


 Dr. Matthias Kautt
 Dr. Markus Frietsch
 Dr. Carsten Natzeck

Mit Nanotechnologie den richtigen Riecher

„Elektronische Nasen“ sind hochtechnologische Hoffnungsträger für komplexe gassensorische Aufgaben. Als universelle chemische Zustandsmelder werden sie bereits in sensiblen Bereichen wie der Sicherheitstechnik, der Lebensmittelindustrie, der chemischen Produktion sowie dem Umweltmonitoring angewandt. Der Trend geht hin zur Integration in bestehende Systeme, die dadurch intelligenter werden.

Wie bei der biologischen Nase erfolgt die Gasanalyse mit einer Elektronischen Nase integral. Das bedeutet, dass ein Geruch, der ein Ensemble aus verschiedenen Gasen darstellt, als eine Einheit behandelt und nicht in einzelne Komponenten zerlegt wird. Es ist jedoch auch möglich, einzelne Komponenten innerhalb eines komplexen Gasensembles, zum Beispiel Raumluft als Hintergrundatmosphäre, mit einer Elektronischen Nase sicher zu detektieren und zu quantifizieren.

Simultane Messwerterfassung

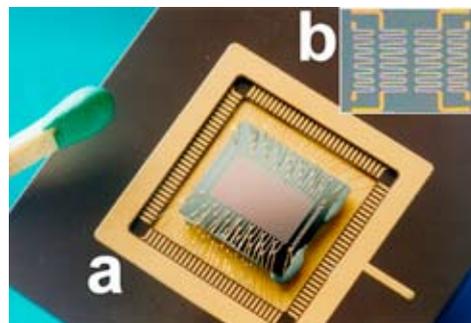
Ein Elektronische-Nasen-System kann auf unterschiedlichen sensorischen Prinzipien basieren – alle Systeme haben jedoch die Gemeinsamkeit, dass sie mehrere, verschiedene Gassensoren verwenden und deren Signale integral auswerten. Die Messwerterfassung geschieht dabei nahezu simultan und liefert so genannte Signalmuster, die sich aus den unterschiedlichen Einzelsignalen zusammensetzen. Diese sind charakteristisch für eine bestimmte Gaszusammensetzung oder für ein zu analysierendes und über die Gasphase zu detektierendes Ereignis.

Die analytische Leistungsfähigkeit einer Elektronischen Nase wird dabei nicht nur durch das zugrunde liegende Sensorprinzip bestimmt, sondern auch durch den Einsatz geeigneter Algorithmen für die nachfolgende Signalverarbeitung. Diese Algorithmen werden mit Hilfe von Messwerten erstellt, die in einem so genannten „Training“ (vergleichbar beispielsweise mit der Kalibration in der Gaschromatographie) erhalten werden. Während des Trainings werden der Elektronischen Nase später nachzuweisende Zielkomponenten (Einzelgase oder Gerüche) definiert in verschiedenen Konzentrationen angeboten und die zugehörigen Signalmuster „erlernt“.

Der mitunter hohe technische Aufwand bei der Herstellung von Elektronische-Nase-Systemen schlägt sich nicht selten in entsprechenden Kosten nieder, was einer breiteren Anwendung dieser Systeme entgegensteht. Ein in Karlsruhe entwickelter Ansatz erlaubt die mikrotechnische Integration nanoskaliger Materialien zum Aufbau eines gassensitiven Mikroarrays mit hoher analytischer Leistungsfähigkeit.

Die Herstellung des Mikroarrays geschieht in wenigen Prozessschritten, was zu erheblichen Kosteneinsparungen führt. Folgerichtig erfreut sich die im Programm Nano- und Mikrosysteme des Forschungszentrums Karlsruhe entwickelte und seit drei Jahren durch die Firma SYSCA AG als ARTINOS® kommerzialisierte Elektronische Nase auch steigendem Interesse.

Ihr gassensorisches Herzstück ist das bereits erwähnte und etwa fingernagelgroße Gassensor-Mikroarray, das auf einem einzigen – monolithisch aufgebauten und in Sensorsegmente unterteilten – Metalloxidfilm (in der Regel Zinndioxid) aufbaut. Der Gasnachweis beruht auf der Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit des auf 200 bis 300 °C beheizten Metalloxids von der Luftzusammensetzung. Durch den Einsatz gassensitiver Metalloxidschichten



Nanofunktionales Gassensor-Mikroarray kontaktiert in Gehäuse – a) Vorderseite, b) Rückseite – mit 4 unabhängigen Heizungen. Quelle: Forschungszentrum Karlsruhe.

ergibt sich eine hohe Breitbandigkeit bei der Gasdetektion, welche die Grundlage für ein umfangreiches Anwendungsspektrum liefert. Weiterhin können auch noch Gaskonzentrationen im unteren ppb-Bereich (parts per billion, Teile pro Milliarde) nachgewiesen werden. Das fingernagelgroße Detektorfeld ist durch parallele Elektroden in bis zu 38 einzeln auslesbare Sensorsegmente unterteilt.

Im letzten Herstellungsschritt wird das Mikroarray mit einer nanoskaligen, gasdurchlässigen Membran beschichtet, die einen Gradienten der Schichtdicke quer über die Sensorsegmente des Mikroarrays aufweist. Üblicherweise nimmt deren Schichtdicke von rund fünf Nanometern auf der dünnen Seite auf etwa 20 Nanometer an der dicksten Stelle zu. Bedingt durch die von Sensorsegment zu

Sensorsegment unterschiedliche Membrandicke werden unterschiedliche Sensoren erzeugt. Zusätzlich zu dieser nanoskaligen Gradientenmembran wird bei der Beheizung des Mikroarrays ein Gradient der Betriebstemperatur mit vier separaten Heizungen eingestellt, sodass sich von einem zum anderen Ende des Detektorfeldes eine Temperaturdifferenz von bis zu 60 °C ergibt.

Diese doppelte Gradiententechnik bildet die Basis für die erforderliche Differenzierung der Sensorsegmente des monolithisch aufgebauten Mikroarrays, wodurch gascharakteristische Signalmuster erhalten werden können. Dadurch, dass nur ein einziges Detektormaterial eingesetzt wird, sind die Signalmuster bei Störungen und Alterungseffekten stabiler. Die Gradiententechnik erlaubt außerdem eine Zuverlässigkeitsprüfung der Sensorsignale sowie eine Minimierung des Signalrauschens.

Anwendungsgebiete

Das ARTINOS®-System hat sich in den vergangenen Jahren beispielsweise in der Pharmaindustrie bewährt, wo es zur routinemäßigen Prüfung der Gasdichtigkeit von Medikamentenverpackungen eingesetzt wird. Die analytische Aufgabe besteht hier in einem selektiven Nachweis von entweichendem Lösungsmittel im ppb-Bereich. Aktuelle Anwendungsbereiche sind vergleichende Geruchsbeurteilung, kontinuierliche Qualitätskontrolle, Quantifizierung von Gerüchen oder Einzelgasen und die Kontrolle von Prozessabläufen. Hieran zeigt sich exemplarisch, wie ein nanofunktionales Mikrosystem dem Anspruch als universeller chemischer Zustandsmelder durch das technische Nachempfinden eines menschlichen Sinnes gerecht werden kann. Die Anwendungsgrenzen der sich hieraus entwickelten, konkreten Lösungen sind heute noch nicht im Entferntesten ausgelotet.

Forschungszentrum Karlsruhe
www.fzk.de/nanomikro

SYSCA AG, Knittlingen
www.sysca-ag.de