



SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft
 Eidgenössisches Institut für Geistiges Eigentum

① CH 686 589 A5

⑤ Int. Cl.⁶: G 01 N 021/17
 G 01 N 007/00

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
 Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT A5**

⑳ Gesuchsnummer: 02245/94

㉒ Anmeldungsdatum: 14.07.1994

㉔ Patent erteilt: 30.04.1996

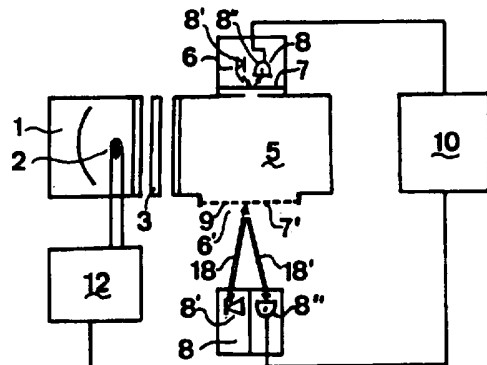
④ Patentschrift veröffentlicht: 30.04.1996

㉓ Inhaber:
 Aritron Instrumente AG, Aeschstrasse 1,
 8127 Forch (CH)
 Dr. sc. nat. Oscar Oehler, Streulistrasse 24,
 8032 Zürich (CH)

㉗ Erfinder:
 Oehler, Oscar, Dr., Zürich (CH)
 Bachmann, Philipp, Forch (CH)
 Bögli, Urs, Egg b. Zürich (CH)

⑤④ **Photoakustischer Gasdetektor mit optischem Infrashallmikrophon.**

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur photoakustischen Detektion von Gasen oder von Komponenten einer Gasmischung. Sie ist dadurch gekennzeichnet, dass der photoakustische Gasdetektor 5 mit mindestens einem Infrashallmikrophon 6, 6' in akustischer Verbindung steht, wobei die Mikrofonmembrane 7, 7' gegebenenfalls in akustischer Resonanz betrieben wird und deren Auslenkung mittels eines optischen Positionssensors 8, der seinerseits aus einer Lichtquelle 8' und einem Lichtdetektor 8'' besteht, erfasst wird. Weiter ist vorgesehen, als Mikrofonmembrane eine gaspermeable Membrane 7' zu wählen, sodass sie nebst der Erfassung des photoakustischen Druckes gleichzeitig als Gasaus-tauschvorrichtung 9 dient.



Beschreibung

Die Erfindung liegt auf den Gebieten der Akustik und der Optik, insbesondere betrifft sie die photoakustische Gasdetektion. Es handelt sich um eine Vorrichtung für den selektiven Nachweis von Gasen, wobei zur Messung des akustischen Signals, nicht ein Kondensatormikrofon, sondern ein optisches Infrashallmikrofon verwendet wird.

Die photoakustische Methode zur selektiven Detektion von Gasen ist wohlbekannt. Es sei etwa auf die Arbeit von D. Sourlier und O. Oehler (J. de Phys. suppl. 10, 587 (1983)) hingewiesen. Die Methode erlaubt die selektive und sehr zuverlässige Detektion von Gasen. Vorrichtungen mit hoher Detektionszuverlässigkeit entsprechen einem grossen Bedürfnis. Als Anwendungen kommen beispielsweise die Klimaregelung in geschlossenen Räumen in Frage.

Für die Selektivität solcher Sensoren ist das spezifische Absorptionsvermögen, welches die meisten Gase im infraroten Spektralbereich aufweisen, verantwortlich. Der photoakustische Effekt beruht auf der Messung der Druckschwankungen, die in der Gassammelzelle bei der Absorption von intensitätsmodulierter Infrarotstrahlung erzeugt werden. Zur Messung dieser Druckänderungen werden in der Regel Mikrophone verwendet. Bei gebräuchlichen Kondensatormikrophonen ist zur Erfassung der Ladungsverschiebung eine Hochspannung von 100 bis 200 V erforderlich. Abgesehen von der Bereitstellung dieser Hochspannung ist erheblicher Aufwand zu deren galvanischen Entkopplung vom Nutzsignal notwendig. Bedeutend anwendungsfreundlicher sind die sog. Elektretmikrophone. Es handelt sich dabei um Kondensatormikrophone, die mit einer elektrisch vorpolarisierten Folie, der sog. Elektret-Folie, versehen sind. Diese Folie, wie auch die Mikrofonmembrane selbst, sind Temperatur- und Feuchtigkeitseinflüssen unterworfen, was sich auf die Schalldruckmessung und damit auch auf die photoakustische Detektion auswirken kann.

Nebst den Kondensatormikrophonen sind die sog. Optophone bekannt. Bei diesen Mikrophonen wird die Membranposition nicht über eine Kapazitätsmessung, sondern über eine optische Distanzmessung erfasst. Es sei in diesem Zusammenhang etwa auf die Arbeit von S. M. Park und G. J. Diebold mit dem Titel «Interferometric microphones for optoacoustic spectroscopy» hingewiesen, die in Rev. Sci. Instruments, 58, 772 (1987) erschienen ist.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Mikrofon für photoakustische Anwendungen zu schaffen, das es erlaubt, Gase und Dämpfe zuverlässig und mit wenig Aufwand zu detektieren.

Die Aufgabe wird nach dem in den Ansprüchen 1 bis 4 angegebenen Verfahren und der entsprechenden Vorrichtung nach den Ansprüchen 5 bis 11 gelöst. Verwendet wird ein Infrashallmikrofon, dessen Membrane das Schallsignal mechanisch integriert und gegebenenfalls in akustischer Resonanz betrieben wird. Die Auslenkung der Membrane wird mittels eines optischen Positionssensors gemessen. Weiter ist vorgesehen, als Mikrofonmembrane

eine gaspermeable Membrane zu verwenden, welche in ihrer zusätzlichen Funktion als Gasaustauschvorrichtung zum Gasaustausch des Gasdetektors mit der Umgebung dient.

Optische Mikrophone entsprechen, wie bereits erwähnt worden ist, dem Stand der Technik. Das elektronische Messproblem bei solchen Mikrophonen ist zwar bedeutend besser handhabbar als bei Kondensatormikrophonen. Bei letzteren muss eine sehr kleine Kapazität genau gemessen werden. Wegen der hohen Niederfrequenz-Impedanz des Kondensatormikrophons kann die gaskinetisch bedingte Messgrenze bei Weitem nicht erreicht werden. Auch bei Verwendung eines optischen Mikrophones ist die Situation in der Regel nicht viel besser. Der Grund dafür ist vor allem darin zu suchen, dass das optische Mikrofon, das auf einer punktuellen Distanzmessung beruht, im Gegensatz zur kapazitiven Messung nicht die integrierte Position der Membrane erfasst.

Eine Verbesserung der Empfindlichkeit des Mikrophones kann erreicht werden, wenn die optische Membranpositionsmessung nicht punktuell sondern als Mittelwert über die ganze Mikrofonmembrane erfasst werden könnte. Dieses Ziel kann, allerdings unter beträchtlichem Aufwand, beispielsweise mittels einer Fabry-Perot-Doppelschicht durch eine interferometrische Messung erreicht werden. Eine genaue Beschreibung dieses Verfahrens findet man im bereits zitierten Artikel von S. M. Park und G. J. Diebold.

Als einfachere Möglichkeit wird von uns vorgeschlagen, die optische Messung zwar punktuell, aber nach einer mechanischen Integration über die ganze Membranfläche vorzunehmen. Dieses Ziel kann an sich durch Erhöhung der Steifigkeit und/oder der mechanischen Trägheit der Membranfläche erreicht werden. Bei Mikrophonen für den Einsatz in der Audiotechnik ist dieser Weg allerdings nicht gangbar, denn bei jenen Anwendungen ist ein möglichst konstanter Frequenzgang bis in den Bereich von 10 bis 20 kHz erforderlich. Das bedingt aber, dass die Eigenfrequenz der Membrane sehr hoch, mindestens oberhalb des Hörbereichs, liegen muss. Im vorliegenden Fall der photoakustischen Messung ist weder ein konstanter Frequenzgang, noch eine hohe Grenzfrequenz erforderlich, denn photoakustische Gassensoren werden bei konstanter Frequenz und in der Regel wegen der 1/f-Abhängigkeit des photoakustischen Druckes im Infrashallbereich von 5 bis 20 Hz betrieben. (Höhere Frequenzen im 5–20 kHz werden nur bei photoakustischen Gasdetektoren verwendet, die in akustischer Resonanz arbeiten).

Zu einem günstigen Signal/Rausch-Verhältnis führt die akustische Resonanz der Mikrofonmembrane. Bei Resonanz ist einerseits eine gesamthafte Bewegung der Membrane gewährleistet, andererseits bedeutet die enge Resonanzbandbreite eine Reduktion des Rauschens. Da die Resonanzfrequenz der Membrane von der Temperatur, der Einspannung usw. abhängt, ist gegebenenfalls die Frequenz des photoakustischen Signals und damit die Modulationsfrequenz des Lichts der Resonanzfrequenz der Mikrofonmembrane nachzuführen. Bei

niedriger Kreisgüte Q der Membrane ergeben sich allerdings keine Abstimmungs-Schwierigkeiten, gegebenenfalls kann sogar auf die Frequenznachführung verzichtet werden.

Eine interessante Version ergibt sich bei Verwendung einer gaspermeablen Membrane als Mikrofonmembrane. Wie in der EP-Patentschrift 0 151 474 nachzulesen ist, besitzen gaspermeable Membranen akustische Tiefpasseigenschaften. Die Dämpfung ist selbst bei einer niedrigen Frequenz im Bereich 10 bis 20 Hz hinreichend, sodass in einem mit einer solchen Membrane abgeschlossenen photoakustischen Gasdetektor, eine zuverlässige photoakustische Messung vorgenommen werden kann. Definitionsgemäss gestattet die Membrane einen diffusionskontrollierten Gasfluss, sodass der Gasaustausch zwischen der Gasküvette und deren Umgebung gewährleistet ist. Eine gaspermeable Membrane, die als Mikrofonmembrane verwendet wird, besitzt damit die Doppelfunktion einer Vorrichtung zur Erfassung des photoakustischen Drucksignals, also einer Mikrofonmembrane, und einer Gasaustauschvorrichtung. Allerdings dürfte für diesen Zweck ein Kondensatormikrofon weniger geeignet sein, da der erforderliche kleine Abstand der Kondensatorplatten den Gasfluss behindert und demzufolge ein effizienter Gasaustausch nicht gewährleistet wird. Hingegen erlaubt eine punktuelle optische Messung der Mikrofonmembranposition einen hinreichenden Gasaustausch. Die photoakustisch bedingte Vibrationsbewegung der Membrane kann sich auf den Gasfluss günstig auswirken.

In konstruktiver und finanzieller Hinsicht günstig ist die Verwendbarkeit von marktgängigen Komponenten. Beispielsweise hat sich die Verfügbarkeit von billigen, konstruktiv ausgereiften Mikrofonen sehr günstig auf die Anwendbarkeit des photoakustischen Effekts ausgewirkt. Eine ähnliche Situation ergibt sich mit der Verfügbarkeit von Kurzdistanz-Sensoren, wie sie zum optischen Ablesen der Information auf CD-Tonträgern verwendet werden, für Anwendungen in optischen Mikrofonen.

Beispiele des möglichen Aufbaus entsprechender Vorrichtungen sind im folgenden anhand von Darstellungen beschrieben:

Fig. 1 zeigt den Aufbau einer dem Stand der Technik entsprechenden photoakustischen Vorrichtung zur Messung von lichtabsorbierenden Gasen.

Fig. 2 ist die Darstellung der erfinderischen photoakustischen Gasdetektionsvorrichtung mit einem optischen Infrarotmikrofon.

Fig. 3 ist die Darstellung einer photoakustischen Vorrichtung bei der die Mikrofonmembrane gleichzeitig die Gasaustauschvorrichtung ist.

Die Darstellung von Fig. 1 zeigt den Aufbau einer auf photoakustischem Prinzip beruhenden Gasdetektionsvorrichtung, die weitgehend dem Stand der Technik entspricht. Im Strahlengang einer Lichtquelle 1 mit Strahler 2 befindet sich ein optisches Filter 3 und ein Lichtmodulator 4 in Form eines Strahlunterbrechers. Auf das optische Filter 3 kann gegebenenfalls verzichtet werden, falls die Strahlung hinreichend monochromatisch ist, oder keine

hohe Gasselektivität verlangt wird. Ebenso ist kein mechanischer Lichtunterbrecher erforderlich für den Fall der Modulierbarkeit des Strahlers 2 über die Strom/Spannungs-Versorgung. Die Intensitätsmodulierte Strahlung der Lichtquelle 1 dringt durch ein Fenster 15 in den photoakustischen Gasdetektor 5 ein und kann dort bei Absorption der Strahlung durch das Messgas Druckschwankungen erzeugen, welche mit dem Mikrofon 6 gemessen werden. Das Mikrophonsignal wird von Signalverarbeitungsmitteln 10 ausgewertet. Das Messgas wird dem Gasdetektor 5 mittels der Gasversorgungsvorrichtung 9 zugeführt. Im Gegensatz zu bekannten photoakustischen Gasdetektionsvorrichtungen ist als Neuheit die Verwendung eines Infrarotmikrophons 6 vorteilhaft, dessen Membrane 7 eine derartige Steifigkeit und/oder mechanische Trägheit besitzt, sodass die Resonanzfrequenz der Mikrofonmembrane 7 im Infrarotbereich liegt.

Fig. 2 zeigt die Darstellung eines Beispiels der erfinderischen Gassensorvorrichtung. Dieselbe beruht ebenfalls auf dem photoakustischen Prinzip. Das Drucksignal, das bei Absorption der intensitätsmodulierten Strahlung von mindestens einer der Lichtquellen 1, 1' im Messgas im Gasdetektor 5 erzeugt wird, wird von mindestens einem Mikrofon 6 erfasst. Dasselbe besteht aus einer Membrane 7, deren Position mit Hilfe eines optischen Positionssensors 8 gemessen wird. Diese Vorrichtung 8 setzt sich aus einer Lichtquelle 8', insbesondere einer Laserdiode, und einem optischen Detektor 8'' zusammen. Vorgesehen ist ein auf einer Interferenzmessung beruhender Positionssensor 8, wie er zur Informationserfassung von CD-Tonträgern verwendet wird. Wie bereits erwähnt worden ist, besitzt die Mikrofonmembrane 7 eine derartige Steifigkeit und hohe mechanische Trägheit, sodass sie das integrale Drucksignal aufnimmt.

Gegebenenfalls wird die Modulationsfrequenz der Lichtquellen 1, 1' derart gewählt, dass die Mikrofonmembrane 7 aufgrund des photoakustischen Effekts zu einer Resonanzschwingung angeregt wird. Für diesen Fall ist eine Regelung der Modulationsfrequenz der Lichtquellen 1, 1' mit Hilfe der Regelvorrichtung 12, 12' für maximale Auslenkung der Mikrofonmembrane vorgesehen. Es ist festzuhalten, dass der Resonanzbetrieb nicht auf ein optisches Mikrofon beschränkt werden muss, er ist auch bei einem Kondensatormikrofon sinnvoll. Wegen der mechanisch integrierenden Wirkung eignet sich aber das Mikrofon mit optischem Positionssensor 8 besonders gut für den Betrieb der Mikrofonmembrane 7 in akustischer Resonanz.

Zur Erfassung und Bearbeitung wird das Signal des optischen Positionssensors 8 einer geeigneten Signalverarbeitungsvorrichtung 10 zugeführt. Der Gasdetektor 5 wird mittels einer Gasversorgungsvorrichtung 9 mit dem Messgas versehen, wobei, wie in Fig. 2 dargestellt, dieselbe aus Ventilen 19, 19' und einer Gasfördervorrichtung 19'' bestehen kann.

In der Darstellung von Fig. 3 ist ein weiteres Beispiel der erfindungsgemässen Vorrichtung dargestellt. Die photoakustische Gasdetektionsvorrichtung besteht wiederum aus einer Lichtquelle 1, deren

Strahlung gegebenenfalls nach Passieren eines optischen Filters 3 durch das Fenster 15 in den photoakustischen Gasdetektor 5 gelangt. Das photoakustische Signal wird wiederum mittels mindestens eines Mikrophons 6, 6' erfasst. Bei mindestens einem dieser Mikrophone handelt es sich um ein optisches Mikrophon, das aus einer Mikrophonmembrane 7' und einem optischen Distanzsensor 8 besteht. Im Gegensatz aber zu der Darstellung von Fig. 2 ist keine zusätzliche Gasversorgungsvorrichtung 9 vorhanden. Das Messgas wird dem Gasdetektor 5 durch die gaspermeable Mikrophonmembrane 7' zugeführt. Eine solche Membrane erlaubt definitionsgemäss einen Gasaustausch mit der Umgebung, stellt aber, wie bereits erwähnt worden ist, zur Gewährleistung einer hinreichend störungsfreien photoakustischen Messung ein effizientes akustisches Tiefpassfilter dar. Da der optische Distanzsensor 8 die Mikrophonmembrane 7' nur in einem engen Bereich teilweise bedeckt, ist der Gasfluss durch die Membrane 7' nur wenig behindert. Gegebenenfalls wird die Strahlung der Lichtquelle 8' im Positionssensor 8 über einen Lichtleiter 18 auf die Mikrophonmembrane 7, die gegebenenfalls gaspermeabel ist (7'), geleitet und/oder das reflektierte Licht durch einen zweiten Lichtleiter 18' dem Lichtdetektor 8'' zugeführt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur photoakustischen Detektion von Gasen oder von Komponenten einer Gasmischung, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Mikrophon vorhanden ist, dessen druckaufnehmende Mikrophonmembrane eine derartige Steifigkeit und/oder eine derartig grosse mechanische Trägheit besitzt, dass die Eigenfrequenz derselben im Infrashallbereich liegt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Photoakustik in akustischer Resonanz betrieben wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Position der Mikrophonmembrane optisch detektiert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Mikrophonmembrane gleichzeitig als gaspermeable Membrane einen Austausch des Gases im Gassensor mit der umgebenden Atmosphäre erlaubt.

5. Vorrichtung zur Ausübung des Verfahrens zur photoakustischen Detektion von Gasen oder von Komponenten einer Gasmischung nach Anspruch 1, bestehend aus mindestens einer Lichtquelle (1, 1') mit Strahler (2), gegebenenfalls einem optischen Filter (3), Mitteln (4) zur Modulation der Lichtintensität, einem photoakustischen Gasdetektor (5) mit mindestens einem Mikrophon (6, 6'), das seinerseits eine Membrane (7) und einen Positionssensor (8) aufweist, einer Gasaustauschvorrichtung (9) und Signalverarbeitungsmitteln (10), dadurch gekennzeichnet, die Mikrophonmembrane (7, 7') derart ausgelegt und angeordnet ist, dass deren Eigenfrequenz im Infrashallbereich liegt.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel (4) zur Modulation der Lichtintensität derart ausgelegt sind, dass sie den

Betrieb der Mikrophonmembrane (7) in akustischer Resonanz gewähren.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Mikrophonmembrane (7') gaspermeabel ist und damit gleichzeitig als Gasaustauschvorrichtung (9) den Gasaustausch des Messgases im Gasdetektor (5) der Umgebung erlaubt.

8. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Mikrophonmembrane (7, 7') mit einem optischen Positionssensor (8), der eine Lichtquelle (8') und einen Lichtdetektor (8'') enthält, in optischer Verbindung steht.

9. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle (8') ein Laser ist und die Distanzmessung der Mikrophonmembrane (7, 7') interferometrisch vorgenommen wird.

10. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlung der Lichtquelle (8) über einen Lichtleiter (18) zur Mikrophonmembrane (7) geführt wird und/oder die von der Mikrophonmembrane (7) reflektierte Strahlung über einen Lichtleiter (18') zum Lichtdetektor (8'') gelangt.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass nebst mindestens einem optischen Infrashallmikrophon (6) mindestens ein weiteres Mikrophon (6') im photoakustischen Gasdetektor (5) vorhanden ist.

Fig. 1

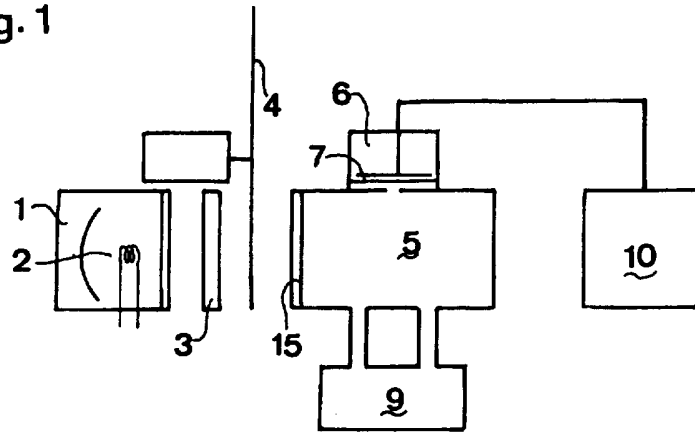


Fig. 2

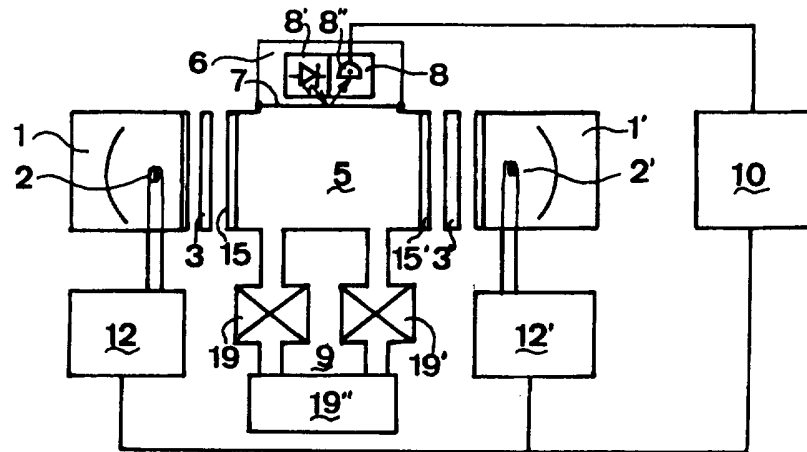


Fig. 3

