Aktuelle Berichte aus der Mikrosystemtechnik
Recent Developments in MEMS

Band 22

Nils Rasmus Behnel

Technologieplattform für die Herstellung von MEMS aus Siliziumcarbid am Beispiel eines Drucksensors

Shaker Verlag
Aachen 2012

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.: Saarbrücken, Univ., Diss., 2012

Copyright Shaker Verlag 2012
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-0962-0
ISSN 1862-5711

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

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde polykristallines Siliziumcarbid (SiC) als Materialsystem zur Anwendung in zukünftigen robusten und kostengünstigen Sensoren sowie die Technologien zu deren Fertigung entwickelt. Die Arbeit ist untergliedert in zwei Hauptthemenblöcke: Die Technologieentwicklung von polykristallinen SiC-Materialsystemen für die Oberflächenmikromechanik und die Herstellung eines SiC-basierten Drucksensors.
Im Rahmen der Technologieentwicklung wurde ein technologischer Baukasten zur Herstellung von MEMS (Micro Elektrical Mechanical Systems) aus polykristallinem SiC entwickelt. Zur Herstellung von polykristallinen SiC-Funktionsschichten dienten Abscheideverfahren mittels LPCVD (Low Pressure Chemical Vapor Deposition) und PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition). Mit Hilfe des LPCVD-Verfahrens wurden *in situ*-dotierte, leitfähige Schichten mit geringem elektrischem Widerstand hergestellt. Hierbei konnten Werte von bis zu 10 mΩcm bei Raumtemperatur erreicht werden. Zudem wurde die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes untersucht. PECVD-Schichten wurden erstmalig auf einer Anlage hergestellt, deren Substratelektrode Abscheidungen bei Temperaturen von 1000 °C zulässt. Die Einflüsse der Abscheidetemperatur und unterschiedlicher Dotiergaskonzentrationen auf die Abscheiderate, die Materialzusammensetzung und den spezifischen Widerstand dieser Schichten wurden detailliert untersucht und die Wirkzusammenhänge zur Optimierung der Schichten genutzt. Hierdurch konnten Schichten mit einem genau definierten spezifischen Widerstand über einem weiten Bereich zwischen 5,4 Ωcm und 175 MΩcm hergestellt werden. Zur Strukturierung von SiC-Funktionsschichten wurde eine neue plasmaunterstützte Trockenätztechnik entwickelt, welche auf zyklisch alternierenden Prozessgasen basiert. Dieses Verfahren ermöglicht es, sowohl dünne Schichten zu strukturieren als auch tiefe Gräben mit steilen Kanten und hohen Aspektverhältnissen in SiC zu ätzen, ohne dabei kohlenstoffreiche Rückstände zu erzeugen. Zudem wurden unterschiedliche metallische und nichtmetallische Materialien auf ihre Eignung als Ätzmaske für dieses Verfahren untersucht und hinsichtlich ihrer Selektivität und ihrer Kompatibilität zu typischen Halbleiterprozessen bewertet. Zur Herstellung von freistehenden Strukturen, wie z.B. Membranen für Drucksensoren, wurde eine neue Opferschichttechnologie entwickelt. Diese beruht auf einer vergrabenen Schicht aus Silizium-Germanium, welche mit einem plasmalosen fluorbasierten Trockenätzverfahren hochselektiv entfernt werden kann. Aufgrund der beiden Schlüsseleigenschaften dieser Technologie, der hohen Ätzraten und der hohen Selektivität von Funktionsschicht zur Opferschicht von 1 : 5.000.000 ermöglicht dieses Verfahren die Herstellung von Strukturen mit deutlich mehr Freiheitsgraden im Vergleich zu bisherigen Technologien. Hierdurch kann die Freiätzung von in der Mikromechanik typischen Strukturen über kleinste Öffnungen mit einem Durchmesser von nur wenigen Mikrometern erfolgen. Die Schließung dieser Ätzzugänge ist durch eine weitere Abscheidung umsetzbar, wodurch auch Kavitäten in schwer zugänglichen Designbereichen erzeugt werden können. Zur Herstellung einer temperaturstabilen ohmschen Kontaktierung von polykristallinem SiC wurden unterschiedliche Metallisierungen auf ihren Kontaktwiderstand und auf ihre Temperaturbeständigkeit hin untersucht. Neben Ni und Pt stellte sich dabei ein Schichtstapel aus Ti/TiN/Pt als besonders geeignet heraus. Der gemessene, niedrige Kontaktwiderstand von $2*10^{-6}$ cm^2 erwies sich während einem Langzeitstabilitätstest von 60 Stunden bei einer Temperatur von 500 °C als stabil.
Im zweiten Hauptteil der Arbeit wurde ein Konzept für einen Drucksensor entwickelt und mittels einer FEM-Simulation ausgelegt. Das neuartige Konzept ist speziell auf den Einsatz in Bereichen hoher Temperaturen und aggressiver Medien wie im Motorraum oder im Abgasstrang von Kraftfahrzeugen abgestimmt. Die Basis des Sensors stellen zwei Elektroden aus polykristallinem SiC dar, die über die Prozessführung der Dünnschichten gezielt miteinander in definiertem Kontakt stehen. Eine der Elektroden ist als Membran ausgeführt, deren Auflagefläche auf der Gegenelektrode sich in Abhängigkeit eines beaufschlagten Drucks ändert. Die daraus resultierende elektrische Widerstandsänderung zwischen den beiden Elektroden wird in Form einer Wheatstone-Brücke ausgewertet. Das Funktionsprinzip des Sensors zeichnet sich im Gegensatz zu bekannten Sensorprinzipien durch eine geringe Störanfälligkeit und eine hohe Temperaturstabilität aus. Die oben ausgeführten Technologien wurden auf die Fertigung dieses Drucksensors angewendet.