

< Kolorimetrische Gassensoren können Brandgase frühzeitig detektieren. So könnten sie in Zukunft die heute üblichen Rauchwarnmelder ergänzen. Die Technologie lässt sich auch in vielen anderen Bereichen einsetzen.

## GRUPPE INTEGRIERTE SENSORSYSTEME

# Kolorimetrische Sensoren: Farbe zeigt giftige Gase an

Neuartige Sensorsysteme werden toxische Gase in Zukunft nach dem Prinzip des Farbumschlags schnell und selektiv messen. Fraunhofer IPM forscht in verschiedenen Projekten an Materialien und Systemkonzepten für kolorimetrische Gassensoren. Eine miniaturisierte Sensorplattform wird unter anderem für die Detektion von Brandgasen aufgebaut.

Ein Brand kündigt sich laut- und geruchslos an: Bevor Rauch sichtbar wird, treten giftige Gase wie Kohlenmonoxid (CO) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) auf. Wenige Atemzüge reichen aus, um daran zu sterben. Handelsübliche Rauchmelder reagieren nicht auf die Gase, sondern schlagen erst Alarm, wenn Rauchpartikel freigesetzt werden. Brandgassensoren können dazu beitragen, Brände in einem früheren Stadium zu erkennen. Bisher sind solche Gasmelder – i. d. R. auf Basis von Halbleiter-Gassensoren oder Infrarot-Sensoren – in Privathaushalten allerdings kaum zu finden. Je nach Technologie sind sie zu teuer, haben eine begrenzte Lebensdauer, verbrauchen zu viel Strom oder unterscheiden nicht zuverlässig zwischen verschiedenen Gasen. Farbumschlagssensoren stellen die Brandfrüherkennung auf eine technologisch neue Basis, die über die Brandgaserkennung hinaus eine Vielzahl an Anwendungen ermöglicht – überall dort, wo kompakte, energieeffiziente und langlebige Gasdetektoren gefragt sind.

## Brandgas sensitiv und selektiv detektiert

Farbumschlagssensoren zeichnen sich durch hohe Selektivität und Sensitivität aus, was vor allem bei der Brandgaserkennung entscheidend ist. Der gassensitive Farbstoff reagiert ausschließlich bei Kontakt mit einem spezifischen

Gas. Dank der geringen Querempfindlichkeit kolorimetrischer Sensoren werden Fehlalarme seltener. Gleichzeitig reichen die Nachweisgrenzen farbumschlagsbasierter Gassensoren bis in den ppm-Bereich (parts per million, 10<sup>-6</sup>), wie Fraunhofer IPM am Beispiel der Brandgase CO und NO<sub>2</sub> zeigen konnte. Verschiedene Sensorkonzepte sind dabei möglich: So kombinieren die Wissenschaftlerinnen beispielsweise eigens designte Sensormaterialien mit optischen und elektrischen Messverfahren. Dabei werden poröse Trägerpartikel mit Durchmessern von wenigen Mikrometern mit einem Farbstoff beschichtet und zu Sensorpartikeln kombiniert. Diese Sensorpartikel werden als sogenannte »mole-hill«-Strukturen in eine Matrix aus elektrisch leitfähigen Polymeren eingebettet, die als Elektrodenstrukturen aufgebaut werden. Dieses Sensordesign gewährleistet ein günstiges Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnis und erleichtert den Zugang des Zielgases zum gassensitiven Farbstoff. Licht, das auf die Sensorpartikel trifft, wird diffus reflektiert. Die Reaktion mit dem Gas führt zu einer Intensitätsänderung des reflektierten Lichts, die mithilfe eines Photodetektors registriert wird. Parallel zum optischen Auslesen des Farbumschlags erfolgt eine referenzierte elektrische Messung der Materialeigenschaften im selben System. Auf diese Weise können geänderte Umgebungseinflüsse – beispiels-

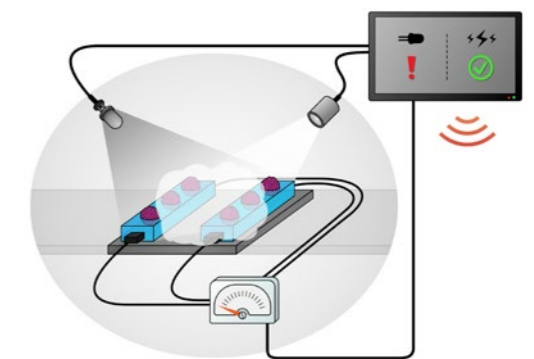
**GASDETEKTION PER FARBUMSCHLAG:** Gase lassen sich über chemische Reaktionen nachweisen, die einen Farbwechsel in einem spezifisch gewählten Sensorfarbstoff auslösen. Die Farbe schlägt um, sobald ein Molekül des Zielgases auf die kolorimetrische Schicht trifft. Die Reaktion folgt dem Schlüssel-Schloss-Prinzip: Nur das Indikator-molekül bewirkt den Farbwechsel; alle anderen Gase reagieren kaum oder gar nicht. Verbreitung fand das Prinzip bereits 1937 mit der Einführung der sogenannten »Dräger-Röhrchen«, die auch zum Nachweis von CO genutzt werden. Für den Einsatz in Alltagssensoren allerdings taugen die Röhrchen nicht, da sie nur zur einmaligen Verwendung bestimmt sind.

weise hohe Umgebungsfeuchte, Verschmutzungen durch Staub oder Fett – registriert und bei der Signalauswertung kompensiert werden.

## Sensorkonzept passend zur Anwendung

Kolorimetrische Gassensoren sind für viele Anwendungen interessant. Fraunhofer IPM entwickelt über die Brandgasdetektion hinaus Sensorsysteme für die Detektion von Ammoniak (NH<sub>3</sub>), Ethanol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O), Formaldehyd (CH<sub>2</sub>O) oder Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S). Dazu werden Polymer-/Farbstoffstrukturen, Systemaufbau und Auslese-einheiten anwendungsspezifisch angepasst. Alternativ zu »mole-hill«-Strukturen lassen sich die Farbstoffe zum Beispiel in eine Polymermatrix einbetten. Die Messung erfolgt dann optisch durch einfache Transmissionsmessung. Einkoppeltes LED-Licht durchläuft dabei einen Wellenleiter in Totalreflexion und wird an der Austrittsseite auf einen Photodetektor fokussiert. Eine Farbänderung des gassensitiven Materials führt zu einer messbaren Absorptionsänderung. Fraunhofer IPM hat die einfache Transmissionsmessung in einem patentierten Aufbau so optimiert, dass die Sensitivität vergleichbar mit wellenleiterbasierten Sensoren ist. Der Trick: Der flexible Sensorträger wird gefaltet. So durchläuft der Lichtstrahl die gassensitive Schicht mehrfach – der Absorptionsweg wird größer, der Sensor bleibt klein. Solche Sensoren lassen sich mithilfe von Rolle-zu-Rolle-Verfahren kostengünstig und in hohen Stückzahlen herstellen.

Auch an der Integration der Polymer/Farbstoff-Matrix in eine Sensorfolie arbeitet das Team. Solche Folien sollen als Sensor im Scheckkartenformat Teil von Schutzausrüstungen werden und kritische Gaskonzentrationen anzeigen, zum Beispiel über ein akustisches Signal. Aber auch ohne Signalumwandlung kann ein Farbumschlag einfach mit dem Auge ausgelesen werden. Ein sichtbarer Farbumschlag ist besonders für Anwendungen in der Lebensmittelindustrie und -logistik, der Klima- und Sicherheitstechnik oder in der Medizin interessant. Wichtig für alle Anwendungen: Gasdetektion nach dem Farbumschlagsprinzip funktioniert bei Raumtemperatur. Damit ist die Technologie grundsätzlich geeignet, eines Tages auch in Smart Devices integriert zu werden.



Trägerpartikel, beschichtet mit einem Sensorfarbstoff, werden in ein Polymer eingebettet. Diese »mole-hill«-Strukturen gewährleisten aufgrund ihrer großen Oberfläche einen guten Zugang des Zielgases und damit eine hohe Nachweismempfindlichkeit.