

Erlanger Berichte Mikroelektronik

Band 1/2010

Michael Grieb

**Charakterisierung von Metall-Oxid-Halbleiter-
Strukturen auf der Silicium- und Kohlenstoffseite
von 4H-Siliciumcarbid**

D 29 (Diss. Universität Erlangen-Nürnberg)

Shaker Verlag
Aachen 2010

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Erlangen-Nürnberg, Univ., Diss., 2010

Copyright Shaker Verlag 2010

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-9411-3

ISSN 0948-3462

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Die Reduzierung des weltweiten Energiebedarfs ist eine der wichtigsten Herausforderungen unserer Zeit. Die Minimierung der Verlustleistung bei der Umwandlung von elektrischer Energie kann hierzu einen bedeutenden Beitrag liefern. Leistungsbaulemente auf der Basis von Siliciumcarbid (SiC) haben das Potential, die materialabhängigen Grenzen heutiger auf Silicium basierender Leistungsbaulemente zu überwinden und damit erheblich zur Reduzierung der Verlustleistung beizutragen. Obwohl in der SiC-Prozesstechnologie große Fortschritte erzielt wurden, gibt es immer noch eine Reihe von Problemen, welche gelöst werden müssen.

Die Beweglichkeit der Inversionsladungsträger im n-MOSFET liegt noch weit vom theoretischen Maximum entfernt und hat auch noch keinen zufriedenstellenden Wert erreicht. Eine niedrige Beweglichkeit führt zu einem kleineren Stromfluss und das wiederum zu kleineren Leistungsdichten des Transistors und damit zu höheren Herstellungskosten. Um die Beweglichkeit des MOSFETs zu steigern muss der Oxidationsmechanismus und die Grenzfläche SiC/Isolator intensiver untersucht und verstanden werden. Sowohl die Oxidation selbst als auch die Grenzfläche haben direkten Einfluss auf die Leistung des Transistors.

Des Weiteren genügen die SiC-Baulemente noch nicht den Zuverlässigkeitsanforderungen, zum Beispiel von der Automobilindustrie, und liegen noch ein Stück weit von Silicium-Baulementen entfernt. Auch hier muss insbesondere der Isolator, welcher der empfindlichste Teil des Schalters ist, und die Grenzfläche SiC/Isolator verbessert werden.

Es existieren verschiedene Ansätze um die Beweglichkeit und die Oxidzuverlässigkeit eines MOSFETs zu erhöhen. Auf der einen Seite sind die Hauptvariablen der Oxidation, die Temperatur und die Atmosphäre, welche einen großen Einfluss auf die elektrischen Eigenschaften des Oxides haben. Auf der anderen Seite ist es möglich das Oxid abzuschneiden, um Kohlenstoffansammlungen an der Grenzfläche zu vermeiden. Des Weiteren gibt es die Möglichkeit eine Art Zwitter herzustellen: erst wird das Oxid abgeschieden und im Anschluss oxidiert.

Diese Arbeit diskutiert die Vor- und Nachteile der beiden Oxid-Herstellungsmethoden unter Berücksichtigung der sich ergebenden elektrischen Eigenschaften, wie zum Beispiel die Flachbandspannung, die Anzahl der Oxidladungen oder die Grenzflächenzustandsdichte, und der Oxidzuverlässigkeit auf der Silicium- und Kohlenstoffseite von Siliciumcarbid.

Dazu wurden als erstes die Oxidationsmechanismen auf den beiden Seiten bei verschiedenen Temperaturen und Atmosphären untersucht. Die Kohlenstoffseite oxidiert wesentlich schneller als die Siliciumseite und die Oxidationsraten sind mit Silicium vergleichbar. Es wurde gezeigt, dass bei der Trockenoxidation der Siliciumseite durch eine Erhöhung der Temperatur von 1100°C auf 1280°C die Prozesszeiten um 90% von 66 auf zwei Stunden verringert werden können, allerdings werden diese durch den Einsatz von stickoxidhaltigen Oxidationsgasen wieder verlängert. Während der Oxidation in stickoxidhaltigen Atmosphären bilden sich an der Grenzfläche Si≡N Bindungen, welche vor dem Vorschreiten der Oxidation wieder aufgebrochen werden müssen. Stickoxidhaltige Gase während des Oxidationsprozesses sind vorteilhaft, weil dadurch die Anzahl der offenen Bindungen an der Grenzfläche SiC/Isolator deutlich verringert werden können.

Die verschiedenen hergestellten Oxide zeigten zum Teil ein deutlich unterschiedliches elektrisches Verhalten. Mit Hilfe von C-U-Messungen wurde die Grenzflächenzustandsdichte bestimmt. Durch die Erhöhung der Temperatur und durch den Einsatz von Lachgas konnte diese um fast eine Größenordnung von $5 \cdot 10^{12} \text{eV}^{-1} \text{cm}^{-2}$ auf unter $7 \cdot 10^{11} \text{eV}^{-1} \text{cm}^{-2}$ reduziert werden. Gleichzeitig wurde dadurch die Stabilität der Oxide erhöht. Die Ladung, welche durch das Oxid fließen muss, bis dieses zerstört ist (der intrinsische Q_{BD} -Wert), erhöhte sich von $6 \cdot 10^{-3} \text{Ccm}^{-2}$ auf $57,4 \text{Ccm}^{-2}$. Weitere Verbesserungen wurden erzielt durch den Einsatz von abgeschiedenen und thermisch nachbehandelten PECVD-Oxiden. Durch das erstmalige Verwenden von NO zur Nachbehandlung konnte die Grenzflächenzustandsdichte auf unter $10^{11} \text{eV}^{-1} \text{cm}^{-2}$ reduziert werden und ist somit typischen Dichten auf Silicium vergleichbar.

Auf der Kohlenstoffseite konnte ebenfalls eine Verbesserung der elektrischen Oxideigenschaften durch den Einsatz von stickoxidhaltigen Gasen nachgewiesen werden. In dieser Arbeit wurde erstmalig die Zuverlässigkeit von Oxiden auf der C-Seite von 4H-SiC untersucht, die erreichten Q_{BD} -Werte liegen bei über 100Ccm^{-2} und damit deutlich höher als auf der Siliciumseite oder auf Silicium.

Auf der Siliciumseite wurden auch Transistoren hergestellt. Die Schalter mit einem in NO nachbehandeltem PECVD-Oxid zeigten im Vergleich mit einem in N_2O hergestelltes Oxid, eine Erhöhung der Beweglichkeit der Inversionsladungsträger von 6 auf $24 \text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$. Dadurch würde sich in einem Leistungsbaulement im VDMOS-Design der Anteil des Kanals am Gesamtwiderstand von über 50% auf unter 25% reduzieren.

Anhand der Ergebnisse wurde ein Modell aufgestellt, das beschreibt wie sich die Oxidation auf die Eigenschaften des Halbleiters und die Oxidqualität auswirkt. Des Weiteren wurde aufgezeigt, an welchen Punkten weitere Untersuchungen nötig sind, um die Leistungsdichte und Zuverlässigkeit von SiC-Baulementen weiter zu erhöhen.