

Adaptierbares Messsystem zur Detektion von Gasen und Gerüchen basierend auf
Halbleitergassensoren im temperaturzyklischen Betrieb

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

von

Dipl.-Ing. Stephan Horras

Saarbrücken

2011

Tag des Kolloquiums: 01.04.2011

Dekan: Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Helmut Seidel

Mitglieder des
Prüfungsausschusses: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Stefan Seelecke
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Andreas Schütze
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Udo Weimar
Dr.-Ing. Markus Kühn

Aktuelle Berichte aus der Mikrosystemtechnik
Recent Developments in MEMS

Band 16

Stephan Horras

**Adaptierbares Messsystem zur Detektion von Gasen
und Gerüchen basierend auf Halbleitersensoren
im temperaturzyklischen Betrieb**

Shaker Verlag
Aachen 2011

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., 2011

Copyright Shaker Verlag 2011

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-0101-3

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

Kurzfassung

Der Einsatz von Halbleitergassensoren in unterschiedlichsten Anwendungen ist zurückzuführen auf ihre hohe Sensitivität bei vergleichsweise geringen Stückkosten. Aufgrund ihrer geringen Selektivität ist jedoch ein erheblicher Aufwand bei der Entwicklung neuer Messsysteme und -verfahren auf Basis von Halbleitergassensoren erforderlich.

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Messsystem basierend auf temperaturzyklisch betriebenen Halbleitergassensoren konzipiert, entwickelt und erprobt, das durch einen modularen Aufbau eine schnelle Adaptierbarkeit an neue Aufgabenstellungen ermöglicht. Zusätzlich soll das Messsystem durch seine kompakte Bauweise einen flexiblen Einsatz, gerade im Hinblick auf Feldtests, ermöglichen. Aufgrund der teilweise empirischen Vorgehensweise bei der Entwicklung neuer Messverfahren und -systeme ist dies besonders wichtig, da so ein Einsatz in der realen Messumgebung bereits in einer frühen Entwicklungsphase möglich wird. Das Messsystem soll vor allem in Voruntersuchungen und Machbarkeitsstudien zum Einsatz kommen, die die Basis für eine anwendungsspezifische Produktentwicklung bilden.

Die Konfiguration und Adaptierbarkeit des Messsystems wird allgemein sowie anhand zweier Beispielanwendungen beschrieben. Hierbei wird zunächst die Detektion von definierten Gasen zwecks Konzentrationsbestimmung eines Flüssigkeitsgemisches vorgestellt, anschließend folgen die Konfiguration und das Trainieren des Messsystems hinsichtlich der Erkennung und Beurteilung von Gerüchen.

Abstract

Semiconductor gas sensors are used in many applications because of their high sensitivity and their comparatively low costs per piece. Because of the low selectivity complex investigations are necessary to develop new measurement systems or measurement procedures based on semiconductor gas sensors.

Within the scope of this thesis a measurement system on the basis of temperature cycled semiconductor gas sensors is conceived, developed and evaluated. The modular concept enables a swift adaptation in terms of new tasks. Additionally the compact design of the measurement system shall allow a flexible operation especially with regard to field tests. This is very important due to the partly empirical approach by the development of new measurement systems and measurement procedures because it allows the operation in real measurement environment in an early stage of development. The measurement system shall be used for preexamination and feasibility studies that provide the basis for a custom-designed product development.

The configuration and adaptation of the measurement system is described generally and by means of two concrete examples. The first application shows the detection of defined gases to determine the concentration of a liquid mixture. In a second step the adaptation and the training of the measurement system for the detection and assessment of odors is demonstrated.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Modulares und adaptierbares Konzept des Messsystems	6
2.1	Anforderungen an das Messsystem	6
2.2	Modularer Aufbau	7
2.2.1	Spülvorrichtung	8
2.2.2	Messkammer	8
2.2.3	Mess- und Steuerungsmodul	9
2.2.4	Absaugvorrichtung	10
2.2.5	Softwaremodul mit grafischer Bedienoberfläche	11
2.2.6	Kalibriervorrichtung	11
2.3	Adaptierbarkeit des Messsystems	12
3	Grundlagen	14
3.1	Sensoren	14
3.1.1	Halbleitersensoren	14
3.1.2	Feuchte-/Temperatursensor	19
3.1.3	Durchflusssensor	22
3.2	Diffusion durch eine Kapillare	23
3.3	Messtechnische Komponenten	24
3.3.1	Gasmischanlage	24
3.3.2	Fluiddosierplatz	26
3.3.3	Messplattform PuMaH	28
3.4	Referenzmessmethoden	31
3.4.1	Fourier-Transform-Infrarotspektroskopie (FT-IR)	32
3.4.2	Gaschromatographie kombiniert mit Massenspektrometrie (GC-MS)	34

3.5	Signalverarbeitung und Auswertemethoden	35
3.5.1	Datenvorverarbeitung	35
3.5.2	Merkmalsextraktion	36
3.5.3	Zusätzliche Dimensionsreduktion mittels Mustererkennungsverfahren	37
3.5.4	Klassifizierung	41
3.5.5	Künstliche Neuronale Netze	41
3.6	Geruch	45
3.6.1	Bewertung von Gerüchen durch Geruchspanel	46
3.6.2	Technische Messung von Gerüchen mit chemischen Sensoren	48
4	Entwicklung des Messsystems	52
4.1	Hardwarekomponenten	52
4.1.1	Messkammer	52
4.1.2	Spülvorrichtung	54
4.1.3	Mess- und Steuerungsmodul	58
4.1.4	Absaugvorrichtung	63
4.1.5	Probenahme- und Kalibriervorrichtungen	65
4.2	Grafische Bedienoberfläche (GUI)	74
4.2.1	Oberfläche zur Datenaufnahme und Steuerung des Messablaufs	74
4.2.2	Konfigurierbarkeit der Parameter einzelner Module	77
4.2.3	Generierung und Verarbeitung von Messdaten	78
4.2.4	Online-Auswertung von Messdaten	79
4.3	Beispielhafte Konfiguration der Module zu einem Messsystem	80
5	Allgemeines Vorgehen zur Konfiguration und Nutzung des Messsystems	84
5.1	Konfiguration und Trainieren	86
5.1.1	Konfiguration des Messsystems	88
5.1.2	Trainieren des Messsystems	89
5.2	Evaluierung und Messen	91

5.3	Re-Kalibrierung des Messsystems	93
5.3.1	Re-Kalibrierung bei der Detektion definierter Gase	93
5.3.2	Re-Kalibrierung bei der Detektion von Gerüchen	95
6	Anwendungsbeispiele	96
6.1	Detektion von Trans-2-Hexenal bei vergleichsweise hohem Ethanol-Hintergrund	96
6.1.1	Motivation und Aufgabenstellung	96
6.1.2	Konfiguration des Messsystems	98
6.1.3	Trainieren und Evaluierung des Messsystems	111
6.1.4	Re-Kalibrierung	124
6.1.5	Diskussion der Ergebnisse	126
6.2	Beurteilung des Schweißgeruchs von Schuhen und Strümpfen	128
6.2.1	Motivation und Aufgabenstellung	128
6.2.2	Entstehung und Beurteilung des Schweißgeruchs in Schuh-/Strumpfsystemen	130
6.2.3	Konfiguration des Messsystems	135
6.2.4	Trainieren und Evaluierung des Messsystems	152
6.2.5	Re-Kalibrierung	163
6.2.6	Optimierung des Messablaufs	164
6.2.7	Diskussion der Ergebnisse	166
7	Zusammenfassung	169
8	Ausblick	171
A	Anhang	173
A.1	Literatur- und Quellenverzeichnis	173
A.2	Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen	183
A.3	Bildverzeichnis	186
A.4	Tabellenverzeichnis	192
A.5	Liste eigener Veröffentlichungen	193