

Messsystem zur hochauflösenden Charakterisierung von mikromechanischen Drucksensoren

Projektleiter

Prof. Dr. Klaus Eden

Forschungsschwerpunkt

Fahrzeugsensorik

Zeitraum

2003–2005

Mitarbeiter

W. Schreiber-Prillwitz,
R. Bornefeld, O. Stöver

Kooperation

ELMOS Semiconductor
AG Dortmund

Förderung

ELMOS AG

Projektentwicklung

GEMINUS e. G.,
Dortmund

Kontakt

Prof. Dr. Klaus Eden,
Fachbereich
Informations- und
Elektrotechnik,
Fachhochschule
Dortmund,
Sonnenstraße 96,
44139 Dortmund
Telefon:
(0231) 9112-108,
E-Mail:
eden@fh-dortmund.de

Zielsetzung

Die rasante Entwicklung der Mikrosystemtechnik, d.h. der Integration von Mikroelektronik und mikromechanischen Systemen, führt zu einer Vielzahl neuer Sensorsysteme.

Zunehmende Bedeutung gewinnen mikromechanische Drucksensoren mit einer hohen Auflösung. Beispiele für Anwendungen finden sich in der Industrie, der Haushalts- und der Automobilelektronik.

Drucksensoren finden sich in der Automobilindustrie in einem breiten Anwendungsspektrum wieder. Dieses beginnt im niedrigen Druckbereich (sensing in breaking servos), und reicht über den atmosphärischen Bereich (Luftdruckmessung) bis in den extremen Hochdruckbereich (> 1000 bar, common rail injection system).

In Kooperation mit der ELMOS AG wurde an der FH Dortmund ein Messsystem entwickelt, das die Charakterisierung von Niederdruck- und Hochdruck-Sensoren im Temperaturbereich von -40°C bis $+150^{\circ}\text{C}$ gemäß den Qualitätsanforderungen der Automobilindustrie ermöglicht. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Charakterisierung von ersten Prototypen und Sensoren aus Vorserien, die mittels Verfahren der Si-Mikromechanik hergestellt sind.

Projektverlauf

Der Ablauf des Projektes lässt sich in vier Schwerpunkte aufteilen :

1. Temperaturerzeugung
2. Hochgenaue Druckerzeugung für den Niederdruckbereich
3. Druckerzeugung für den Hochdruckbereich
4. Signalaufbereitung und Steuerung

Für die Bereitstellung der notwendigen Mess-temperaturen wurde ein Wärmeschrank der Fa. Weiss beschafft, der im Temperaturbereich von -40°C bis $+150^{\circ}\text{C}$ arbeitet.

Die hochgenaue Druckerzeugung im Niederdruckbereich von 0 bis 3000 Pa (± 1 Pa) erfolgt sehr genau mittels einer Wassersäule, die sich mit einer Auflösung von $1\ \mu\text{m}$ einstellen lässt.

Für höhere Drücke im Bereich von $1,1 \cdot 10^5$ Pa bis 10^6 Pa ($1,1$ – 10 bar) wird mittels einer Stickstoff-

flasche und einem elektronischen Druckregler der gewünschte Solldruck erzeugt.

Das gesamte Messsystem wird über ein LabVIEW-Programm gesteuert. Nach Eingabe der gewünschten Drücke und Temperaturen erfolgt der Messablauf automatisiert, wobei der aktuelle Status der Messungen jederzeit über eine Internetanbindung überprüft werden kann.

Nach Beendigung aller Messungen werden die Messdaten auf Wunsch per Email den zuständigen Entwicklungsingenieuren zugesandt. Zudem lassen sich mittels der integrierten Auswertalgorithmen direkt statistische Analysen durchführen und ein Datenblatt mit festgelegten Kenngrößen generieren.

Ergebnisse

Durch die wachsende Nachfrage nach „intelligenten Sensoren“ für industrielle Anwendungen im Bereich der Haushalts- und Automobilelektronik haben sich in der Druckmesstechnik Siliziumsensoren durchgesetzt.

Dank ihrer geringen Abmessungen, den sehr guten Materialeigenschaften von Silizium und der Möglichkeit, Sensorelemente und Auswertelektronik (Temperaturabgleich, A/D-Wandlung, μC , ...) auf einem Chip zu integrieren ergeben sich wesentliche Verbesserungspotentiale für integrierte Sensorsysteme.

Die qualifizierten Drucksensoren basieren auf dem piezoresistiven Effekt – der Änderung des elektrischen Widerstands aufgrund mechanischer Verspannung – der in Silizium sehr ausgeprägt ist.

Wegen ihrer hohen Langzeitstabilität und Präzision finden Drucksensoren dieser Bauart ein breites Anwendungsfeld.

Das Prinzip ist in Abb. 1a schematisch dargestellt. Mit Methoden der Si-Mikromechanik wird eine dünne Si-Membrane mit einer typischen Dicke von $20\ \mu\text{m}$ freigelegt.

Unter Druck verbiegt sich die Membrane geringfügig, was von den implantierten Piezowiderständen detektiert wird.

Vier Piezowiderstände sind in Form einer Wheatstone-Brücke angeordnet (Abb. 1b) und liefern ein nahezu lineares druckabhängiges Ausgangssignal.

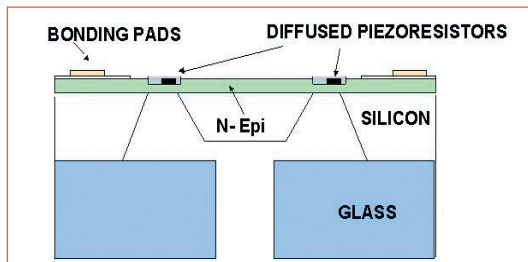


Abb. 1 a): Schematischer Aufbau der piezoresistiven Drucksensoren

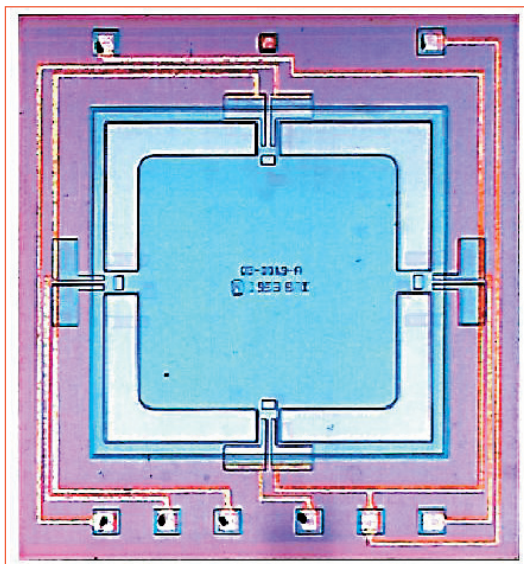


Abb. 1 b): Sensormembran mit vier Piezowiderständen in Form einer Wheatstone-Brücke (ELMOS AG, SMI)

Abbildung 2 zeigt die Ausgangsspannungen eines Hochdrucksensors im Bereich von 1,1–10 bar für Temperaturen von -20°C bis 100°C. Deutlich ist die nahezu lineare Zunahme des Sensorsignals mit steigendem Druck und höheren Temperaturen zu erkennen.

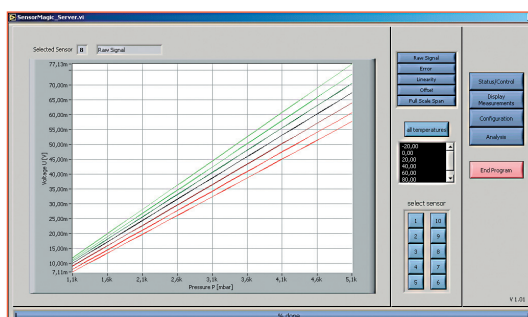


Abb 2: Ausgangsspannungen eines Hochdrucksensors (1,1–10 bar) für sieben Temperaturen (-20°C bis 100°C)

Das entwickelte Messsystem ermöglicht die umfassende Charakterisierung und Qualifizierung der Drucksensoren. Die gewonnenen Messdaten erlauben Rückschlüsse für eine optimierte Fertigung und ermöglichen die Berechnung von Kalibrationsparametern für ein Auswerte-ASIC.

Die Druckerzeugung für Niederdruckmessungen erfolgt mittels einer Wassersäule und gestattet die Einstellung von Drücken im Bereich 0 Pa bis 3000 Pa mit einer Genauigkeit von 1 Pa. Durch Auf- und Abfahren der Wassersäule in einem Standzylinder mittels eines Positioniertisches wird über eine LabVIEW Regelung der gewünschte Druck eingestellt. Die Druckkontrolle erfolgt mit einem kalibrierten Präzisionsensors der Fa. Honeywell.

Für Hochdruckmessungen wird dieses System durch eine N₂-Druckflasche und einem elektronischen Druckregler ersetzt. Hiermit lassen sich Drücke im Bereich von 1,1*10⁵ Pa bis 10⁶ Pa (1,1–10 bar) mit einer Toleranz von 100 Pa generieren.

Präsentationen

Rathaus Wissenschaftstag 2002

Kongress VIP 2003 –
Virtuelle Instrumente in der Praxis

„Messsystem zur hochauflösenden Charakterisierung von mikromechanischen Drucksensoren“ in Jamal/ Jaschinski Virtuelle Instrumente in der Praxis 2003, Hüthig Verlag p. 35-39

Sensormesse Nürnberg 2003

JOBtec Dortmund 7.10.04

Zukunft des Projektes

Auf Basis der Ergebnisse wurde inzwischen von der ELMOS AG ein integrierter Drucksensor gefertigt, der das ursprüngliche Sensorelement und das Auswerte-ASIC in einem IC vereint.

Das Projektziel ist damit erreicht und die weiteren notwendigen Qualifikationen der integrierten Drucksensoren werden, wie bei Massenprodukten üblich, im Hause ELMOS durchgeführt. Die Erfahrungen, sowie die Steuerungs- und Auswertealgorithmen werden in einem Folgeprojekt genutzt. Es hat die temperaturabhängige Charakterisierung von Inertialsensoren, also von Beschleunigungs- und Drehratensensoren zum Ziel.