

Was ist MEMS Technologie?

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) ist eine Technologie, die miniaturisierte mechanische und elektrische Komponenten in einem einzelnen, auf Silizium basierenden Chip vereint. MEMS-Geräte werden mit Halbleiterfertigungstechniken (wie Photolithographie, Ätzen und Abscheidung) hergestellt, was eine hohe Präzision, kleine Größe und geringen Energieverbrauch ermöglicht.

Hauptkomponente eines MEMS Geräts

Ein MEMS Sensor besteht in der Regel aus:

- 1. Mikromechanische Strukturen**
Kleine bewegliche Teile, die auf externe Reize (z. B. Gas, Temperatur, Druck) reagieren.
- 2. Mikroelektronik (ASIC - Anwendungs-spezifische integrierte Schaltung)**
Verarbeitet elektrische Signale des Sensors.
- 3. Dünnschichttechnik**
Verbessert mechanische und chemische Eigenschaften.
- 4. Gehäuse und Kapselung**
Schützt die MEMS Struktur vor Umwelteinflüssen.

Der LPC (Low Power Catalytic) LEL-Sensor integriert diese MEMS-Prinzipien in die katalytische Perlen-Sensortechnologie.

MEMS-Implementierung im LPC LEL-Sensor

Der Watchgas SST4 Micro- und SST4 Pump-Sensor nutzt die MEMS-Fertigung, um einen miniaturisierten katalytischen Perlen-Sensor mit integriertem Mikroheizer, katalytischer Beschichtung und Sensorelement zu erstellen. Gasmoleküle oxidieren am Katalysator, erzeugen Wärme und erhöhen den Widerstand der Perle, der gemessen wird, um die Gaskonzentration zu bestimmen.

Diese MEMS-Implementierung bietet wichtige **Vorteile** wie:

- **Miniaturisierung**
Der Sensor ist deutlich kleiner als herkömmliche katalytische Perlen-Sensoren.
- **Geringer Energieverbrauch**
MEMS-Heizelemente verbrauchen deutlich weniger Energie als herkömmliche Drahtheizelemente.
- **Schnelle Reaktionszeit**
Die reduzierte thermische Masse des MEMS-Heizers ermöglicht ein schnelles Aufheizen und Abkühlen.



Aufbau des MEMS-katalytischen Perlen-Sensors

Der Sensor besteht aus einem Paar miniaturisierter MEMS-Pellistoren (Perlen), die in einem Wheatstone-Brückenschaltkreis angeordnet sind:

- 1. Mess-Perle (Aktiver Pellistor)** mit katalytischer Beschichtung zur Oxidation von brennbaren Gasen.
- 2. Referenz-Perle (Passiver Pellistor)** ohne katalytische Beschichtung, dient als Basis für den Signalvergleich.

MEMS Micro-Heizer

Ein Platin-Mikro-Heizer ist in den MEMS-Chip integriert, um die Betriebstemperatur des Sensors (~500-550°C) aufrechtzuerhalten. Der Heizer wird mittels Dünnschicht-Abscheidung hergestellt, wodurch er effizienter ist als herkömmliche Drahtheizelemente. Aufgrund seiner geringen thermischen Masse benötigt er weniger als 40 mA Strom, was den Sensor ideal für batteriebetriebene Anwendungen in tragbaren Gasdetektoren macht.

Die neue Generation MEMS-basierter Sensoren für brennbare Gase

Innovation in der energieeffizienten katalytischen Detektion



MEMS-basierte Katalysatorschicht

Eine dünne Schicht aus Edelmetallkatalysator (wie Platin oder Palladium) wird auf den aktiven Pellistor aufgetragen. Dieser Katalysator fördert die Oxidation von brennbaren Gasen bei niedrigeren Temperaturen im Vergleich zu herkömmlichen katalytischen Sensoren.

Vorteile von MEMS-basierten katalytischen Sensoren Im Vergleich zu herkömmlichen katalytischen Perlen-Sensoren

Low-Power MEMS-basierte katalytische Sensoren und herkömmliche katalytische Perlen-Sensoren arbeiten beide nach dem Prinzip der katalytischen Verbrennung zur Detektion von brennbaren Gasen (z. B. Methan, Propan, Wasserstoff). Sie unterscheiden sich jedoch deutlich in Bezug auf Energieverbrauch, Größe und Reaktionszeit. Im Folgenden eine detaillierte Übersicht ihrer Vor- und Nachteile:

Herkömmlicher katalytischer Perlen-Sensor	Merkmal	MEMS-basierter LPC LEL Sensor
Größer, sperriger	Größe	Miniaturisiert, kompakt
Höher (~100-200mA)	Energieverbrauch	Niedriger (~40mA)
Langsamer (15-30 sec)	Reaktionszeit (T90)	Schneller (<12 sec)
Zerbrechlich, drahtgewickelte Heizer, anfällig für Beschädigungen (drahtgewickelte Struktur)	Beständigkeit	Robust, Dünnschicht-MEMS-Heizer, hochschockbeständig (MEMS-Fertigung)
Anfällig für allmähliche Abweichungen	Temperaturstabilität	Stabiler
Hoch, kann komplexe Kohlenwasserstoffe detektieren	Gassensitivität	Hoch, einfache Kohlenwasserstoffe (C1-C5)
Moderat	Mechanische Schlagfestigkeit	Hoch
Ungenügend	Eignung für den Batteriebetrieb	Ausgezeichnet

Einzigartige MEMS-Vorteile

- **Geringer Energieverbrauch:** Verlängerte Betriebszeit bei SST4-Gasdetektoren;
- **Schnelleres Heizen und Kühlen:** Reduziert die Einschaltzeit und die Reaktionsverzögerung;
- **Vergiftungsbeständigkeit:** Stabil gegenüber Silikon-, Blei- und Schwefelvergiftung;
- **Erhöhte Haltbarkeit:** Minimale mechanische Abnutzung über den gesamten Einsatzzeitraum;
- **Kompakte Bauweise:** MEMS ermöglicht die Miniaturisierung katalytischer Sensoren, ohne die Leistung zu beeinträchtigen;
- **Energieeffizienz:** Energiesparender Mikroheizer verbessert die Batterielebensdauer und Leistung;
- **Hohe Genauigkeit:** Dünnschicht-Platin-Sensor sorgt für hohe Genauigkeit und Zuverlässigkeit;
- **Stabiles Signal:** Die Wheatstone-Brückenkonfiguration liefert ein stabiles und präzises Signal.



Die neue Generation MEMS-basierter Sensoren für brennbare Gase

Innovation in der energieeffizienten katalytischen Detektion



Vorteile des LPC LEL-basierten katalytischen Sensors:

Geringerer Energieverbrauch

LPC-Sensoren, die in den SST4 Micro- und SST4 Pump-Detektoren verwendet werden, verlängern die Batterielaufzeit der Geräte erheblich. Der SST4 Micro hält bis zu 48 Stunden mit einer einzigen Ladung, während der SST4 Pump bis zu 50 Stunden durchhält.

Schnellere Reaktionszeit

Der Sensor hat eine T90-Reaktionszeit von <12 Sekunden, während herkömmliche katalytische Perlen-Sensoren 15-30 Sekunden benötigen. Die reduzierte thermische Masse der MEMS-Heizer ermöglicht eine schnellere Aufheizzeit, um die Leistung im Sensor zu schalten.

Höhere Schlag- und Vibrationsbeständigkeit

Herkömmliche katalytische Perlen-Sensoren haben eine empfindliche, drahtgewickelte Struktur, die sie anfällig für mechanische Schäden macht. LPC-Sensoren hingegen werden mit Halbleitertechniken gefertigt, was sie robuster gegenüber Vibrationen, Stürzen und Stößen macht.

Höhere Stabilität

Der Sensor gewährleistet Stabilität über den gesamten Lebenszyklus, verringert thermische Belastungen der Perle. Erhöhte Widerstandsfähigkeit gegen Vergiftung durch einen Silikonfilter auf dem Katalysator.

Betriebsprinzip

Miniaturisierte LPC LEL katalytische Gaswarngeräte mit Perlen-Sensoren

Die Silizium-Pellistorstruktur besteht aus einem Paar präzise mikrogefertigter Membranen mit zwei eingebetteten, flachen Heizer-Wendungen, die mit einer Schicht beschichtet sind, die einen Edelmetallkatalysator für das Detektorelement und eine Inertschicht für das Kompensatorelement enthält. Die Wendung wirkt sowohl als elektrischer Heizer als auch als Widerstandsthermometer.

Das Gerät ist auf einer Leiterplatte montiert, mit Drahtverbindungen, und wird von einem Kunststoffgehäuse umschlossen, dessen Ende der Atmosphäre zugewandt ist. Wenn ein brennbares Gas vorhanden ist und das Gerät auf etwa 400 – 500 °C erhitzt wird, oxidiert das Gas, und die dabei freigesetzte Energie erhitzt das Gerät weiter. Dieser Temperaturanstieg wird als Widerstandserhöhung der Wendung erkannt.

Die Temperatur der Wendung wird auch durch die Umgebungstemperatur und durch Änderungen der Wärmeleitfähigkeit der Luft beeinflusst, die durch die mögliche Anwesenheit von Inertgasen wie Kohlendioxid verursacht werden. Um Temperaturänderungen, die nicht durch die Oxidation des brennbaren Gases verursacht werden, auszugleichen, wird ein zweites, inertes Gerät verwendet.

Der Kompensator wird auf die gleiche Weise wie das Detektorelement hergestellt, jedoch wird anstelle eines Katalysators in der Beschichtungsschicht das Gerät so behandelt, dass keine Oxidation stattfinden kann. Die beiden Geräte werden dann in einem Schaltkreis verwendet, der den Unterschied in ihren Widerständen erkennt.

Da die beiden Geräte unterschiedliche Farben und damit Emissivität sowie Widerstandslinien haben, muss gelegentlich ein fester Widerstand parallel zum Kompensator geschaltet werden, um den höheren Widerstandsanstieg auszugleichen.

Arbeitsmechanismus Schritt-für-Schritt

Energieversorgung zum Mikroheizer:

Eine kleine Spannung (typischerweise 2,9V–3,1V) wird auf den MEMS-Mikroheizer angewendet. Der Heizer erwärmt die katalytische Perle auf ihre Betriebstemperatur (~500-550°C).

Gasexposition und Oxidationsreaktion:

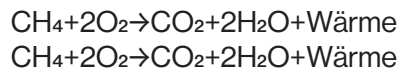
Wenn brennbares Gas (z. B. Methan, Propan, Wasserstoff) in die Sensor-kammer eintritt, kommt es mit der katalytischen Perle in Kontakt.

Die neue Generation MEMS-basierter Sensoren für brennbare Gase

Innovation in der energieeffizienten katalytischen Detektion



Das Gas unterzieht sich einer kontrollierten Oxidationsreaktion:



Diese Reaktion setzt Wärme frei und erhöht die Temperatur der aktiven Perle.

Widerstandsänderung im Platin-Heizer:

Der Temperaturanstieg verändert den Widerstand des in der Perle eingebetteten Platindrahts. Diese Widerstandsänderung ist proportional zur Gaskonzentration.

Wheatstone-Brücken-Signalausgang:

Die Sensorelemente sind in einer Wheatstone-Brückenschaltung angeordnet, die den Widerstandsunterschied zwischen dem aktiven und dem Referenz-Pellistor erfasst. Die Brücke erzeugt ein kleines Spannungssignal (im mV-Bereich), das der Gaskonzentration entspricht.

Signalverarbeitung und Ausgabe:

Das Signal wird von der internen Elektronik verstärkt und aufbereitet. Anschließend wird der Output an einen Mikrocontroller oder einen Analog-Digital-Wandler (ADC) zur weiteren Verarbeitung weitergeleitet.

Am besten nachweisbare Gase (optimale Leistung)

Der Sensor ist am besten für Kohlenwasserstoff- und wasserstoffbasierte Gase optimiert, die leicht eine katalytische Verbrennung durchlaufen. Er kann die folgenden brennbaren Gase nachweisen:

Häufige Kohlenwasserstoffgase (exzellente Empfindlichkeit)

- Methan (CH_4) – Kommt in Erdgas, Biogas und Deponiegas vor. Häufigstes Gas auf der Erde.
- Propan (C_3H_8) – Wird in LPG, Industrieanwendungen und Heizsystemen verwendet.
- Butan (C_4H_{10}) – Kommt in LPG, Feuerzeugen und Aerosoltreibmitteln vor.
- Pentan (C_5H_{12}) – Wird in industriellen Lösungsmitteln und Brennstoffen verwendet.
- Wasserstoff (H_2) – Wird in Brennstoffzellen, Schweißprozessen und in Chemieanlagen eingesetzt.

Begrenzte oder weniger effektive Gase

Obwohl der Sensor bestimmte Gase nachweisen kann, ist seine Empfindlichkeit möglicherweise geringer oder er benötigt höhere Konzentrationen für eine zuverlässige Erkennung. Er ist mit einem eingebauten Silikonfilter ausgestattet, der die Perlen vor Giften schützt, indem er den größten Teil des Silikon-Dampfes entfernt, bevor er den Sensor erreicht. Dieser Filter hilft zwar, kann jedoch die Reaktionszeit auf schwerere Kohlenwasserstoffe verlangsamen oder verringern. Im Laufe der Zeit kann er gesättigt werden, was einen Austausch des Sensors erforderlich macht.

Schwerere Kohlenwasserstoffe (geringere Empfindlichkeit)

- Kerosin, Dieseldämpfe, Benzin, Flugkraftstoff – Kraftstoffe mit hohem Molekulargewicht haben einen niedrigen Dampfdruck, sind weniger flüchtig und besitzen komplexere Kohlenwasserstoffketten, wodurch ihre katalytische Oxidationsrate verringert wird.
- Toluol, Styrol, Essigsäureethylester, Methylethylketon, Ethanol, Methanol, Heptan, Nonan – sind in der Regel nicht nachweisbar oder nur reduziert erkennbar, wenn ein Silikonfilter am LEL-Sensor installiert ist.

Halogenierte und schwefelhaltige Verbindungen (Inhibitoren)

- Chlorierte Kohlenwasserstoffe (z.B. Freone, Trichlorethen) – Diese Verbindungen oxidieren nicht leicht und können den Katalysator vergiften.
- Schwefelhaltige Gase (H_2S , SO_2 , Mercaptane) – Diese können den Katalysator im Laufe der Zeit deaktivieren, was zu einer Drift des Sensors, einem Verlust der Empfindlichkeit oder einem Ausfall führen kann.