

■ Schnuppern, wenn es gefährlich wird

Elektronische Nasen spüren für den Menschen geruchlose Substanzen auf oder führen kontinuierliche Qualitätskontrollen durch

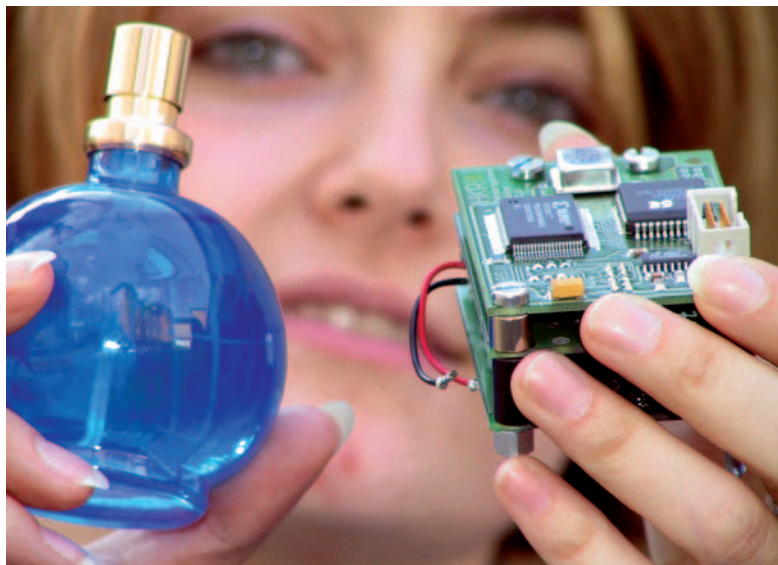
Dr. Katja Bammel,
science & more
redaktionsbüro,
kb@science-and-
more.de

Viele für den Menschen schädliche (und oft geruchlose) Gase wirken schon bei sehr geringen Konzentrationen.¹⁾ Gasmoleküle lassen sich recht aufwändig und sehr genau mithilfe der Gas-Chromatographie oder der Massenspektrometrie detektieren. Elektronische Nasen ermöglichen hingegen einen schnellen und auch mobilen Nachweis. Sie erlauben es, Gerüche objektiv zu klassifizieren und in Form von Datensätzen zu archivieren. Ihr Messprinzip beruht in der Regel auf einer Änderung eines Widerstandes oder einer Frequenz, die durch die Anlagerung bestimmter Moleküle auf einer gassensitiven Schicht hervorgerufen wird.

Ein Geruch entsteht aus dem Zusammenspiel von einigen hundert mehr oder weniger komplexen Molekülen. In der Regel lässt er sich aber durch einige wenige Leitsubstanzen eindeutig identifizieren, beispielsweise etwa 15 chemische Komponenten bei Kaffeeduft oder das Molekül Geraniol beim Rosenduft. Daher ist die menschliche Nase in der Lage, mithilfe einiger hundert verschiedener Riechzellen, die jeweils auf einen Duftstoff spezialisiert sind, bis zu 10 000 Gerüche zu unterscheiden.

Bei elektronischen Nasen übernehmen je nach Anforderung und Einsatzgebiet bis zu 40 mikroelektronische Gassensoren die Aufgabe der Riechzellen. Aus den Leitfähigkeits- oder Frequenzänderungen dieser Sensoren, die jeweils auf unterschiedliche Moleküle sensitiv sind, lässt sich dann ein bestimmtes Gas ohne die beim Menschen übliche Geruchsgewöhnung identifizieren.²⁾

Elektronische Nasen, etwas umständlich als Multigas-Sensorsysteme oder Gassensor-Arrays bezeichnet, dienen unter anderem in der Lebensmittelindustrie dazu, die Art und die Qualität von Waren anhand deren Ausgasungen zu beurteilen. Auch einige Fahr-



F. Luerweg, Uni Bonn

Diese „elektronische Nase“ kann lästige Gerüche und schädliche Gase bereits in Konzentrationen registrieren, die der Mensch noch gar nicht wahrnimmt. Ebenso „riecht“ sie geringe Unterschiede bei verschiedenen Parfums. Deren Wohlgeruch genießt man aber wohl immer noch am besten mit der eigenen Nase.

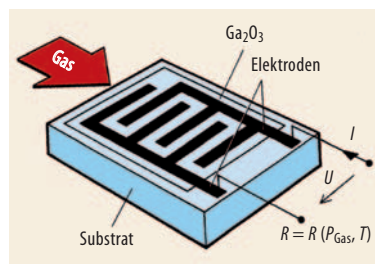
zeughersteller nutzen die Geruchsselektivität der elektronischen Nase und integrieren sie in die Lüftungsregelung. Dort misst sie die Konzentration der Stickoxide und der für den Menschen geruchlosen Kohlenmonoxide.³⁾ Erhöhen sich diese stark, z. B. in einem Tunnel, so schaltet die Klimaanlage auf Umluft, damit die abgashaltige Außenluft nicht ins Innere gelangt. Elektronische Nasen nutzen in der Regel Metalloxid- oder Schwingquarzsensoren oder leitende Polymere, neuerdings werden aber auch Sensoren mit UV-Lasern entwickelt.

Heiße Schnüffler

Das Messprinzip der Metalloxidsensoren basiert darauf, dass sich die Leitfähigkeit einer halbleitenden Schicht ändert, wenn Gasmoleküle auf der Sensoroberfläche adsorbieren oder reagieren. Dabei muss der Sensor auf Temperaturen zwischen 100 und 900 Grad Celsius geheizt werden, damit sich schnell ein Gleichgewicht zwischen Adsorption und Desorption einstellt und weil chemische Reaktionen dann effizienter ablaufen. Das Heizen verhindert auch eine unerwünschte

Adsorption von Wasserdampf auf der Sensoroberfläche.

Grundsätzlich besteht ein Sensor aus einer wenige Quadratmillimeter großen polykristallinen Metalloxidschicht auf einem keramischen Substrat wie Al_2O_3 . Platin-Elektroden dienen dazu, die Änderung des elektrischen Widerstandes der Schicht zu messen. Bei der gassensitiven Schicht handelt es sich häufig um Zinndioxid (SnO_2) oder Galliumoxid (Ga_2O_3). Diese Halbleiter besitzen in Reinfluft eine niedrige Leitfähigkeit, da Sauerstoffionen unter Aufnahme eines Elektrons aus dem Halbleiter gebunden werden (Chemisorption). Durch diese Immobilisierung



Ein planarer Gassensor besteht meist aus einer halbleitenden Schicht Galliumoxid (Ga_2O_3) auf einem Substrat sowie zwei Interdigitalelektroden.

1) Durch die Adaptation kann der Mensch den Geruch bei gleich bleibender Konzentration nach kurzer Zeit oft nicht mehr wahrnehmen.

3) vgl. M. Fleischer, Physik Journal, Juli 2006, S. 25.

3) Die zulässige maximale Arbeitsplatzkonzentration von CO liegt bei 33 ppm: Dies entspricht lediglich 0,033 mg pro Kubikmeter Luft.

der Ladungsträger entsteht eine an Ladungsträgern verarmte, oberflächennahe Zone.

Umspült nun z. B. ein reduzierendes Probengas wie CO den Sensor, so reagieren die Moleküle mit den chemisorbierten Sauerstoff-Radikalen auf der Metalloxydoberfläche zu CO₂. Dadurch werden die Elektronen wieder an das Leitungsband des Halbleiters zurückgegeben, sodass sich die Ladungsträgerdichte und damit die Sensor-Leitfähigkeit charakteristisch erhöhen. Oxidierende Gase wie NO, NO₂ und SO₂ rufen den umgekehrten Effekt hervor. Nach Abschluss der Messung muss der Sensor geheizt werden, um die Schicht von den absorbierten Molekülen zu befreien und für eine neue Messung vorzubereiten.

In der Regel reagiert ein Gassensor nicht nur auf ein einziges Gas, sondern besitzt eine bestimmte Selektivität für verschiedene Gase. Die Leitfähigkeit des Sensors ändert sich je nach Gaszusammensetzung und Betriebstemperatur. Um eindeutig und zuverlässig die Konzentration eines bestimmten Gases ermitteln zu können, besteht eine elektronische Nase im Allgemeinen aus einer Kombination von Sensoren, die abhängig von der Zusammensetzung der Gasprobe spezifische Signalmuster erzeugen. Diese auf die Anwendung maßgeschneiderten Sensoren mit eventuell verschiedenen Temperaturen besitzen Empfindlichkeiten von wenigen ppm (parts per million).

Die zusätzliche Bedeckung des Metalloxyds mit physikalischen oder chemischen Filterschichten kann die Selektivität für bestimmte Komponenten erhöhen: So lässt eine

kompakte Schicht aus amorphem SiO₂ nur Wasserstoff passieren, während in einer porösen Keramik Lösungsmittel und Alkohole zu CO₂ und H₂O oxidiert werden, auf die der Sensor dann nicht reagiert.

Mechanisch riechen

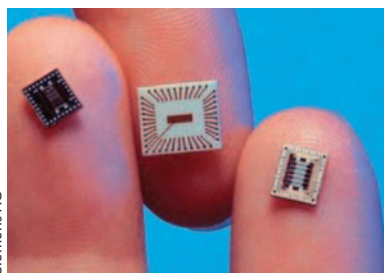
Ein anderes Messprinzip der Gassensoren basiert auf Schwingquarzen, die ein elektrisches Wechselfeld zu mechanischen Resonanzschwingungen anregt. Wird der Quarz nun selektiv beschichtet, beispielsweise mit Polymeren wie Polypyrrol und Polyanilin, so können dort bestimmte Moleküle absorbiert werden. Die daraus resultierende Erhöhung der Masse des Schwingquarzes führt zu einer spezifischen Verringerung der Schwingungsfrequenz, die gemessen wird und als Fingerabdruck für eine bestimmte Substanz dient. Die Empfindlichkeit für einen 10-MHz-Quarz liegt bei etwa $4 \times 10^{-9} \text{ g/cm}^2$.

Die Muster der Gerüche

Wie das menschliche Riechorgan benötigt auch die künstliche Nase einen geeigneten Algorithmus, um die elektrischen Signale bzw. Messwerte in Abhängigkeit der Temperatur und Zeit mit einem Geruch zu identifizieren. Dazu werden die digitalisierten Daten der einzelnen Sensoren mithilfe eines Mustererkennungssystem (z. B. neuronale Netze, Hauptkomponentenanalyse, Spline-Funktionen) ausgewertet. Das sich daraus ergebende Signalmuster wird mit den aufwändig erstellten Datensätzen schon „antrainierter“, d. h., bereits bekannter Gerüche verglichen.

Die elektronischen Nasen werden immer empfindlicher und erlauben inzwischen die Detektion einer Vielzahl von Molekülen und damit Gerüchen. Und wer weiß, vielleicht melden sie in einer nicht allzu fernen Zukunft, wenn die Luft in einem Büroraum abgestanden ist und die Fenster geöffnet werden sollten, oder sie stellen integriert in Dunstabzugshauben automatisch den Herd ab, sollte die Milch überkochen oder das Gemüse verbrutzeln.

Katja Bammel



Siemens AG

Die fortschreitende Miniaturisierung eröffnet universelle Einsatzmöglichkeiten für „elektronische Nasen“, in alltäglichen wie in industriellen Anwendungen.