

## СЕКЦИЯ «ИНОСТРАННЫЕ ЯЗЫКИ»

### EINFÜHRUNG UND VERWENDUNG DER MIKROSENSOREN IM FAHRZEUG: MEMS-TECHNOLOGIE

Агиевич Е.Д., Ситко В.И.

Научный руководитель: ст. преподаватель Станкевич Н.П.  
Белорусский национальный технический университет

Dieser Artikel soll einen prinzipiellen Überblick, und in einigen Fällen auch einen tiefen Einblick, über das umfangreiche Gebiet der Mikrosensoren im Automobil vermitteln. Dabei werden Fragen von grundlegender Bedeutung für den industriellen Einsatz autonomer Systeme behandelt. MEMS-Sensoren sind heutzutage unverzichtbar in Fahrzeugen und elektronischen Geräten. Die ersten Varianten wurden im Kraftfahrzeug eingesetzt und dienten der Messung von Druck und Beschleunigung. Mittlerweile finden sich immer mehr Miniatursensoren in Fahrzeugen, beispielsweise für Gurtstraffer oder Bremskontrollsysteme. Es ist weit verbreitet in Motor (ABS), elektronischem Stabilitätsprogramm (ESP), elektronisch gesteuerter Aufhängung (ECS), elektrischer Handbremse (EPB), Steigungsanfahrhilfsmittel (HAS), Reifendrucküberwachung (EPMS) und der Automotorstabilisierung, Winkelmessung sowie ein adaptives Navigationssystem im Auto. Ihr primäres Einsatzgebiet liegt in der Fahrsicherheit. Darüber hinaus erhöhen miniaturisierte Sensoren inzwischen den Komfort der Insassen z.B. durch Temperaturmessung in Klimaanlage. Neben dem Betriebszustand erfassen die Sensoren auch die Umgebung des Fahrzeugs.

Die Außentemperatur-Messung gehört inzwischen zur Standardausrüstung eines Pkws. Bei Temperaturen um den Gefrierpunkt weist die Auswerteelektronik den Fahrer gegebenenfalls auf Frost und Glätte hin. In der gehobenen Klasse unterstützen Abstandssensoren den Fahrer beispielsweise beim Einparken, in dem sie ihn auf Hindernisse aufmerksam machen. Das Einsatzgebiet mikromechanischer Sensoren im Automobil wächst ständig. Dabei müssen die Sensoren hohe Anforderungen erfüllen: Sie müssen während der gesamten Lebensdauer des Fahrzeugs zuverlässige Signale liefern. Außerdem müssen sie robust gegenüber unterschiedlichen Umgebungsbedingungen sein, wie z.B. starken Vibrationen, Temperaturwechseln z.B. zwischen  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  und  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ , korrosiven Umgebungsbedingungen und Stoßbelastungen.

Die Messwerte müssen sehr genau sein (für anspruchsvolle Regelfunktionen). Ferner müssen die Sensoren klein, leicht und kostengünstig sein. Anfänglich waren miniaturisierte mikromechanische Sensoren ein Nischenprodukt in Oberklassenfahrzeugen; jedoch haben sie inzwischen ihren Einzugsbereich auch in die

Kleinwagen gehalten. Mitwachsender Stückzahl und zunehmender Miniaturisierung sinkt auch der Sensorpreis. Somit öffnet sich der Automobilmarkt immer stärker diesen Mikrosensoren.

Sehr viele Sensoren im Automobil werden in der so genannten MEMS-Technologie gefertigt (MEMS: Mikro-Elektro-Mechanische Systeme). Sie bestehen aus einem elektromechanischen Sensor, der ein elektrisches Signal an eine Auswerte-Einheit weitergibt. Ein Beschleunigungssensor besteht beispielsweise aus winzigen kammförmig angeordneten Fingern aus Silizium, die ineinandergreifen. Bei einer plötzlichen Veränderung, etwa wenn das Auto scharf bremst oder ins Rutschen gerät, werden die Kämme gegeneinander verschoben. Dadurch ändert sich der Abstand zwischen den Fingern, was Auswirkungen auf die elektrische Spannung an den Kämmen hat. Diese Veränderung ist messbar und kann in ein elektrisches Signal umgerechnet werden, welches der Sensor weitergibt [1].

Das Ausgangsmaterial für die MEMS-Technologie ist das Halbleitermaterial Silizium (Si). Durch eine geeignete Kombination von Schichtabscheidung, photolithographischer Strukturierung und Ätzverfahren lassen sich komplexe dreidimensionale Strukturen erzeugen. Die dabei erzielten kleinsten Strukturen reichen von wenigen Mikrometern bis hin in den Nanometer-Bereich.

Die MEMS-Technologie hat sich aus der Halbleiter-Technologie entwickelt, mit deren Hilfe Chips und Speicher hergestellt werden. Dadurch überlappen sich die Technologien beider Felder sehr stark. Während die CMOS-Technologie zur Herstellung von elektrischen Komponenten wie Dioden, Widerständen und Kondensatoren für Logik- und Speicherbausteine verwendet wird, dient die MEMS Technologie dazu, dreidimensionale Sensoren und Aktoren zu erzeugen. Zur Herstellung von mikromechanischen Systemen werden polykristallines Silizium oder Siliziumverbindungen wie Siliziumnitrid und Siliziumoxid auf Silizium abgeschieden. Die Abscheidung erfolgt meist durch CVD (Chemical Vapour Deposition, Schichtabscheidung aus der Gasphase) oder PE-CVD (Plasma Enhanced CVD, Plasma-unterstützte CVD). Ferner nutzt man die hohe Selektivität der verschiedenen Ätzverfahren, nämlich beim isotropen oder anisotropen Trockenätzen der verschiedenen Siliziumverbindungen und der verschiedenen Siliziummodifikationen untereinander sowie beim anisotropen nasschemischen Ätzen von Silizium-Einkristallen bezüglich der Orientierung der Kristalloberfläche.

Die hohen Anforderungen, die in der Halbleiter-Technologie an das Silizium gestellt werden, kommen auch der MEMS-Technologie zugute. Bei der Sensor-Herstellung werden die physikalischen und chemischen Eigenschaften kombiniert, indem beispielsweise mehrere Schichten aufeinander abgeschieden werden. Diese werden anschließend strukturiert und selektiv entfernt (Opferschichten).

Damit lassen sich beispielsweise freistehende Zungen, Membranen und Spitzen erzeugen.

Bosch ist der bekannteste Hersteller von Automobilsensoren. Sein neuer MEMS-Sensor SMI230 sei ein exakter Sensor, der ständig Richtungs- und Geschwindigkeitsänderungen des Fahrzeugs erfasse, auswerte und an das Navigationssystem weiterleite. Die Daten werden mit den Positionsdaten des globalen Navigationssatellitensystems (GNSS) kombiniert und für die Navigation verwendet [2].

Die Verwendung von MEMS-Technologie bietet eine Vielzahl von Vorteilen, darunter:

- **Kostensenkung:** Durch die Integration mehrerer Funktionen in einem einzigen Bauelement und die Möglichkeit der Batchfertigung können die Kosten reduziert werden.

- **Größe und Gewicht:** MEMS-Bauelemente sind extrem kompakt und hoch integrierbar, was zu geringem Platzbedarf und Gewicht führt und somit Platz in Geräten spart.

- **Zuverlässigkeit:** Durch die Reduzierung von Steckern und Kabeln sowie die Verwendung weniger Bauelemente wird die Zuverlässigkeit erhöht und die potenziellen Fehlerquellen reduziert.

- **Weitere Funktionen:** MEMS-Technologie ermöglicht die Integration von Selbsttests und Genauigkeitsprüfungen, um die Qualität und Leistung der Bauelemente zu verbessern.

Insgesamt bietet die Verwendung von MEMS-Technologie in verschiedenen Anwendungen viele Vorteile, darunter Kostensenkung, Größe und Gewichtsoptimierung, verbesserte Zuverlässigkeit und zusätzliche Funktionen.

Die digitale Datenverarbeitung sorgt für optimierte Verbrennungsvorgänge (Kraftstoffeffizienz), minimierte Emissionen, sicheres Fahren und ein komfortables Umfeld für Fahrer und Passagiere.

Nachteile MEMS-Technologie sind:

- Die Energieversorgung eines drahtlosen MEMS ist häufig problematisch.

- Das Versenden der Daten muss sicher und verlustfrei sein.

- Der Umgang mit MEMS-Sensoren in aggressiven Umgebungen ist schwierig.

- Die Umwandlung von physikalischen Größen in zu verarbeitende elektrische Größen kann zum Datenverlust führen.

- Eine große Menge an Daten fällt an und muss interpretiert werden [3].

Es ist wichtig, diese Herausforderungen bei der Verwendung von MEMS-Technologie in bestimmten Anwendungen zu berücksichtigen und geeignete Lösungen und Maßnahmen zu ergreifen, um diese zu überwinden und die bestmögliche Leistung und Zuverlässigkeit von MEMS-basierten Systemen zu gewährleisten.

Mit MEMS-Sensoren gestaltet sich die Anwendung elektronischer Geräte deutlich vielseitiger, komfortabler und intelligenter. Mit der MEMS Technologie lassen sich z.B. auf gerade einmal  $2 \times 3,5 \times 0,95 \text{ mm}^3$  Bauraum neun Sensoren realisieren, mit denen die absolute Orientierung bestimmt werden kann. Automobilsensoren, die auf nanoskaligen magnetoresistiven Strukturen basieren, können in Bereichen wie Navigation, Verkehrsüberwachung, Strommessung mit vollständiger galvanischer Trennung der Schaltkreise, lineare und Winkelpositionsmessung, Drehzahlerfassung und Drosselklappenposition eingesetzt werden [4].

Ein viel versprechender Lösungsansatz, besteht darin, Modelle dieser kooperativen Systeme zu erstellen und zu verwenden, um Analysen und resultierende Entwurfsverbesserung im Hinblick auf Fragen der Usability, Brauchbarkeit, Effizienz, Robustheit und Sicherheit durchzuführen. Darüber hinaus können MEMS-Sensoren mit der Entwicklung neuer intelligenter Fahrzeuge, wie z. B. Fahrzeugen mit neuer Energie und fahrerlosen Fahrzeugen.

### Литература

1. Bosch [Elektronische Ressource]. – Das Regime des Zugriffes: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/de/loesungen/elektronische-bauelemente/mems-sensoren/>. – Das Datum des Zugriffes: 5.03.2023.
2. Mordorintelligence [Elektronische Ressource]. – Das Regime des Zugriffes: <https://www.mordorintelligence.com/de/industry-reports/mems-sensor-market/>. – Das Datum des Zugriffes: 25.03.2023.
3. Produktion [Elektronische Ressource]. – Das Regime des Zugriffes: <https://www.produktion.de/technik/alles-was-sie-ueber-mems-wissen-muessen-287.html>. – Das Datum des Zugriffes: 7.04.2023.
4. Сысоева, С. Ключевые сегменты рынка МЭМС-компонентов. Акселерометры / С. Сысоева // Компоненты и технологии. – 2010. – № 3. – С. 20–26.

### 中国与白俄罗斯之间的物流

Алексахин Е.А.

Научный руководитель: преподаватель Морозова В.Н.  
Белорусский национальный технический университет

История логистики началась еще в древности, когда торговцы и купцы вынуждены были максимально оптимизировать процесс транспортировки товаров. Сегодня логистика является важной составляющей мировой