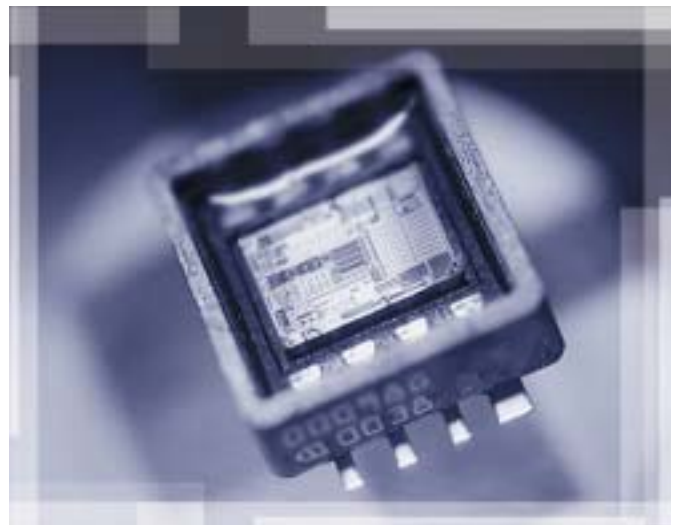


# Hochintegrierte Drucksensoren für Automotive-Anwendungsbereiche

## Einsatzfelder und Funktionsweisen von siliziumbasierten mikromechanischen Drucksensoren im Kfz

**Ein wesentliches Verbesserungspotential bringen moderne Sensoren mit der Möglichkeit, Sensorelemente und Auswerteelektronik auf einem Chip zu integrieren. Ein wichtiger Schritt in diese Richtung ist mit der Beherrschung der Oberflächenmikromechanik gelungen. Anhand von zwei Beispielen mikromechanischer Drucksensoren aus verschiedenen Anwendungsbereichen und unterschiedlicher Marktreife wird gezeigt, dass diese Art der Drucksensoren bereits fest im Automobil etabliert und für künftige Anwendungen nicht mehr wegzudenken sind.**

DR.-ING. MICHAEL WYCISK



Hochintegrierter Drucksensor im SMD-P-DSOF8-Gehäuse



Dr.-Ing. Michael Wycisk leitet die Produktlinien der Druck- und Temperatursensoren im Bereich Automobil- und Industrieelektronik.

Immer mehr Käufer moderner Kraftfahrzeuge orientieren sich neben subjektiven Kriterien bei der Auswahl der Fahrzeugmarke an geringem Kraftstoffverbrauch, geringer Schadstoffemission, hoher Sicherheit und Komfort. Durch diesen Trend und durch legislative Vorgaben steigt der Bedarf an Sensoren für Kfz-Anwendungen.

In den vergangenen Jahren hat sich der Anteil der siliziumbasierten Sensoren stark entwickelt. Insgesamt lässt sich abschätzen, dass derzeit jährlich ca. 380 Mio. solcher Sensoren für automobiltechnische Anwendungen gefertigt werden. Hierbei wird mit einer jährlichen Wachstumsrate von 25 Prozent gerechnet. Bereits im Jahre 2005 soll dieser Anteil größer sein als der der nicht siliziumbasierten Sensoren, deren Marktanteil mit ca. – 1,3 Prozent pro Jahr sinkt [2] (Abb. 1).

Gründe, die für den vielfachen Einsatz dieser Sensoren sprechen, sind Kostenreduktionspotentiale, höhere Zuverlässigkeit und die Möglichkeit, Systeme mit größerem Funktionsumfang auf kleinem Raum zu realisieren. Moderne Kraftfahrzeugsysteme erfassen und verarbeiten

eine Vielzahl von sensorischen Eingangsgrößen, wie z.B. Beschleunigung, Druck, Temperatur, Drehzahl, Drehrate, Winkel, Kraft, Abstand, Füllstände und chemische Zusammensetzungen (Luftgüte oder Ölqualität). Ein wesentliches Verbesserungspotential bringen moderne Sensoren mit der Möglichkeit, Sensorelemente und Auswerteelektronik (Temperaturabgleich, A/D-Wandlung, etc.) auf einem Chip zu integrieren. Ein wichtiger Schritt in diese Richtung ist mit der Beherrschung der Oberflächenmikromechanik gelungen. In dieser Technologie werden die Sensorelemente mit Prozessen ausschließlich auf der Oberfläche der Siliziumscheiben erzeugt. Dies ermöglicht eine Prozessierung in einer Standard-BiCMOS-Prozesslinie. Dadurch werden sowohl die Sensorzellen als auch die komplette Signalverarbeitung und -digitalisierung auf einem einzigen Siliziumchip realisiert. Innerhalb der Anwendung führt das zu einer deutlichen Reduzierung der notwendigen Bauteile und Bauteilgruppen. Des Weiteren schlägt es sich neben den geometrischen Einsparungen auch in der Komplexität und der Ausfallsicherheit der Schaltung positiv wieder.

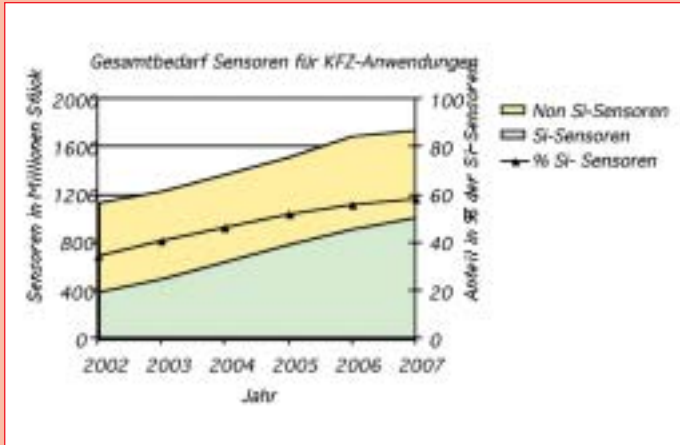


Abb. 1: Entwicklung des Anteils der siliziumbasierten Sensoren für kraftfahrzeugtechnische Anwendungen (Quelle [2])

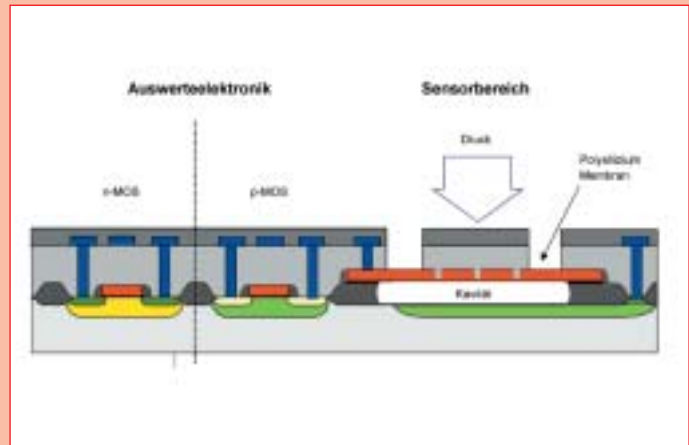


Abb. 2: Schematischer Aufbau einer Sensorzelle im Querschnitt

### Technologie

Der verwendete Basisprozess basiert auf einer für Automotive-Anwendungen qualifizierten 0,8-µm-BiCMOS-Technologie. Der hier vorgestellte Drucksensor basiert auf der Grundlage des kapazitiven Messprinzips (Oberflächenmikromechanik), d.h. eine Druckänderung im Umgebungsmedium verursacht eine Kapazitätsänderung und somit eine Änderung des Sensorausgangsignals. Gegenüber Drucksensoren, die auf dem piezoresistiven Effekt basieren

(Volumenmikromechanik), entfallen zusätzliche Spezialprozesse und der Handling-Aufwand verringert sich. Des Weiteren ist der Stromverbrauch beim kapazitiven Prinzip während einer Druckmessung um den Faktor 10 kleiner als beim piezoresistiven Messprinzip. Dies spielt bei batteriebetriebenen Systemen, wie aktuelle Reifenluftdruckkontrollsysteme, eine wichtige Rolle. Um eine Umformung der physikalischen Größe Druck zu ermöglichen, wird eine druckempfindliche Membran über einer hermetisch verschlossenen Kavität erzeugt (Abb. 2). Dazu

wird über der unteren Elektrode des Kondensators im Substrat ein Feldoxid hergestellt. Dieses Oxid wird im nächsten Prozessschritt durch eine dotierte Polysiliziumschicht bedeckt. Das Polysilizium bildet die Gegenelektrode des Kondensators. Diese Schicht wird strukturiert, damit im nächsten Prozessschritt das darunterliegende Feldoxid (Opferschicht) nasschemisch mit Flußsäure entfernt werden kann. Im abschließenden Prozess wird die strukturierte, freistehende Polysiliziumschicht verschlossen. Hierdurch wird die erzeugte Kavität unter einem definierten Druck hermetisch gekapselt. Die Empfindlichkeit des Sensors ist weitgehend durch geometrische Parameter des Sensoraufbaus bestimmt. Hierzu gehören der Membran-

durchmesser sowie die Membrandicke und Höhe der Kavität. Bei einer Druckbeaufschlagung wird die bewegliche Membran ausgelenkt, was zu einer Veränderung der Kapazität führt. Um die Größe des Signals zu erhöhen, wird ein Array von vier Feldern zu z.B. je 14 Membranen erzeugt und parallel verschaltet. Hier sind zwei Felder druckempfindlich und zwei Felder dienen als Referenz. Das Sensorsignal wird aus der Differenz der druckempfindlichen und der Referenzfelder gebildet. Die analog-digital-Wandlung dieses Signals erfolgt vollständig innerhalb der auf dem Chip integrierten Signalverarbeitung. Dadurch sind sowohl ein sehr gutes Signal-Rauschverhältnis als auch eine hohe Genauigkeit gewährleistet.

### Anzeige

### Package

Um eine kostengünstige Montage des Sensors in hochvolumigen Anwendungen der Automobiltechnik zu ermöglichen, werden die Drucksensoren in einem speziell entwickelten SMD-Gehäuse eingesetzt. Dieses P-DSOF8-Kunststoffgehäuse besitzt acht Anschlusspins und ist nach oben offen. Nach Einkleben des Sensorchips und dessen Kontaktierung durch Golddrähte wird der Chip mit einem Silikongel bedeckt. Über das Gel wird der zu messende Umgebungsluftdruck auf die Sensorflächen übertragen. Außerdem schützt es den Chip vor Umwelteinflüssen. Das Gehäuse ist zur automatischen Bestückung von Leiterplatten ausgelegt und stellt somit einen entscheidenden (Kosten-) Vorteil zu herkömmlichen Gehäusen dar (Aufmacherbild).

### Applikationen

Anhand von zwei Anwendungen wird gezeigt, wie derartig hochintegrierte Drucksensoren in modernen Anwendungen im Bereich der Automobiltechnik eingesetzt werden.

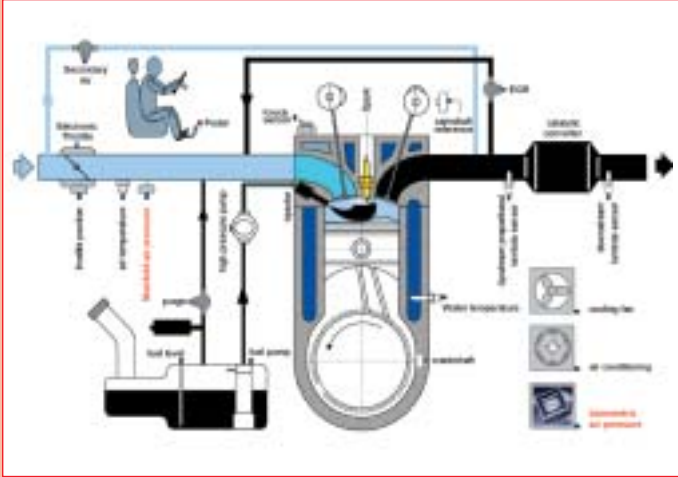


Abb. 3: Sensoren im Motormanagement für Ottomotoren gemäß Euro3. Messung des Ansaugdrucks (MAP) und des barometrischen Luftdrucks [4] (BAP) [rot markiert] dienen zur Bestimmung des optimalen Benzin- Luftgemisches.

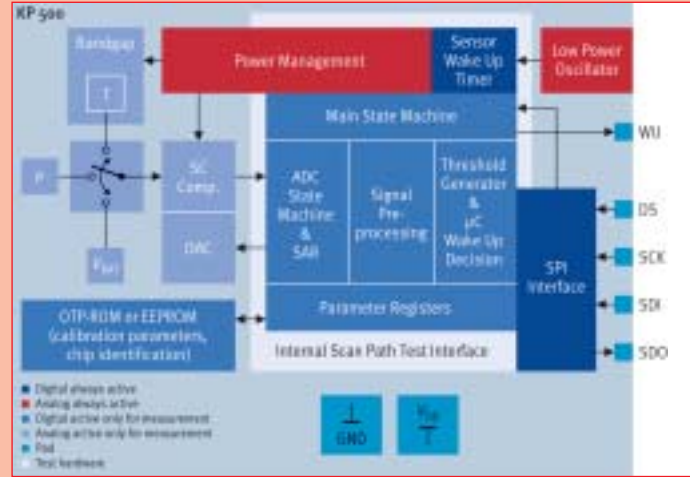


Abb. 4: Aufbau und Blockschaltbild eines siliziumbasierten Drucksensors für Reifenluftdruckkontrollsysteme [5]

## Luftdruckmessung im Bereich des Motormanagements

Das erste Beispiel beschreibt eine bereits sehr etablierte Anwendung im Motormanagement. Zur besseren Regelung des Verbrennungsprozesses werden vermehrt Sensoren eingesetzt, die eine genauere Messung der physikalischen Parameter ermöglichen (Abb. 3). Dies führte u.a. auch dazu, dass der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch in Deutschland in den letzten Jahren von ca. 10 l/100 km in den achtziger Jahren auf ca. 7 l/100 km gesunken ist. Des Weiteren treten seit 1992 in Europa in Abständen von ca. vier Jahren neue Emissionsnormen in Kraft, um den Schadstoffausstoß der Kraftfahrzeuge zu senken.

Der Markt für die MAP- und BAP-Sensoren ist in einem reifen Zustand. Der Sensorbedarf im Jahr 2003 liegt für MAP-Sensoren weltweit bei ca. 29,5 Mio. Stück, der Bedarf an den BAP-Sensoren bei ca. 15 Mio. Stück. Das jährliche, durchschnittliche Marktwachstum wird mit 4,5 Prozent pro Jahr angenommen.

## Reifenluftdruckkontrollsystem

Ein deutlich höheres Marktwachstum wird für die Anwendung ‚Reifenluftdruckkontrollsystem‘ (TPMS) erwartet. Lag 2001 der Drucksensorbedarf bei dieser Applikation noch bei ca. 3 Mio. Stück weltweit, so erwartet man heute am Ende dieses Jahrzehntes ein Anstieg des Bedarfs bis auf 100 Mio. Drucksensoren pro Jahr [6]. Dieses ungewöhnlich hohe jährliche Wachstum von ca. 86 Prozent basiert auf einer Gesetzgebung in den USA, die im Mai 2002 verabschiedet wurde. Hintergrund ist eine Reihe von tödlichen Unfällen in den USA durch geplatze Reifen im Sommer 2000. Die Gesetzgebung sieht vor, dass jedes neu zugelassene Fahrzeug mit einem Warnsystem für Druckverlust im Reifen ausgestattet sein muss. Auch

in Europa gewinnt diese Applikation immer mehr an Bedeutung und die Anwendung hält als Steigerung im Bereich Komfort und Sicherheit derzeit Einzug in die Kraftfahrzeugmittelklasse. Die folgende Abbildung zeigt den Aufbau eines modernen Drucksensors für Reifenluftdruckkontrollsysteme (Abb. 4).

Neben dem Reifenluftdruck misst der Sensor die Temperatur des Reifens und die Batteriespannung des Sensormoduls. Diese Sensoren sind monolithisch mit der Signalverarbeitung auf einem Chip integriert. Der Großteil der Schaltung ist nur während des kurzen Intervalls der Messung aktiv. Die Messung kann hier durch ein externes Kommando oder durch einen internen ‚Wake-Up‘-Algorithmus aktiviert werden. Messdaten werden typischerweise ein bis zwei mal pro Sekunde erzeugt, wenn der Luftdruck sinkt. Im Ruhezustand, d.h. bei keiner Druckänderung, misst das System im Minutentakt. Ein wesentlicher Anspruch an das Gesamtsystem liegt in einer langen Lebensdauer von mehr als zehn Jahren mit einer einzigen Batterie als Energiequelle, wobei auch der Verbrauch des systemzugehörigen Mikrocontrollers und des Transmitters mit berücksichtigt werden muss. Hier wird der schon oben genannte Vorteil der stromsparenden Messung des kapazitiven Messprinzips deutlich.

## Zusammenfassung

Die Entwicklung und Beherrschung der Oberflächenmikromechanik für hochintegrierte Drucksensoren zeigt bei Anwendungen im Kraftfahrzeugbereich neben einem Kosteneinsparpotential auch die Möglichkeit, komplexe Systeme auf kleinem Raum zu realisieren. Anhand von zwei Beispielen aus verschiedenen Anwendungsbereichen mit unterschiedlicher Marktreife wurde gezeigt, dass diese Art der Drucksensoren bereits fest im Automobil eta-

bliert und für künftige Anwendungen nicht mehr wegzudenken sind. Zukünftige Trends innerhalb dieser Technologie weisen in die Richtung einer gesteigerten Genauigkeitsanforderung und höherer Resistenz gegenüber Umwelteinflüssen (Medienkompatibilität, EMV und Temperatur). Im Rahmen von technologischen Weiterentwicklungen wurden diese Aspekte bereits berücksichtigt und teilweise im TPMS-Drucksensor umgesetzt.

## Literatur

- [1] „Halbleiter – Technische Erläuterungen und Kenndaten“, Infineon Technologies, 2. Auflage, 2001, München
- [2] „Automotive Silicon Sensor Market“, Strategy Analytics, February 2003
- [3] Stefan Kolb, „Solution for a tire pressure sensor interface in surface micromachining“, Semicon 2003, München
- [4] Christian Kolle et.al., „A Monolithically Integrated Capacitive Pressure Sensor System for Automotive Applications“, MIDEM2000, Postojna, Slovenien
- [5] Thomas Bever, Michael Kandler, „Solutions for Tire Pressure Monitoring Systems“, AMA 2003, Berlin
- [6] „Automotive Sensor Demand 2000 – 2009“, Strategy Analytics, September 2002

Beitrag als PDF im Internet:

[www.publish-industry.net](http://www.publish-industry.net)

more @ click DV63201

