



Lehrstuhl für
Elektronische
Bauelemente

Elektrische und physikalische Charakterisierung von Haftstellen in dielektrischen Schichten

12.04.2005

Oliver Klar





Inhalt



Elektrische und physikalische Charakterisierung von Haftstellen in dielektrischen Schichten

Einleitung

Elektrische Messtechnik

Physikalische Charakterisierung

Zusammenfassung und Ausblick

- **Einleitung**
- **Elektrische Messtechnik**
 - Injektion von Ladungsträgern
 - Analyse der Unterschwellencharakteristik
 - Gateinduzierter Drain-Leckstrom (GIDL)
 - Speicherhaltezeit
- **Physikalische Charakterisierung**
 - Fouriertransformations-Infrarotspektroskopie (FTIR)
- **Zusammenfassung und Ausblick**



Einleitung



Elektrische und physikalische Charakterisierung von Haftstellen in dielektrischen Schichten

Einleitung

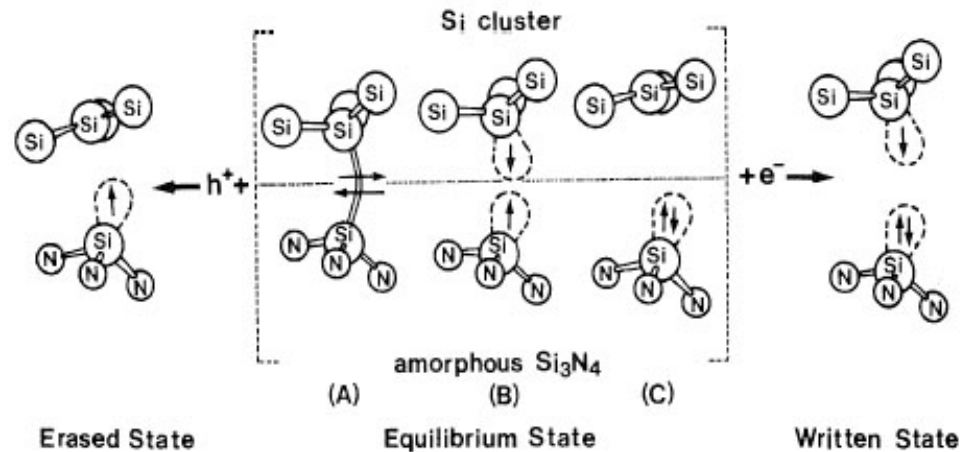
Elektrische Messtechnik

Physikalische Charakterisierung

Zusammenfassung und Ausblick

■ Haftstellen in Siliciumnitrid

- „Dangling-Bonds“ an Silicium mit 3 umgebenden Stickstoff- bzw. Silicium-Atomen
- Si-Si-Bindungen
- Grenzfläche zwischen Si-Clustern und amorphem Si_3N_4



■ Si-H-Komplexe

■ ...

■ Anwendung in nichtflüchtigen Speichern

➔ NROM™-Speicherzelle

Aufbau einer NROM™-Speicherzelle



Lehrstuhl für
Elektronische
Bauelemente

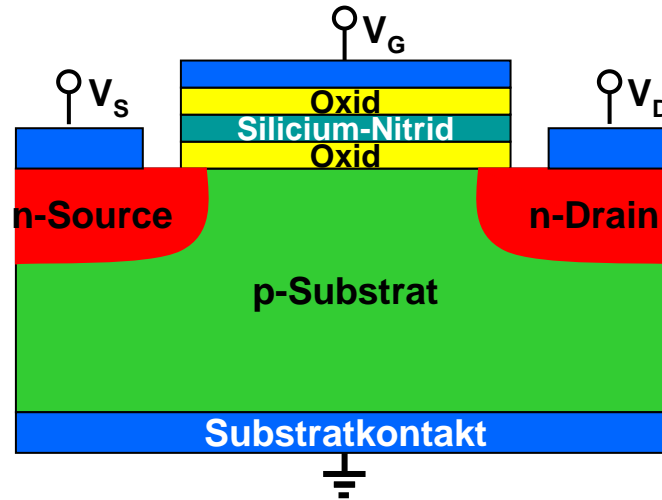
Elektrische und physikalische Charakterisierung von Haftstellen in dielektrischen Schichten

Einleitung

Elektrische Messtechnik

Physikalische
Charakterisierung

Zusammenfassung
und Ausblick



- Austausch des „Floating Gates“ einer Flash-Speicherzelle gegen Siliciumnitrid
- Ladungsträger werden aufgrund der Haftstellen ortsfest im Siliciumnitrid eingefangen



Speichern von Ladungsträgern



Lehrstuhl für
Elektronische
Bauelemente

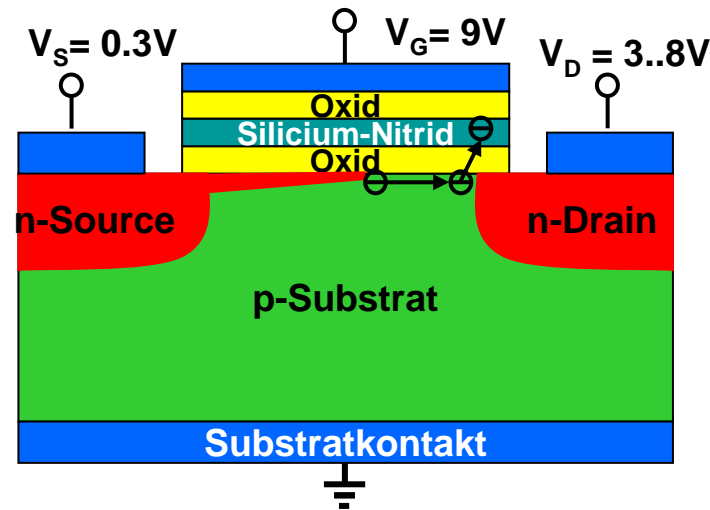
Elektrische und physikalische Charakterisierung von Haftstellen in dielektrischen Schichten

Einleitung

Elektrische Messtechnik

Physikalische Charakterisierung

Zusammenfassung und Ausblick



- Anlegen positiver Gate- und Source-Spannungen
- Drain-Spannungsimpuls mit variabler Amplitude V_D
- Beschleunigung der Elektronen von Source nach Drain
- Vertikale Ablenkung heißer Elektronen
- Injektion ins Siliciumnitrid



Löschen der Speicherzelle



Lehrstuhl für
Elektronische
Bauelemente

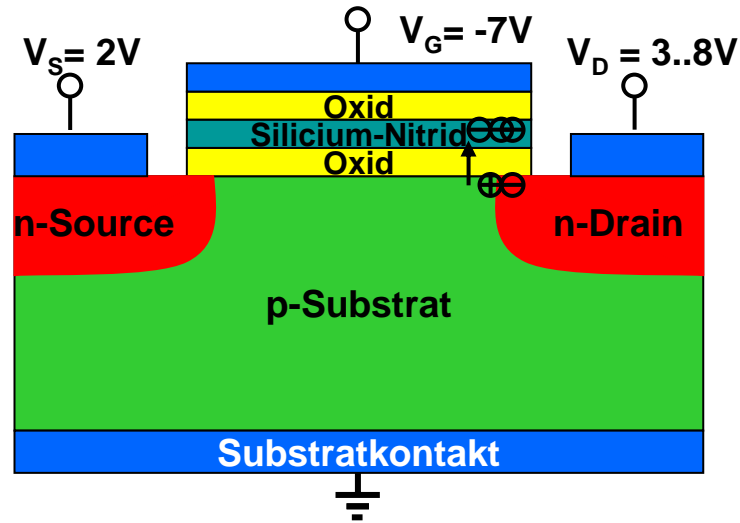
Elektrische und physikalische Charakterisierung von Haftstellen in dielektrischen Schichten

Einleitung

Elektrische Messtechnik

Physikalische Charakterisierung

Zusammenfassung und Ausblick



- Erzeugung von Elektron-Loch-Paaren an der Drain-Oxid-Grenzfläche
- Beschleunigung der Löcher zum Kanalgebiet
- Vertikale Ablenkung der heißen Löcher durch hohe negative Gate-Spannung



Auslesen des Speicherzustandes



Lehrstuhl für
Elektronische
Bauelemente

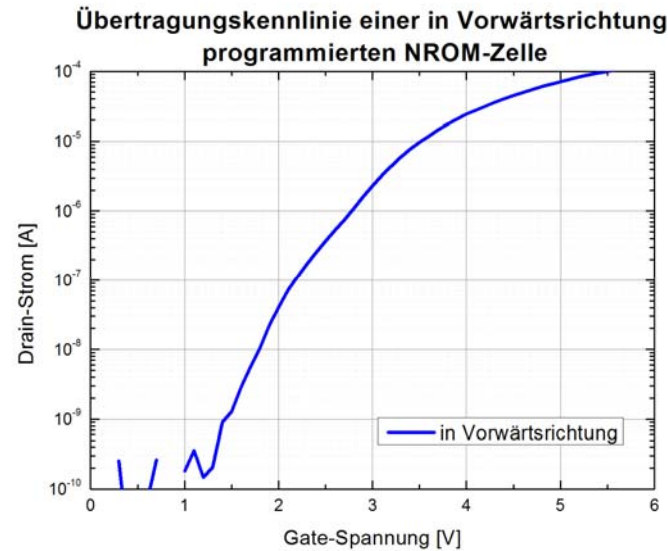
Elektrische und physikalische Charakterisierung von Haftstellen in dielektrischen Schichten

Einleitung

Elektrische Messtechnik

Physikalische
Charakterisierung

Zusammenfassung
und Ausblick



- Aufnahme der Übertragungskennlinie in Sättigung
- Durch Kanalabschnürung haben drainseitig eingefangene Ladungsträger kaum Einfluss auf die Kennlinie

Auslesen des Speicherzustandes



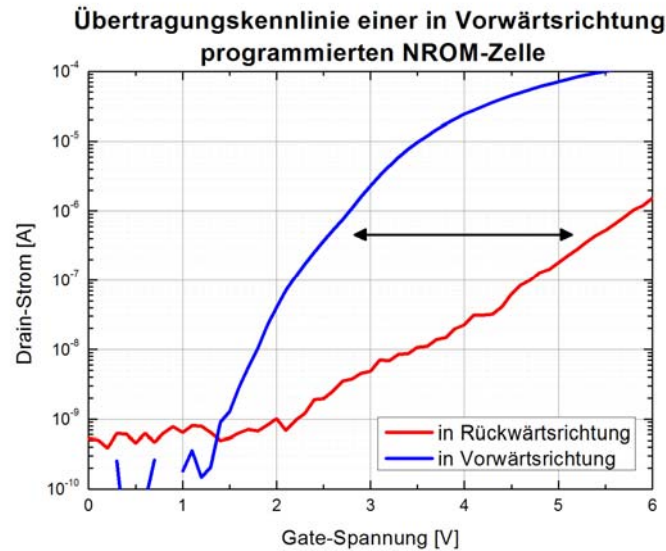
Elektrische und physikalische Charakterisierung von Haftstellen in dielektrischen Schichten

Einleitung

Elektrische Messtechnik

Physikalische Charakterisierung

Zusammenfassung und Ausblick



- Aufnahme der Übertragungskennlinie in Sättigung
- Durch Kanalabschnürung haben drainseitig eingefangene Ladungsträger kaum Einfluss auf die Kennlinie
- Durch „Vertauschen“ der S/D-Spannungen ist separates Schreiben und Auslesen der source- und drainseitigen Haftstellen möglich
 - ➔ Verdoppelung der Speicherdichte



Ziel der Untersuchungen



Elektrische und physikalische Charakterisierung von Haftstellen in dielektrischen Schichten

Einleitung

Elektrische Messtechnik

Physikalische Charakterisierung

Zusammenfassung und Ausblick

Verständnis von Schreib- und Löschvorgängen sowie Degradationsmechanismen in NROM™-Speicherzellen

- **Zeitaufgelöste Untersuchung der räumlichen Verteilung gespeicherter Ladungen**
- **Untersuchung von Umverteilungs- und Entladungsmechanismen**
- **Anwendung verschiedener Methoden aus der elektrischen Messtechnik sowie physikalischen Analytik**





Elektrische und physikalische Charakterisierung von Haftstellen in dielektrischen Schichten

Einleitung

Elektrische Messtechnik

Physikalische Charakterisierung

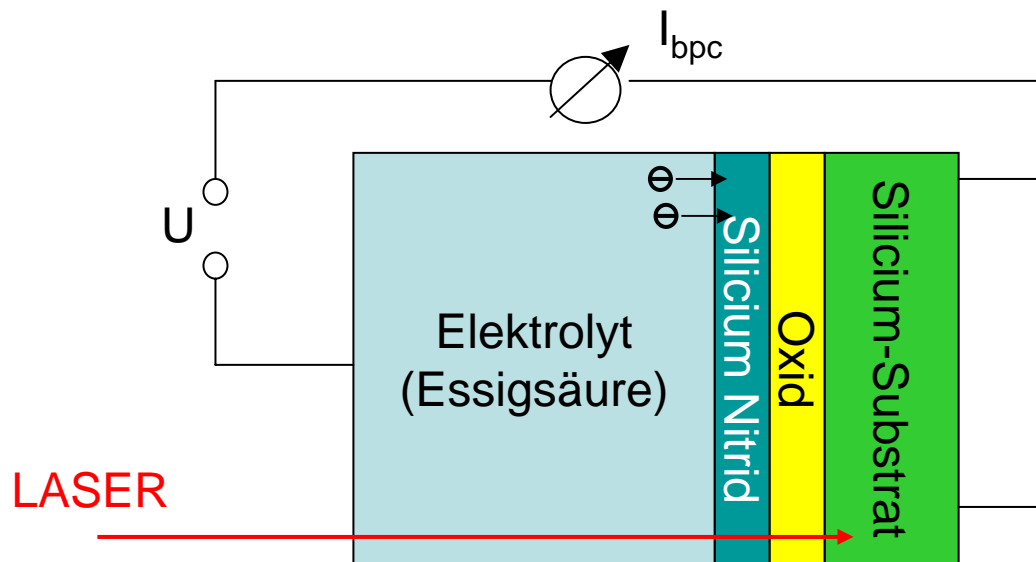
Zusammenfassung und Ausblick

Elektrische Messtechnik

- **Ganzflächige Injektion von Ladungsträgern**
- **Unterschwellen-Strommessung**
- **GIDL-Messung**
- **Speicherhaltezeit**

Ganzflächige Injektion von Ladungen

- Injektion mittels ELYMAT über Elektrolyt-Isolator-Grenzfläche
- Messung des Photostroms an der Rückseite
- Vorteil: einfache Prozessführung da keine Strukturierung nötig



Ganzflächige SHE-Injektion



Elektrische und physikalische Charakterisierung von Haftstellen in dielektrischen Schichten

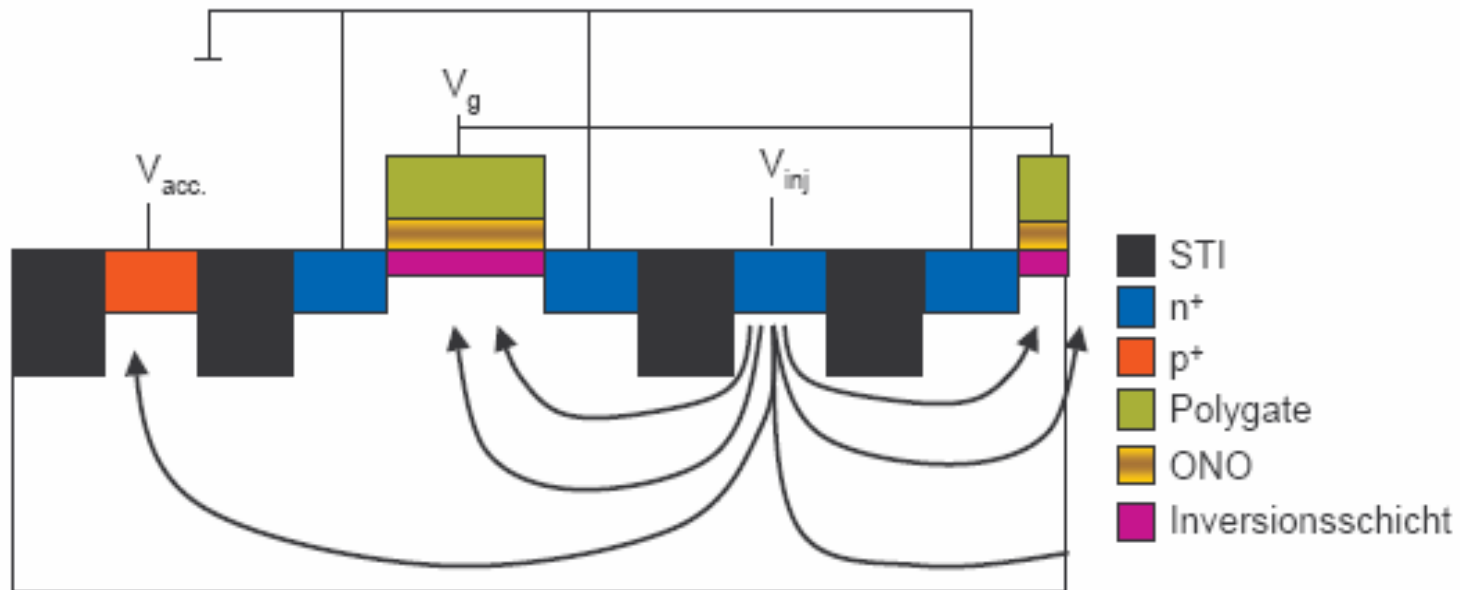
Einleitung

Elektrische Messtechnik

Physikalische Charakterisierung

Zusammenfassung und Ausblick

- Injektion heißer Substratelektronen
- „S/D-Typ“-Randabschluss inkl. Kontaktierung
- n-Kontakt für Injektion
- p-Kontakt für „Beschleunigungsspannung“



- Vorteil: Ähnlich den Betriebsbedingungen (Injektion aus dem Kanal)

Unterschwellenstrom-Messung



Elektrische und physikalische Charakterisierung von Haftstellen in dielektrischen Schichten

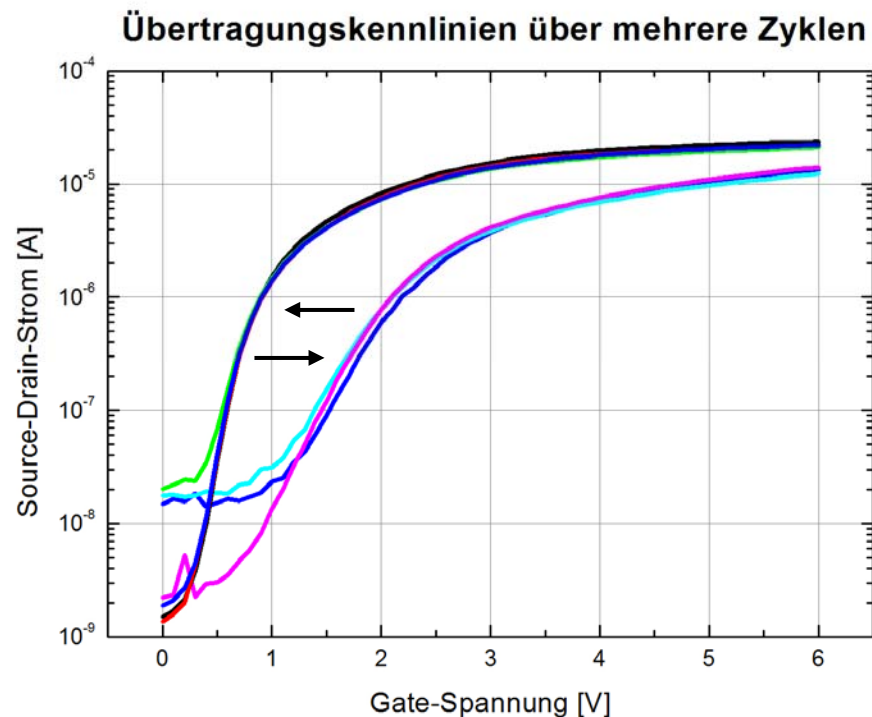
Einleitung

Elektrische Messtechnik

Physikalische Charakterisierung

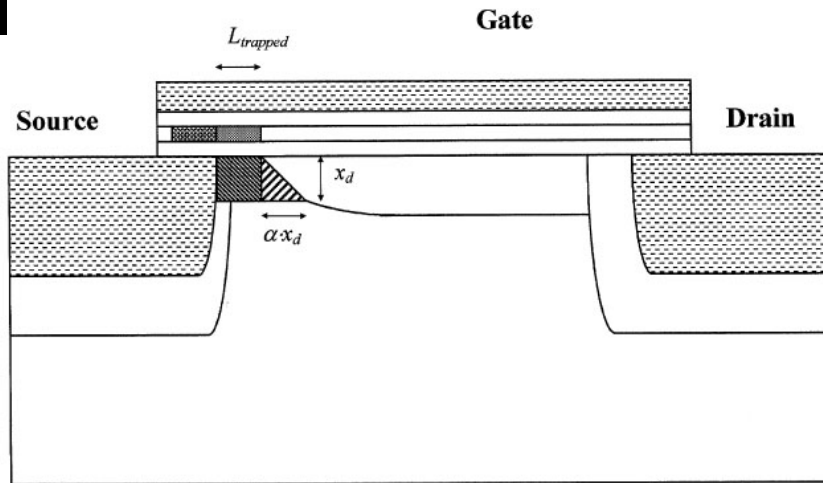
Zusammenfassung und Ausblick

- **Swing nimmt mit zunehmender Programmierung zu**
- **Regeneration des Swings im gelöschten Zustand, auch nach vielen Zyklen**
- **Effekt der Grenzflächenschädigung vernachlässigbar**
 - ➔ **Detektion lokalisierter Isolatorladungen**



Unterschwellen-Strommessung

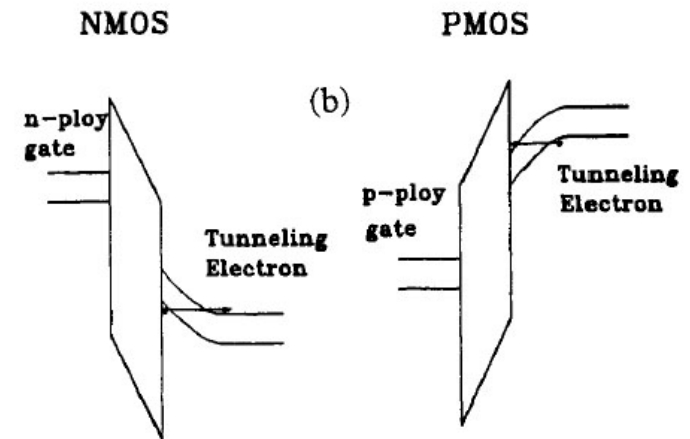
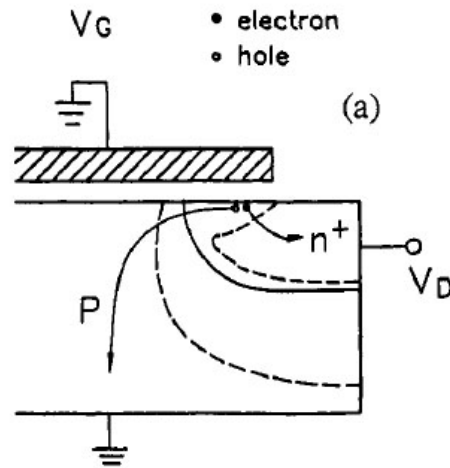
Swing Modell



- **Bildung einer Verarmungszone unter den eingefangenen Ladungsträgern+**
- **Einfluss auf Übertragungscharakteristik abhängig von geometrischen Größen**

$$S = \ln \frac{dV_g}{d(\ln I_D)} \cong 2.3 \frac{kT}{q} \left[\frac{(1 + \beta) C_i + C_d(\phi_s)}{C_i} \right] \quad \beta = \frac{\alpha \epsilon_{Si}}{C_i L_{trapped}}$$

Gateinduzierter Drain-Leckstrom – Prinzip



- **GIDL-Bedingungen: V_G negativ, V_D positiv**
- **Bildung einer Verarmungszone im Überlappungsbereich von Gate und Drain**
- **Elektron-Loch-Paare werden durch Band-Zu-Band Tunneln generiert**
- **Elektronen und Löcher werden getrennt am Drain und Substrat als GIDL-Strom nachgewiesen**

Gateinduzierter Drain-Leckstrom – Auswertung



Lehrstuhl für
Elektronische
Bauelemente

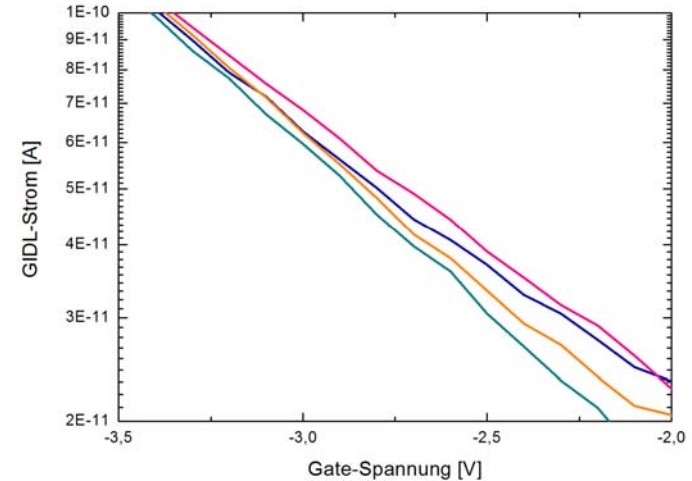
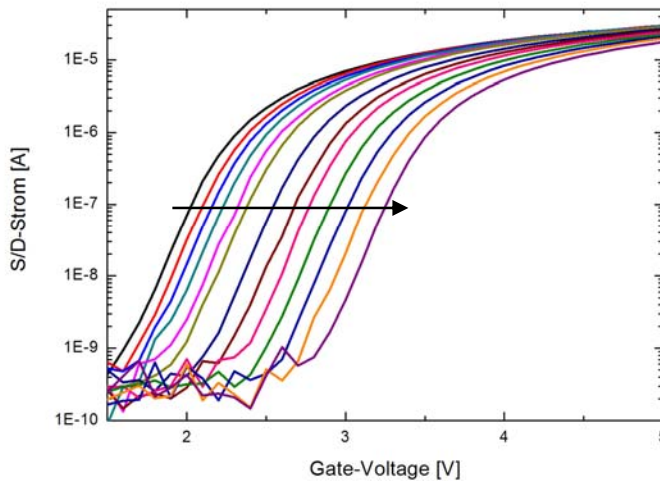
Elektrische und physikalische Charakterisierung von Haftstellen in dielektrischen Schichten

Einleitung

Elektrische Messtechnik

Physikalische Charakterisierung

Zusammenfassung und Ausblick



- **Messung von I_{GIDL} als Funktion von V_{G} bei festem V_{D}**
- **GIDL Effekt ist abhängig vom elektrischen Feld an der Grenzfläche und damit von der Verteilung der eingefangenen Ladungsträger**
- **Untersuchung der Ladungsverteilung im Isolator (Detrapping, laterale Migration)**

Ausdiffusion von Ladungsträgern



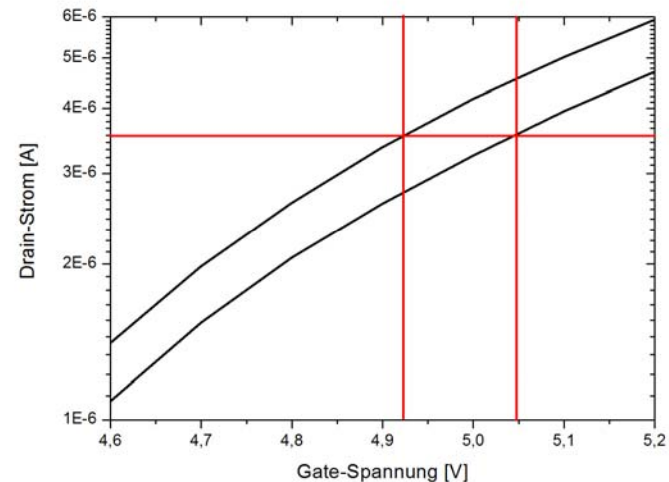
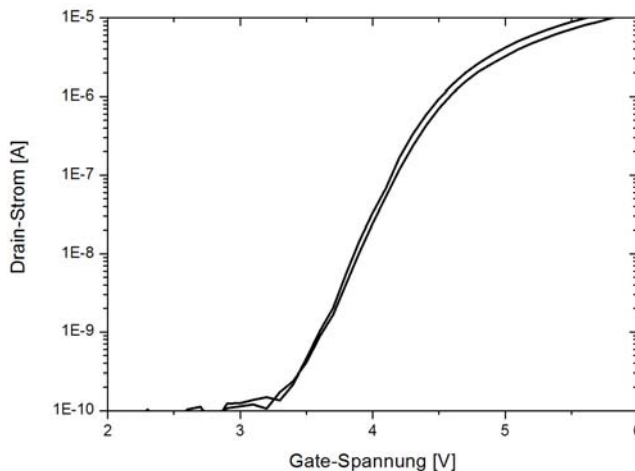
Elektrische und physikalische Charakterisierung von Haftstellen in dielektrischen Schichten

Einleitung

Elektrische Messtechnik

Physikalische Charakterisierung

Zusammenfassung und Ausblick



- **Einsatzspannung verringert sich im geschriebenen Zustand aufgrund der Ausdiffusion von Ladungsträgern**
- **Wahrscheinlichkeit der Ausdiffusion abhängig von Dicke des Bottomoxids und Temperatur**

Mechanismen und Zeitkonstanten

Mechanismen und Zeitkonstanten

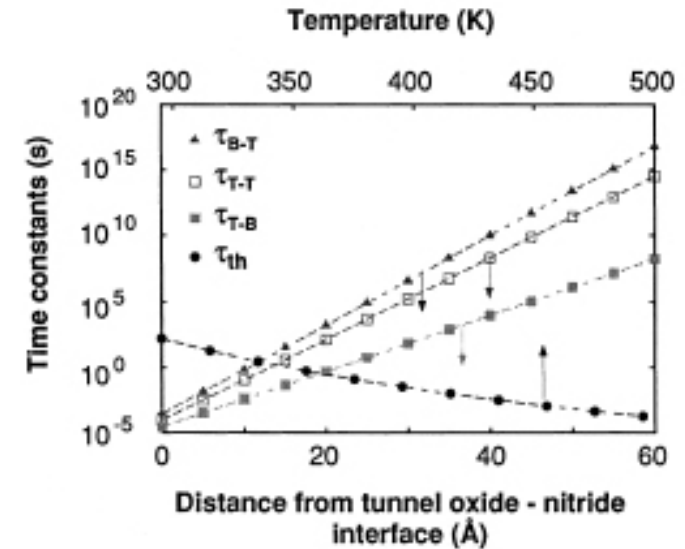
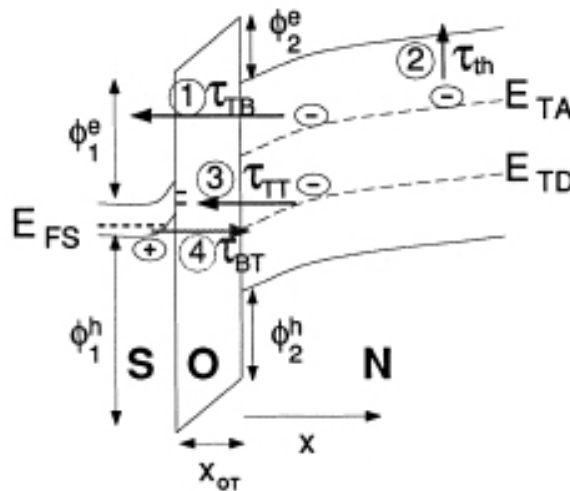
Elektrische und physikalische Charakterisierung von Haftstellen in dielektrischen Schichten

Einleitung

Elektrische Messtechnik

Physikalische Charakterisierung

Zusammenfassung und Ausblick



- Beschreibung der Vorgänge durch Zeitkonstanten
- Bestimmung der Energieverteilung möglich



Lehrstuhl für
Elektronische
Bauelemente

Elektrische und physikalische Charakterisierung von Haftstellen in dielektrischen Schichten

Einleitung

Elektrische Messtechnik

**Physikalische
Charakterisierung**

Zusammenfassung
und Ausblick

Physikalische Charakterisierung

Fouriertransformations-Infrarotspektroskopie (FTIR)



Fouriertransformations-Infrarotspektroskopie



Lehrstuhl für
Elektronische
Bauelemente

Elektrische und physikalische Charakterisierung von Haftstellen in dielektrischen Schichten

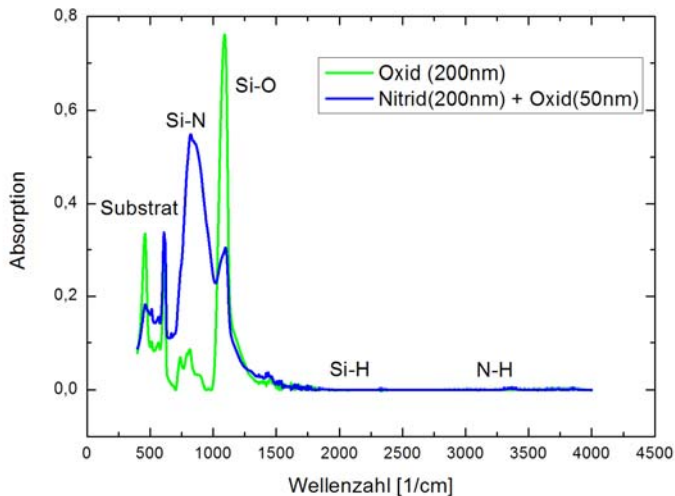
Einleitung

Elektrische Messtechnik

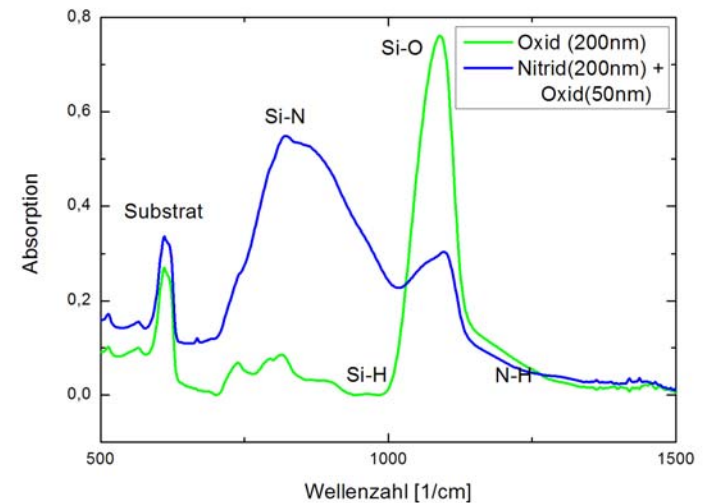
Physikalische Charakterisierung

Zusammenfassung und Ausblick

Vergleich von unbehandelten Oxid bzw. Nitrid/Oxid-Proben



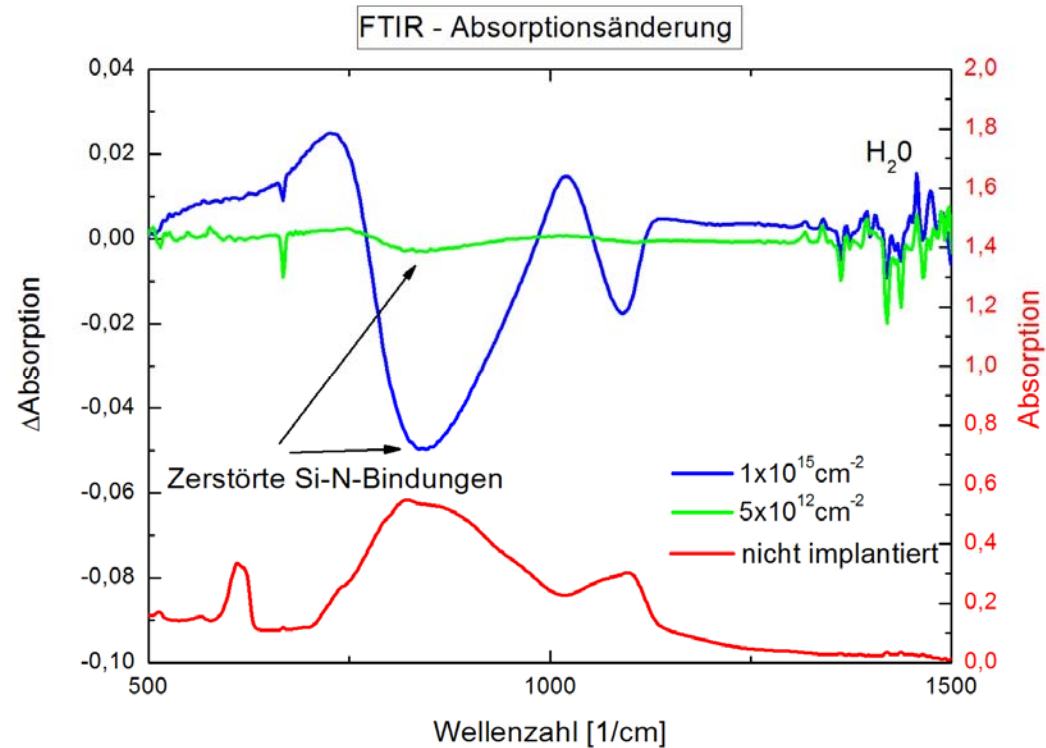
Vergleich von unbehandelten Oxid bzw. Nitrid/Oxid-Proben



- Deutliches Signal von Si_3N_4 -Bindungen und einer SiO_2 -Vergleichsprobe
- Anschließende Generation von Haftstellen durch Silicium-Implantation

Fouriertransformations-Infrarotspektroskopie

Nachweis implantationsinduzierter Haftstellen



- Degeneration von Si-N-Bindungen
 ➔ Generation neuer Bindungen bzw. von „Dangling Bonds“



Elektrische und physikalische Charakterisierung von Haftstellen in dielektrischen Schichten

Einleitung

Elektrische Messtechnik

Physikalische Charakterisierung

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung und Ausblick



Zusammenfassung und Ausblick



Lehrstuhl für
Elektronische
Bauelemente

Elektrische und physikalische Charakterisierung von Haftstellen in dielektrischen Schichten

Einleitung

Elektrische Messtechnik

Physikalische
Charakterisierung

Zusammenfassung
und Ausblick

- **Zusammenfassung**
 - **Untersuchung der Eigenschaften von Haftstellen sowohl durch elektrische Messtechnik als auch durch physikalische Charakterisierung möglich**
 - **Einige einzeln überprüfte Verfahren gut anwendbar**
 - ➔ **Kombination**

- **Ziele**
 - **Verständnis des physikalischen Verhaltens der Haftstellen in Siliciumnitrid**
 - **Modellierung der Schreib- und Löschvorgänge in NROM™-Speicherzellen**
 - **Beschreibung von Degradationsmechanismen**





Lehrstuhl für
Elektronische
Bauelemente

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

