

<sup>1</sup> *Klein, kolorimetrisch und kostengünstig: Gassensoren, gefertigt in einem Rolle-zu-Rolle-Verfahren, messen zuverlässig unterschiedliche Gase.*

## Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM

Heidenhofstraße 8  
79110 Freiburg

### Ansprechpartnerin

Dr. Marie-Luise Bauersfeld  
Gruppenleiterin  
Integrierte Sensorsysteme  
Telefon +49 761 8857-290  
marie-luise.bauersfeld@ipm.fraunhofer.de

[www.ipm.fraunhofer.de](http://www.ipm.fraunhofer.de)

## KOLORIMETRISCHE GASSENSOREN

### Klein, flexibel, kostengünstig

Kolorimetrische Gassensoren kommen überall dort zum Einsatz, wo nur begrenzt Energie zur Verfügung steht und kostengünstige Sensoren gefordert sind. Dies gilt beispielsweise für den Einsatz in Brandmeldern, im »Food Chain Management« oder in RFID-Labels. Hier können kolorimetrische Sensoren Gase wie Kohlenstoffmonoxid, Stickstoffdioxid oder Ethylen zuverlässig detektieren. Die kostengünstigen Sensoren lassen sich in Sensornetzwerke integrieren und mit anderen Sensorprinzipien kombinieren.

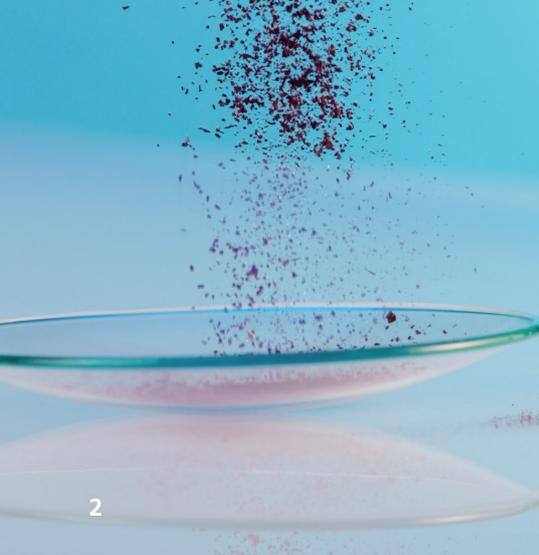
### »low power« Gassensoren

Fraunhofer IPM entwickelt neuartige »low power« Gassensoren, die auf dem Prinzip des Farbumschlags basieren. Ein Farbstoff in Kombination mit einem Polymer reagiert in Kontakt mit dem Zielgas und ändert dabei seine Farbe. Diese Farbänderung korreliert mit der Konzentration des

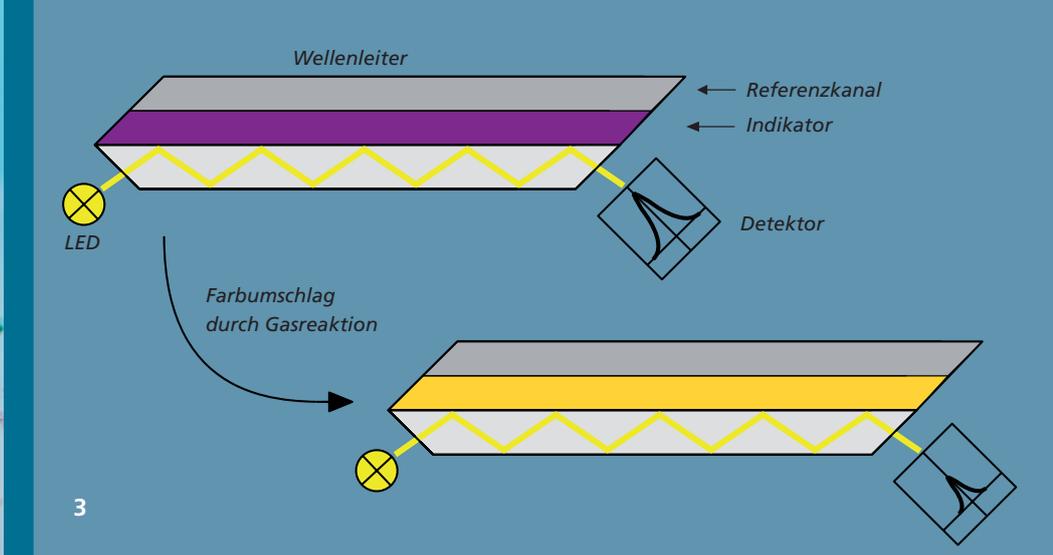
Gases und zeigt keine Wechselwirkung zu anderen Gasen. Die Reaktion verläuft bei Raumtemperatur, sodass keine Heizleistung nötig ist. Der Leistungsverbrauch liegt im Bereich weniger Milliwatt. Je nach Messzyklus kommt das System daher über mehrere Jahre ohne Batteriewechsel aus.

### Aufbau des Sensors

Das sensorische Prinzip beruht auf einem Farbumschlag der gassensitiven Schicht beim Kontakt mit dem Zielgas. Um einen Farbumschlag automatisiert detektieren zu können, wurde ein spezielles Sensor-konzept entwickelt: Zentrales Element ist ein optischer Wellenleiter, auf dessen Oberfläche das Farbumschlagmaterial abgeschieden wird. Licht, das auf der Stirnseite eingekoppelt wird, läuft in Totalreflektion durch den Wellenleiter und wird auf der gegenüberliegenden Seite auf einen Photodetektor fokussiert. Eine Farbänderung des gassensitiven Materials entspricht direkt der Absorptionsänderung des Lichts. Diese Reaktion findet im sichtba-



2



3

ren Wellenlängenbereich statt. Das Messsignal wird aus der Spannungsänderung in der Photodiode erzeugt. Zur Stabilisierung wird das sensitive Material in ein Polymer eingebettet. Diese Polymer/Farbstoff-Matrix wird mit Methoden der Mikrosystemtechnik – z. B. Rotationsbeschichtung, Siebdruck oder Tintenstrahldruck – auf den Wellenleiter aufgebracht. Der Forschungsschwerpunkt am Fraunhofer IPM liegt auf der Entwicklung kolorimetrischer Sensoren mit reversibler Farbreaktion.

### Gasochrome Farbstoffe

Zur Messung von Gasen wie Kohlenstoffmonoxid, Stickstoffdioxid, Ammoniak oder Ethylen kommen verschiedene Farbstoffe wie Metallkomplexe, Chinonimine oder pH-Indikatoren zum Einsatz.

### Kohlenstoffmonoxid (CO)

Für die CO-Reaktion wird die gasochrome Reaktion eines binuklearen Rhodiumkomplexes genutzt: Die CO-Reaktion erfolgt durch eine zweistufige Ligandensubstitution der axial gebundenen Acetatgruppen. Die Farbänderung verläuft von lila (Ausgangszustand) über orange (einseitige Substitution) zu gelb (beidseitige Substitution) (Abb. 4). Der Messbereich für diese CO-Sensoren liegt zwischen 10–1000 ppm.

### Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)

Der Farbstoff N,N,N',N' Tetramethyl-p-phenylendiamin erlaubt die Detektion von NO<sub>2</sub>. Das Para-Phenylendiamin wird der Stoffklasse der Chinone zugeordnet. Die Oxidation mit NO<sub>2</sub> führt zur Bildung vom »Wursterschem Blau«. Die Farbänderung verläuft von braun zu blau. Der Messbereich für diese NO<sub>2</sub>-Sensoren liegt zwischen 100 ppb–5 ppm.

### Ammoniak (NH<sub>3</sub>)

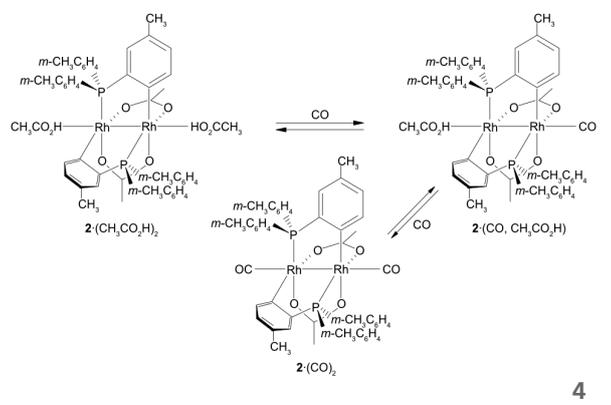
Für die Detektion von NH<sub>3</sub> verwendet Fraunhofer IPM Bromphenolblau. Dieser Farbstoff wird vorwiegend als pH-Indikator verwendet. Durch die Säure-Base-Reaktion wird das Proton der Hydroxygruppe abgespalten. Die protonierte Form weist dann eine andere Farbe als die deprotonierte Form auf. Im Falle von Bromphenolblau ist die protonierte Form gelb, die deprotonierte Form blau. Der Messbereich für diese NH<sub>3</sub>-Sensoren liegt zwischen 0,5–50 ppm.

### Ethylen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)

Zur Detektion von C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> nutzt Fraunhofer IPM die Redoxreaktion von Ethylen mit Ammoniummolybdat. Es entsteht das gemischtvalente tiefblaue Pigment Molybdänblau. Die Farbreaktion verläuft von klar zu blau. Der Messbereich für diese C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-Sensoren liegt zwischen 0,5–100 ppm.

### Kostengünstige Herstellung

Die kolorimetrischen Gassensoren können aufgrund ihres einfachen Aufbaus mit einem speziellen Rolle-zu-Rolle-Verfahren hergestellt werden. Die MID (Moulded Interconnected Devices) werden in Trägerplatten gepresst und zu einer 15 m langen Rolle verbunden. Alle Komponenten werden im Endlosspritzguss-Verfahren gefertigt. Die Sensoren durchlaufen auf der Rolle nacheinander alle Prozessschritte der elektronischen Bauteile wie Laserstrukturierung, Galvanisierung und SMD-Bestückung. Der beschichtete Wellenleiter wird in einem Backend-Prozess auf den Träger gedrückt.



4

- 2 Verschiedene Farbstoff-Granulate werden für den Nachweis genutzt.
- 3 Funktionsprinzip des kolorimetrischen Gassensors.
- 4 Farbumschlagsreaktion des Rhodiumkomplexes bei Kontakt mit Kohlenmonoxid.