

# **Neue Membransensoren mit porösem Silizium**

Dissertation

zur Erlangung des Grades  
des Doktors der Ingenieurwissenschaften  
der Naturwissenschaftlich - Technischen Fakultät II  
- Physik und Mechatronik -  
der Universität des Saarlandes

von

**Kathrin Gutsche**

Saarbrücken  
2013

**Tag des Kolloquiums:** 23.09.2013

**Dekan:** Prof. Dr. Christian Wagner

**Prüfungsausschuss**

**Vorsitzender:** Prof. Dr. Michael Vielhaber

**Gutachter:** Prof. Dr. Helmut Seidel  
Prof. Dr. Andreas Schütze

**Akademischer Beisitzer:** Dr. Martin Straub

Aktuelle Berichte aus der Mikrosystemtechnik  
Recent Developments in MEMS

Band 26

**Kathrin Gutsche**

**Neue Membransensoren mit porösem Silizium**

Shaker Verlag  
Aachen 2014

**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., 2013

Copyright Shaker Verlag 2014

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3044-0

ISSN 1862-5711

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

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

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>5</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>9</b>
<b>Abstract</b>	<b>11</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>13</b>
1.1 Mikromechanische Drucksensoren . . . . .	13
1.2 Zielsetzung der Arbeit . . . . .	15
<b>2 Mikromechanische Grundlagen</b>	<b>17</b>
2.1 Ätzprozesse . . . . .	17
2.1.1 Anisotropes Siliziumätzen - Trenchprozess . . . . .	17
2.1.2 Plasmaloses Trockenätzen mit $\text{ClF}_3$ . . . . .	19
2.1.3 Isotropes Ätzen von Oxidschichten - HF - Gasphasenätzen . . . . .	21
2.2 Erzeugung einkristalliner Siliziummembranen . . . . .	22
2.2.1 Poröses Silizium . . . . .	22
2.2.2 Prozess mit doppelter poröser Siliziumschicht . . . . .	24
2.2.3 <i>N</i> - Gitter - Prozess . . . . .	27
2.3 Selektive Epitaxie . . . . .	30
<b>3 Kapazitiver Drucksensor mit Boss-Membran</b>	<b>33</b>
3.1 Drucksensorkonzept . . . . .	33
3.2 Prozessfluss . . . . .	34
3.3 Technologieentwicklung . . . . .	37
3.3.1 Prozess und Layout . . . . .	37
3.3.2 Auslegung des dielektrischen Schichtsystems . . . . .	41

3.3.3	Auslegung und anisotropes Ätzen der Zugangslöcher . . . . .	47
3.3.4	Freistellung der Boss-Membran . . . . .	48
3.3.5	Verschluss der Zugangslöcher . . . . .	52
3.4	Metallisierung und Kontaktierung . . . . .	53
3.5	Fazit und Diskussion . . . . .	55
<b>4</b>	<b>Kapazitiver Drucksensor mit doppelter Epitaxie</b>	<b>59</b>
4.1	Absolutdrucksensor . . . . .	59
4.1.1	Drucksensorkonzept . . . . .	59
4.1.2	Herstellungsprozess . . . . .	61
4.1.3	Technologieuntersuchung und Prozessoptimierung . . . . .	67
4.1.3.1	Prozessüberblick . . . . .	67
4.1.3.2	Layout und Design . . . . .	69
4.1.3.3	Ergebnisse . . . . .	74
4.2	Differenzdrucksensor . . . . .	80
4.2.1	Drucksensorkonzept . . . . .	80
4.2.2	Prozessfluss des Membranaufbaus . . . . .	81
4.2.3	Technologieuntersuchungen zum Rückseitenzugang . . . . .	84
4.2.3.1	Design des $n$ -Gitters und erste Epitaxie . . . . .	84
4.2.3.2	Oxidation und Verschluss der $n$ -Gitterlöcher . . . . .	87
4.2.3.3	Strukturierung der Oxidschicht und selektive Epitaxie . . . . .	89
4.2.3.4	Rückseitentrench und Gasphasenätzen . . . . .	92
4.3	Zusammenfassung . . . . .	94
<b>5</b>	<b>Charakterisierung des Absolutdrucksensors</b>	<b>97</b>
5.1	Aufbau- und Verbindungstechnik . . . . .	97
5.2	Auswerteprinzip . . . . .	99
5.3	Messplatz . . . . .	101
5.4	Druckabhängigkeit der Sensorelemente . . . . .	102
5.5	Vergleich mit Simulationen . . . . .	107
5.5.1	Simulationsmodell und Durchführung . . . . .	108
5.5.2	Simulation der Druckabhängigkeiten . . . . .	111
5.6	Zusammenfassung . . . . .	113
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>115</b>

---

Literaturverzeichnis	121
Veröffentlichungen und Patente	128
Danksagung	131