

Pyroelektrische Detektoren für die Infrarot-Gasanalytik

Gase sind ein wichtiger Bestandteil unseres täglichen Lebens. Wir atmen Luft ein und Kohlendioxid aus. Wir nutzen Gasherde zum Kochen und unsere umweltfreundlichen Autos fahren mit Erdgas. Industrie und Verkehr wären ohne Gase und die Kenntnis ihrer exakten Zusammensetzung nicht denkbar. Kein Wunder, dass wir zahlreiche Methoden und Verfahren zur Gasanalyse entwickelt haben und nutzen. Eine der am häufigsten verwendeten und leistungsfähigsten Verfahren ist die Infrarot-Gasanalyse.

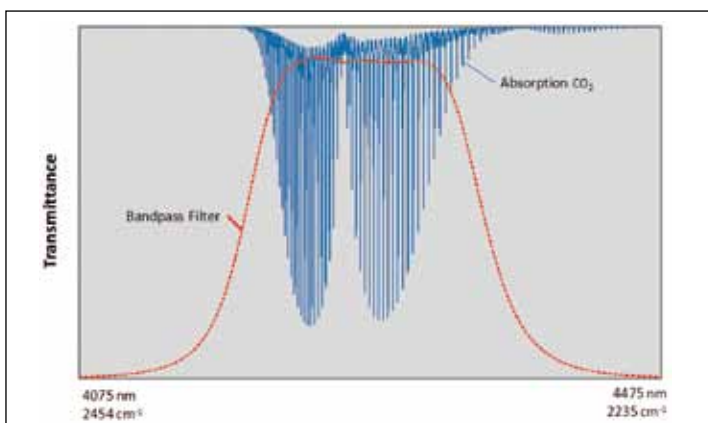
Beim Durchstrahlen eines Gases oder Gasgemisches mit Infrarot-Strahlung kommt es in bestimmten Fällen zu einer starken Wechselwirkung zwischen Gasmolekülen und Strahlung. Je nach Aufbau und den intermolekularen Bindungsenergien der Moleküle werden diskrete Energieportionen absorbiert. Diese fehlen im Spektrum der Ausgangsstrahlung und erscheinen als schmale, sich nicht überlappende Banden unterschiedlicher Wellenlänge bzw. Wellenzahl. Diese charakteristischen Bandenstrukturen sind vor allem im infraroten Spektralbereich besonders stark ausgeprägt und in Abb. 1 am Beispiel von CO₂ dargestellt.

Aufbauend auf früheren Arbeiten beantragten E. Lehrer und K. F. Luft 1938 ein Patent für einen Ultrarotabsorptionsschreiber zur Gasanalyse.

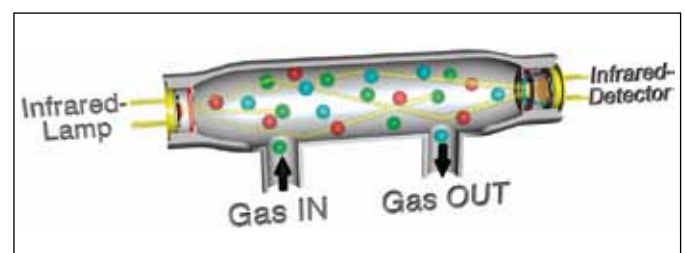
Dadurch wurde eine verstärkte Entwicklung von Gasanalysatoren ausgelöst, bei denen die spektrale Information nicht durch strahlzerlegende (dispersive) optische Elemente wie Prismen oder Gitter gewonnen wird, sondern durch sogenannte opto-pneumatische Detektoren¹¹. Beim opto-pneumatischen Detektor ist die Detektorkammer mit dem zu analysierenden Gas gefüllt.

Die absorbierte Strahlung führt zu einer Druckerhöhung, die mit geeigneten Messgrößenaufnehmern (Membrankondensator, Mikrofon oder Strömungsfühler) registriert wird. Die Bezeichnung Nicht-Dispersive Infrarot-(NDIR)-Gasanalyse für diese Methode wurde beibehalten, als man in späteren Jahren die Gasfilterzellen durch schmalbandige Interferenzfilter und die opto-pneumatischen Detektoren durch IR-Festkörper-Detektoren ersetzte.

Ende der 1980er Jahren kamen verstärkt NDIR-Gasanalysatoren mit pyroelektrischen Detektoren auf¹². Aufgrund ihrer Vorteile, wie niedriger Kosten, Raumtemperaturbetrieb, Robustheit, hoher und konstanter spektraler Empfindlichkeit, sind pyroelektrische Detektoren in Kombination mit Schmalbandfiltern heute in Gasanalysatoren weit verbreitet. Das IR-Schmalbandfilter wird je nach Analysegas ausgewählt. Pyroelektrische Detektoren werden zur Klasse der thermischen Detektoren gezählt, bei denen die absorbierte elektromagnetische Strahlung eine Temperaturänderung des Detektorelements bewirkt. Zur weiteren Umwandlung in ein elektrisches Signal werden bei thermischen Detektoren unterschiedliche physikalische Effekte genutzt, wie z. B. der Seebeck-Effekt oder die Temperaturabhängigkeit eines elektrischen Widerstands bzw. einer Kapazität. Eine besonders hohe Wandlungseffizienz zeigt der pyroelektrische Effekt, bei dem eine Temperaturänderung des Detektorelementes eine Polarisationsänderung und in Folge einen Kurzschlussstrom hervorruft. Je größer der pyroelektrische Effekt und je dünner das Detektorelement, umso höher ist – vereinfacht dargestellt – das Signal-Rausch-Verhältnis. Als Standardmaterial für pyroelektrische Detektoren



▲ Abb. 1: Transmissionsspektrum von Kohlendioxid und Kohlendioxid-Schmalbandfilter
Bild: InfraTec

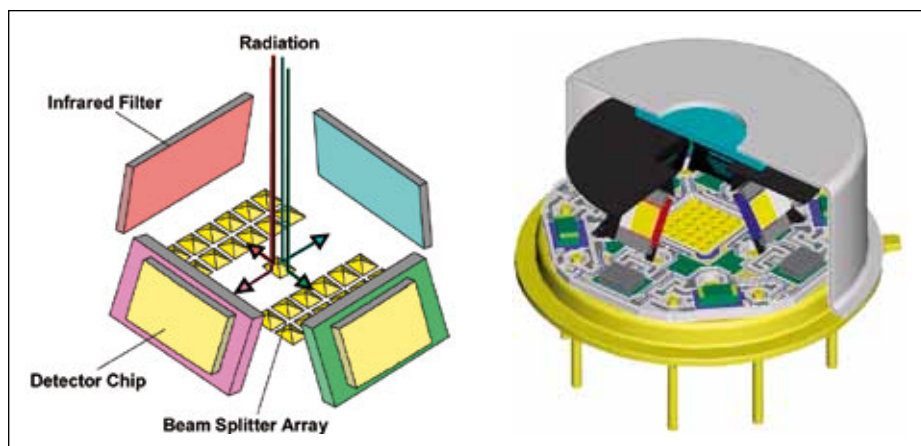


▲ Abb. 2: Schematische Darstellung eines einfachen NDIR-Gasanalysators
Bild: InfraTec

zur Gasanalyse hat sich einkristallines Lithiumtantalat (LiTaO_3) durchgesetzt.

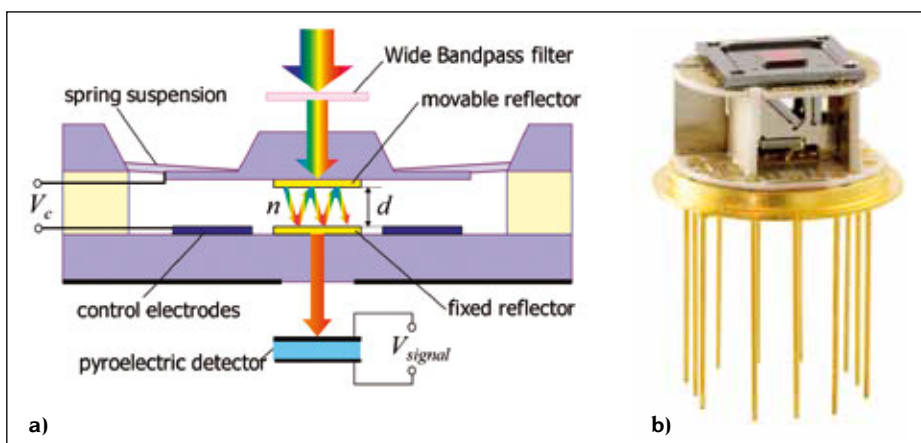
Pyroelektrische Detektoren sind auch mit zwei bzw. mehreren spektralen Kanälen erhältlich. Häufig wird ein Kanal als Referenz genutzt, um die Stabilität des Gasanalysators zu verbessern. Dabei wird das Schmalbandfilter im Referenzkanal so ausgewählt, dass es keine Überlagerung mit dem Messgas oder etwaigen Stör gasen und Wasserdampf gibt. Drei und mehr Spektralkanäle werden benutzt, wenn Gasgemische zu analysieren sind. Um den sogenannten Symmetriefehler zu vermeiden, der bei nebeneinanderliegenden Spektralkanälen auftreten kann, haben sich Anordnungen mit internem Strahlteiler bewährt. Abb. 3 stellt die Anordnung von Strahlteiler und Filterkäfig sowie den Aufbau eines solchen Detektors dar. Die IR-Strahlung gelangt über eine Eintrittsapertur auf ein Mikroprismenraster und wird in vier Teilbündel aufgeteilt. Der Filterkäfig mit den einzelnen IR-Schmalbandfiltern hat den gleichen Flankenwinkel wie das Mikroprismenraster, sodass die Strahlung lotrecht auf die Filter trifft. Dadurch werden winkelabhängige Driften der Transmissions-eigenschaften und der Einfluss des gegenüberliegenden Filters minimiert.

Neben Mehrkanal-Detektoren und Filterrädern in Kombination mit Einkanal-detektoren bieten mikromechanisch hergestellte und elektrisch durchstimmbare Fabry-Pérot-(FP)-Filter die Möglichkeit, die Erfassung kontinuierlicher Spektren mit dem einfachen und robusten Aufbau der NDIR-Analysatoren zu verbinden. Da die FP-Filter direkt in die Detektorgehäuse eingebaut werden können, ergibt sich ein enormer Miniaturisierungsvorteil^[3]. Weitere Vorteile sind die kostengünstige Fertigung mit den Methoden der Mikrosystemtechnik und die relativ einfache Adaption bestehender Gerätedesigns, um schnell und mit geringem Aufwand zu



▲ Abb. 3: Prinzip und Aufbau eines Vier-Kanal-Multi-Color-Detektors mit internem Strahlteiler

Bild: InfraTec



▲ Abb. 4: a) Prinzipaufbau des mikromechanischen Fabry-Pérot-Filters und b) Dualband-FP-Detektormodul im TO8-Gehäuse

Bild: InfraTec

neuen messtechnischen Lösungen zu gelangen. Das durchstimmbare FP-Filter basiert auf den gleichen physikalischen Grundlagen der Vielfachinterferenz in dünnen Schichten wie die traditionellen Schmalbandfilter, der Spaltabstand kann jedoch elektroromechanisch ge-ändert werden. Abb. 4 verdeutlicht den Aufbau eines mikromechanischen FP-Filters und zeigt ein Dualband-Detektormodul im TO-8-Gehäuse für die Spektralbereiche 3,9-4,8 μm und 8-10,5 μm .

Literatur:

^[1] E. Lehrer und K. F. Luft, »Verfahren zur Bestimmung von Bestandteilen in Stoffgemischen mittels Strahlenabsorption«, DRP 730478 vom 9. März 1938

^[2] W. Fabinski und G. Franck, »Betriebsmessgeräte zur Konzentrationsmessung von

Gasen und Flüssigkeiten«, Chemie Ingenieur Technik 60(12), S. 1006-1013, 1988

^[3] N. Neumann, M. Ebermann, S. Kurth und K. Hiller, »Tunable infrared detector with integrated micromachined Fabry-Perot filter«, J. Micro/Nanolithography, MEMS, and MOEMS 7(2)021004, 2007

► INFO

Autor:
N. Neumann

Kontakt:
InfraTec GmbH
Infrarotsensorik und Messtechnik
Gostritzer Str. 61-63
01217 Dresden
Tel.: 0351 871 8625
Fax: 0351 871 8727
E-Mail: sensor@infrotec.de
www.infrotec.de