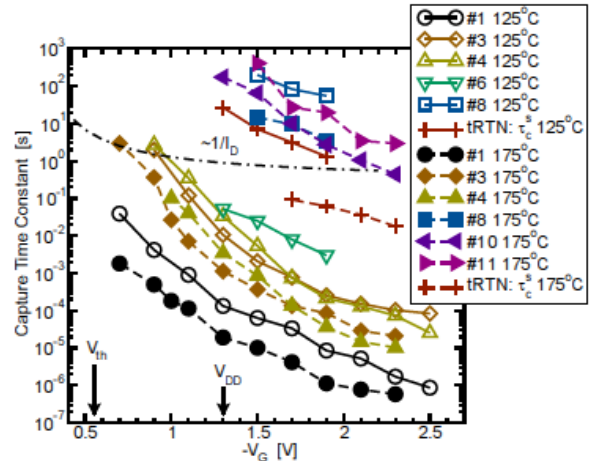


Fig. 2 : Capture time constants as a function of electric field and temperature (from [1]).

measurements on MOSFETs, the analysis of data utilizing physical models, to adapt these models and to implement the models into commercial aging-simulators. The required samples will be provided by the Infineon development division. Further characterization techniques like various surface analyses are available as a service from the Infineon labs.

Requirements and conditions:

A precondition for the job is a degree (master or similar) in physics, electrical engineering or chemistry. The work will be part of a project sponsored by the European Community, running over 4 years and beginning in March 2011. Partners are Universities and research institutes in Finland, Scotland, France, Belgium und Austria. Supervisor will be Prof. Tibor Grasser from the Technical University Vienna. The place of employment is Neubiberg near Munich. There will be an employment contract with Infineon for a period of 3 years (might be extended).The approximate salary is 2700€ / month.

References:

- [1] T. Grasser, H. Reisinger, P.-J. Wagner and B. Kaczer, "Time-dependent defect spectroscopy for characterization of border traps in metal-oxide-semiconductor transistors", Phys. Rev. B, Vol. 82, No. 24, pp. 5318-5327 (2010)
- [2] H. Reisinger, T. Grasser, W. Gustin, and C. Schlünder, "The statistical analysis of individual defects constituting NBTI and its implications for modeling DC- and AC-stress", Proc. IRPS 2010, pp.7-15
- [3] M. J. Kirton and M. J. Uren, "Noise in solid-state microstructures: A new perspective on individual defects, interface states and low frequency (1/f) noise", Adv. Phys., vol. 38, pp. 367-468 (1989)

Contact:

Infineon:



Hans Reisinger, Infineon Technologies, Am Campeon 1-12, 85579 Neubiberg, Tel. +49-89-234-49210

Email: Hans.Reisinger@infineon.com

TU Wien:



Prof. Tibor Grasser, Institut für Mikroelektronik, TU Wien Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien, Tel. +43 158801 36023

Email: Grasser@iue.tuwien.ac.at