



(10) **DE 10 2011 054 715 A1** 2012.05.03

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 054 715.0**

(22) Anmeldetag: **21.10.2011**

(43) Offenlegungstag: **03.05.2012**

(51) Int Cl.: **G01N 25/18 (2012.01)**

(30) Unionspriorität:

12/913,950 **28.10.2010** **US**

(71) Anmelder:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY, Schenectady,
N.Y., US**

(72) Erfinder:

**Xia, Hua, Niskayuna, N.Y., US; Wu, Juntao,
Niskayuna, N.Y., US; Bantug, Aniceto, Clifton
Park, NY 12065, US; Guida, Renato, Niskayuna,
N.Y., US; Busboom, Axel, Niskayuna, New York
12309, US; Chamarthy, Pramod, Niskayuna, New
York 12309, US**

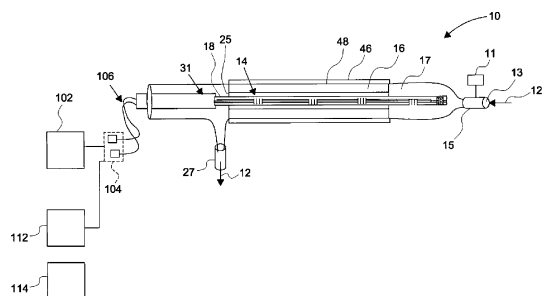
(74) Vertreter:

Rüger, Barthelt & Abel, 73728, Esslingen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Gasdetektionssystem**

(57) Zusammenfassung: Ein Gasnachweissystem (100) zum Identifizieren eines Gases (12) wird angegeben. Das Gasnachweissystem (100) schließt ein Anzeigemodul (10) mit einer hohlen Kammer (14) ein, die von einem Kammergehäuse (16) eingeschlossen ist. Das Anzeigemodul (10) schließt eine optische Anzeigefaser (18) ein, die innerhalb der hohlen Kammer (14) angeordnet ist. Die optische Faser (18) schließt einen Gassensor (20) mit einem Bragg-Fasergitter (20), das an einer Gitterstelle (26) entlang der optischen Anzeigefaser (18) angeordnet ist, und eine Anzeigeschicht (32) ein, die an einer äußeren Oberfläche (38) der optischen Anzeigefaser (18) an der Gitterstelle (26) befestigt ist. Nach dem Eintreten des Gases (12) in die hohle Kammer (14) tauschen die Anzeigeschicht (32) und das Gas (12), teilweise auf der Grundlage eines Wärmeübertragungs-Koeffizienten des Gases (12), Wärmeenergie aus. Der Austausch der Wärmeenergie induziert eine Verschiebung in einer Bragg-Resonanzwellenlänge des Bragg-Fasergitters (20), die eine Schwellenverschiebung übersteigt, die für den Nachweis erforderlich ist, wobei die Verschiebung zum Identifizieren des Gases (12) benutzt wird.



Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0001] In einer Vielfalt von Anwendungen, in denen ein Gas vorhanden ist, mag es erforderlich sein, die Identität des Gases zu kennen. So benutzt z. B. ein Wasserstoff-gekühlter Generator typischerweise ein Wasserstoffgas hoher Reinheit, das innerhalb abgedichteter Kammern des Generators fließt, um die Wirksamkeit der Energieerzeugung aufrechtzuerhalten. Eine geringe Menge Luft kann jedoch in die abgedichtete Kammer des Generators eindringen. Es mag daher ein Gasanalysator erforderlich sein, um die Reinheit des Wasserstoffgases innerhalb des Generators zu bestimmen, um sicherzustellen, dass die Reinheit des Wasserstoffgases innerhalb eines Konzentrationsbereiches, wie z. B. 95–98% liegt. Für den Fall, dass bei dem Generator ein Betriebsproblem auftritt, mag es erforderlich sein, ein Generatorgehäuse zu öffnen, um das Problem festzustellen und zu lösen. Das Generatorgehäuse enthält jedoch ursprünglich reines Wasserstoffgas und es kann ein Sicherheitsproblem verursachen, wenn das Gehäuse vorzeitig geöffnet wurde. Es kann daher ein sekundäres Gas, wie Kohlendioxid (CO₂) oder Stickstoffgas (N₂) benutzt werden, um das Generatorgehäuse zu spülen, bis die relative Konzentration von Wasserstoffgas geringer ist als eine Schwellenkonzentration, wie z. B. 4%, bevor das Gehäuse sicher geöffnet werden kann. Ein Gasanalysator mag somit erforderlich sein, um die relative Konzentration des sekundären Gases und des Wasserstoffgases innerhalb des Generatorgehäuses zu bestimmen, um zu bestimmen, dass das Generatorgehäuse während einer Abschaltzeit sicher geöffnet werden kann.

[0002] Es wurden verschiedene gasanalytische Techniken entwickelt, um Gas und Gaszusammensetzungen zu analysieren, wie Nachweis der Infrarotabsorption und der thermischen Leitfähigkeit. Diese konventionellen Techniken haben jedoch verschiedene Nachteile, wie den, dass sie nicht einen einzelnen Gassensor bereitstellen, der in der Lage ist, einen weiten Bereich von Gasen anzuzeigen, sodass ein separater Sensor/separates System für verschiedene Gase erforderlich sind. Außerdem wird z. B. die Infrarotabsorption benutzt, um eine begrenzte Menge von Gasen, wie Gase auf Kohlenwasserstoffgrundlage, anzuzeigen, doch ist sie nicht in der Lage, verschiedene übliche Gase, wie Wasserstoff, anzuzeigen. Eine konventionelle Nachweisteknik der thermischen Leitfähigkeit wird z. B. benutzt, um gewisse Gase anzuzeigen, doch ist sie aufgrund eines Mangels an der erforderlichen thermischen Empfindlichkeit und der Grundlinienverschiebung weniger genau beim Anzeigen eines weiten Bereiches von Gasen.

[0003] Es wäre daher vorteilhaft, ein System zum Nachweisen von Gas bereitzustellen, das die angegebenen Nachteile konventioneller Technologien zum Anzeigen von Gas überwindet und bequemerweise in der Lage ist, eine weite Vielfalt von Gasen mit der erforderlichen Empfindlichkeit anzuzeigen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0004] In einer Ausführungsform gemäß Aspekten der vorliegenden Erfindung wird ein System zum Nachweisen von Gas zum Identifizieren eines Gases bereitgestellt. Das System zum Nachweisen von Gas schließt ein Anzeigemodul mit einer hohlen Kammer ein, die durch ein Kammergehäuse eingeschlossen ist. Weiter schließt das Anzeigemodul eine optische Anzeigefaser ein, die innerhalb der hohlen Kammer angeordnet ist. Die optische Anzeigefaser schließt einen Gassensor mit einem Bragg-Fasergitter, das an einer Gitterstelle entlang der optischen Anzeigefaser angeordnet ist und eine Anzeigeschicht ein, die an einer äußeren Oberfläche der optischen Anzeigefaser an der Gitterstelle befestigt ist. Nachdem das Gas in die hohle Kammer geleitet worden ist, tauschen die Anzeigeschicht des Gassensors und das Gas teilweise auf der Grundlage eines Wärmeübertragungskoeffizienten des Gases Wärmeenergie aus. Der Austausch der Wärmeenergie induziert eine Verschiebung in einer Bragg-Resonanzwellenlänge des Bragg-Fasergitters des Gassensors, die eine Schwellenverschiebung übersteigt, die für den Nachweis erforderlich ist, wobei die Verschiebung zum Identifizieren des Gases benutzt wird.

[0005] In einer anderen Ausführungsform gemäß Aspekten der vorliegenden Erfindung wird ein System zum Nachweisen von Gas zum Identifizieren eines Gases bereitgestellt. Das System zum Nachweisen von Gas schließt eine optische Anzeigefaser mit einer Vielzahl von Gassensoren ein, wobei jeder Gassensor ein Bragg-Fasergitter, das an einer entsprechenden Gitterstelle entlang der optischen Anzeigefaser angeordnet ist, und eine Anzeigeschicht einschließt, die an einer äußeren Oberfläche der optischen Anzeigefaser an jeder Gitterstelle befestigt ist. Die Anzeigeschicht jedes Gassensors ist mit einer thermischen Empfindlichkeit konfiguriert, die zum Nachweisen eines Gases mit einem Wärmeübertragungskoeffizienten innerhalb eines Bereiches abgestimmt ist. Ein entsprechender Austausch der Wärmeenergie zwischen der Anzeigeschicht und dem Gas innerhalb des Bereiches des Wärmeübertragungskoeffizienten induziert eine Verschiebung in der Bragg-Re-

sonanzwellenlänge an der entsprechenden Gitterstelle, die eine Schwellenverschiebung übersteigt, die für den Nachweis des Gases innerhalb des Bereiches des Wärmeübertragungskoeffizienten erforderlich ist.

[0006] In einer anderen Ausführungsform gemäß Aspekten der vorliegenden Erfindung wird ein System zum Nachweisen von Gas zum Identifizieren eines Gases bereitgestellt. Das System zum Nachweisen von Gas schließt eine hohle Kammer ein, die durch ein Kammergehäuse eingeschlossen ist und die zur Aufnahme des Gases konfiguriert ist. Zusätzlich schließt das System zum Nachweisen von Gas eine optische Anzeigefaser ein, die innerhalb der hohlen Kammer angeordnet ist. Die optische Anzeigefaser schließt eine Vielzahl von Gassensoren ein, wobei jeder Gassensor ein entsprechendes Bragg-Fasergitter, das an einer entsprechenden Gitterstelle entlang der optischen Anzeigefaser angeordnet ist, und eine entsprechende Anzeigeschicht einschließt, die an einer äußeren Oberfläche der optischen Anzeigefaser an jeder Gitterstelle befestigt ist. Die Anzeigeschicht des Gassensors tauscht Wärmeenergie mit dem Gas auf der Grundlage eines Wärmeübertragungskoeffizienten des Gases und eines Temperaturunterschiedes zwischen der Anzeigeschicht und dem Gas aus. Zusätzlich schließt das System zum Nachweisen von Gas einen Fotodetektor zum Anzeigen einer entsprechenden Verschiebung in einer Bragg-Resonanzwellenlänge jedes Bragg-Fasergitters des Gassensors ein. Die entsprechende Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge wird durch die entsprechende Wärmeenergie induziert, die von jeder Anzeigeschicht des Gassensors an das Gas abgegeben wird. Das System zum Nachweisen von Gas schließt zusätzlich einen Regler ein, der mit dem Fotodetektor gekoppelt ist, um das Gas auf der Grundlage der entsprechenden Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge jedes Fasergassensors zu identifizieren.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

[0007] [Fig. 1](#) ist ein Blockdiagramm einer beispielhaften Ausführungsform eines konvektiven thermischen Systems zum Nachweisen von Gas zum Identifizieren eines Gases gemäß Aspekten der vorliegenden Erfindung;

[0008] [Fig. 2](#) ist eine seitliche Querschnittsansicht einer beispielhaften Ausführungsform eines Anzeigemoduls, das in dem Sensorsystem von [Fig. 1](#) veranschaulicht ist;

[0009] [Fig. 3](#) ist eine teilweise seitliche Querschnittsansicht der optischen Anzeigefaser des in [Fig. 2](#) veranschaulichten Anzeigemoduls;

[0010] [Fig. 4](#) ist eine grafische Darstellung einer Verschiebung einer Bragg-Resonanzwellenlänge im Normzustand in Abhängigkeit von einer Temperaturänderung im Normzustand in einer Anzeigeschicht variierender Dicke in der in [Fig. 3](#) veranschaulichten optischen Anzeigefaser;

[0011] [Fig. 5](#) ist eine grafische Darstellung einer thermischen Empfindlichkeit im Normzustand in Abhängigkeit von einer Schichtdicke im Normzustand verschiedener Materialien in den in [Fig. 3](#) veranschaulichten Anzeigeschichten;

[0012] [Fig. 6](#) ist eine teilweise seitliche Querschnittsansicht des thermischen Profils innerhalb des in [Fig. 2](#) veranschaulichten Anzeigemoduls, das eine Temperaturskala im Normzustand innerhalb des Anzeigemoduls für zwei Gase mit unterschiedlichen spezifischen Wärmekapazitäten zeigt;

[0013] [Fig. 7](#) ist eine grafische Darstellung einer Verschiebung einer Bragg-Resonanzwellenlänge im Normzustand in Abhängigkeit von einer Zeit im Normzustand bzw. einer normalisierten Zeit für eine Vielfalt von Gasen und Strömungsraten, die durch das in [Fig. 2](#) veranschaulichte Anzeigemodul hindurchgehen;

[0014] [Fig. 8](#) ist eine grafische Darstellung einer Verschiebung einer Bragg-Resonanzwellenlängen im Normzustand in Abhängigkeit von der normalisierten Zeit für eine Vielfalt von Konzentrationen eines binären Gases, das durch das in [Fig. 1](#) veranschaulichte Anzeigemodul hindurchgeht, und

[0015] [Fig. 9](#) ist eine grafische Darstellung einer Verschiebung einer Bragg-Resonanzwellenlängen im Normzustand in Abhängigkeit von der Zeit für eine Vielfalt variierender Gase, die durch das in [Fig. 2](#) veranschaulichte Anzeigemodul hindurchgehen gemäß Aspekten der vorliegenden Erfindung.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0016] Aspekte der vorliegenden Erfindung diskutieren das Anzeigen und Identifizieren eines Gases und einer Gaszusammensetzung einschließlich eines reinen Einkomponentengases, eines binären Zweikomponenten-

gases (einer Gasmischung von zwei reinen Gasen) oder eines Mehrkomponentengases oder eines Multigases (einer Gasmischung von mehr als zwei reinen Gasen). Wird z. B. ein reines Gas in das Sensorsystem eingeleitet, dann erfolgt eine Identifikation des Gases, wie H₂-Gas oder N₂-Gas, auf der Grundlage einer Wellenlängenverschiebung von einem Fasergassensor (FGS). In einem anderen Beispiel erfolgen, wenn ein binäres Gas in das Sensorsystem eingeleitet wird, eine Identifikation jedes reinen Gases innerhalb des binären Gases ebenso wie der relativen Konzentrationen jedes reinen Gases, wie z. B. 96% CO₂ und 4% H₂. In einer beispielhaften Ausführungsform für ein binäres Gas, das aus einem ersten und einem zweiten Einkomponentengas gebildet ist, kann das erste Einkomponentengas eine Wellenlängenverschiebung von $\Delta\lambda_1$ induzieren und das zweite Einkomponentengas kann eine Wellenlängenverschiebung von $\Delta\lambda_2$ induzieren, während das binäre Gas selbst eine Wellenlängenverschiebung von $\Delta\lambda$ induziert. Wenn $\Delta\lambda_1 > \Delta\lambda_2$, dann wird die Konzentration des ersten Einkomponentengases innerhalb des binären Gases in Prozent bestimmt durch:

$$C(I) = \frac{\Delta\lambda - \Delta\lambda_2}{\Delta\lambda_1 - \Delta\lambda_2} * 100 \quad (\%) \quad (1)$$

worin $\Delta\lambda_1 - \Delta\lambda_2$ der dynamische Bereich des Gassensors ist. Eine Gassensor-Empfindlichkeit kann ausgedrückt werden als die Wellenlängenreaktion/Verschiebungsamplitude für jede 1%ige Variation der Gaskonzentration.

[0017] Wie oben erläutert, hat die konventionelle Technologie des Gasnachweises mittels thermischer Leitfähigkeit den Mangel der erforderlichen Empfindlichkeit und Genauigkeit, um eine weite Vielfalt von Gasen nachzuweisen, einschließlich reinen Gasen, binären Gasen und Multigasen. Die Erfinder haben ein System zum Nachweisen von Gas entwickelt, das einen konvektiven thermischen Effekt benutzt, um ein Gas oder eine Gaszusammensetzung auf der Grundlage des Bereiches von Gasen zu identifizieren, die zur Benutzung für eine besondere Anwendung angepasst sind, wie, dass das System zum Nachweisen von Gas mit der erforderlichen Empfindlichkeit für jedes Gas ausgestattet ist. Da der durch den konvektiven thermischen Effekt induzierte Wärmeaustausch zwischen dem Fasergassensor und dem Gasstrom auf der spezifischen Wärmekapazität des Gases, dem Koeffizienten der thermischen Leitfähigkeit des Gases und der Strömungsrate des Gases beruht, kann der Fasergassensor derart gestaltet sein, dass er auf einen spezifischen Bereich von Gasen anspricht.

[0018] Wie unten detaillierter erläutert, schließt das System zum Nachweisen von Gas eine thermische Konvektion durch den Austausch thermischer Energie zwischen dem eingeführten Gas und einem Fasergassensor ein. Spezifisch kann das System zum Nachweisen von Gas mehrere Fasergassensoren einschließen, die gemeinsam mehrere Anzeigeschichten einschließen und von denen jeder mit einer thermischen Empfindlichkeit versehen ist, die einzeln eingestellt ist, um thermische Energie mit einem Gas auszutauschen, das einen Wärmeübertragungskoeffizienten innerhalb eines entsprechenden Bereiches aufweist. So kann z. B. eine erste Anzeigeschicht eines ersten Fasergassensors mit einer ersten thermischen Empfindlichkeit versehen sein, um thermische Energie mit einem Gas auszutauschen, das einen hohen Wärmeübertragungskoeffizienten aufweist. In einem anderen Beispiel kann eine zweite Anzeigeschicht eines zweiten Fasergassensors mit einer zweiten thermischen Empfindlichkeit versehen sein, um thermische Energie mit einem Gas auszutauschen, das einen geringen Wärmeübertragungskoeffizienten aufweist. Um sicherzustellen, dass das System zum Nachweisen von Gas eine angemessene Empfindlichkeit für Gase mit einem Bereich von Wärmeübertragungskoeffizienten hat, schließt das System zum Nachweisen von Gas mehrere Gassensoren mit mehreren Anzeigeschichtmaterialien ein, wobei jede entsprechende Anzeigeschicht jedes Gassensors konfiguriert ist, thermische Energie mit einer Gruppe von Gasen auszutauschen, die einen Wärmeübertragungskoeffizienten innerhalb eines entsprechenden Bereiches aufweisen, sodass die Kombination der mehreren Gassensoren und mehreren Anzeigeschichten innerhalb des Systems zum Nachweisen von Gas in der Lage ist, einen weiten Bereich von Gasen mit einem gemeinsam weiten Bereich von Wärmeübertragungskoeffizienten nachzuweisen und zu identifizieren.

[0019] [Fig. 1](#) veranschaulicht ein System **100** zum Nachweisen von Gas zum Identifizieren eines Gases und zum Analysieren einer Gaszusammensetzung, die ein reines Gas, ein binäres Gas oder ein Multigas sein kann. Das System **100** zum Nachweisen von Gas schließt eine optische Breitbandquelle **102** ein, die ein optisches Signal, wie z. B. einen Laser, in einen optischen Koppler **104** abgibt, der seinerseits das optische Signal in vier separate Faserübertragungskabel **106** koppelt. Jedes Faserübertragungskabel **106** überträgt das optische Signal zu einem entsprechenden Anzeigenmodulgehäuse **110**, das ein Paar Anzeigemodule **10** einschließt. Obwohl [Fig. 1](#) veranschaulicht, dass ein Paar von Anzeigemodulen **10** von dem Gehäuse **110** eingeschlossen ist, können weniger oder mehr als zwei Anzeigemodule von dem Gehäuse des Anzeigemoduls eingeschlossen

sen sein. Das Anzeigemodul **10** ist unten in der Ausführungsform von [Fig. 2](#) erläutert. Zusätzlich könnte das Gehäuse des Anzeigemoduls eine explosionsichere metallische Umhüllung sein. Das Gehäuse des Anzeigemoduls muss aber nicht aus einem metallischen Material hergestellt sein. Das Paar von Anzeigemodulen **10** ist innerhalb des Gehäuses **110** des Anzeigemoduls angeordnet, um eine Testredundanz bereitzustellen, sodass mindestens ein Anzeigemodul **10** Daten zum Identifizieren des Gases für den Fall liefert, dass das andere Anzeigemodul **10** nicht arbeitet. In einer beispielhaften Ausführungsform, in der ein Paar von Anzeigemodulen **10** innerhalb des Gehäuses **110** des Anzeigemoduls angeordnet ist, kann ein durch einen Zeitgeber geregelter Schalter innerhalb des Gehäuses **110** des Anzeigemoduls benutzt werden, um alternativ das eingeführte Gas zu festgelegten Zeitintervallen in die Anzeigemodule **10** zu dirigieren, wie z. B. in einem Intervall der Größenordnung von Sekunden bis dreißig Minuten. Wie weiter unten detaillierter erläutert wird, spricht das Anzeigemodul **10** auf den durch den Gasstrom induzierten konvektiven thermischen Verlust durch Verschieben seiner Bragg-Resonanzwellenlänge an, wobei die relative Wellenlängenverschiebung repräsentativ für die Identität des Gases innerhalb des Anzeigemoduls **10** ist.

[0020] Wie weiter in [Fig. 1](#) veranschaulicht, ist ein Photodetektor oder eine Mehrkanal-Signalverarbeitungseinheit **112** bereitgestellt, um die Verschiebung in der Wellenlänge des optischen Signals von jedem Anzeigemodul **10** zu analysieren. In einer beispielhaften Ausführungsform ist die Verarbeitungseinheit **112** ein 1–16-Kanal-Mehrfachkoppler, worin ein Kanal benutzt werden kann, um das Spektrum der Wellenlängenverschiebung von jedem Anzeigemodul **10** zu analysieren. Die Ausführungsformen sind jedoch nicht auf einen 16-Kanal-Mehrfachkoppler beschränkt und sie können einen 32-Kanal-Mehrfachkoppler oder einen Mehrfachkoppler mit irgendeiner Anzahl von Kanälen benutzen, beruhend auf der Anzahl der Anzeigemodule **10**. Obwohl [Fig. 1](#) vier Anzeigemodule **10** innerhalb des Systems **100** zum Nachweisen von Gas zeigt, können weniger oder mehr als vier Anzeigemodule innerhalb des Systems benutzt werden, sodass die Ausführungsformen nicht auf irgendeine besondere Anzahl von Anzeigemodulen beschränkt sind. Ein Regler oder Prozessor **114** empfängt die analysierten Spektraldaten von der Signalverarbeitungseinheit **112**, um das Gas innerhalb jedes Anzeigemoduls **10** zu identifizieren. In einer beispielhaften Ausführungsform kann der Prozessor **114** mit einer Software auf LabVIEW-Grundlage kontrolliert werden.

[0021] [Fig. 2](#) veranschaulicht ein Anzeigemodul **10** zum Identifizieren eines Gases, das z. B. irgendeines eines reinen Gases, eines binären Gases oder eines Multigases sein kann. Die Ausführungsform von [Fig. 2](#) kann als das System **100** zum Nachweisen von Gas von [Fig. 1](#) angesehen werden, wo nur ein Anzeigemodul **10** innerhalb des Systems **100** zum Nachweisen von Gas benutzt wird. Das Anzeigemodul **10** schließt eine hohle Kammer **14** ein, die eine hohle Führung sein kann, die von einem Kammergehäuse **16** eingeschlossen ist, das z. B. ein Doppelwandgehäuse sein kann. In einer beispielhaften Ausführungsform hat das Kammergehäuse **16** eine zylindrische Struktur, die aus einem Material geringer thermischer Ausdehnung hergestellt ist, wie z. B. geschmolzenem Quarzglas. Der Hohlraum innerhalb der Doppelwand kann mit getrockneter Luft abgedichtet sein, um die Leitung thermischer Energie zu mildern, wenn das Gas durch die Hohlkammer **14** hindurchgeht. Das Anzeigemodul **10** schließt weiter die optische Anzeigefaser **18** ein, die innerhalb der hohlen Kammer **14** angeordnet ist. Wie in [Fig. 2](#) veranschaulicht, ist die optische Anzeigefaser **18** derart angeordnet, dass sie innerhalb der hohlen Kammer **14** mit einem Anzeigerechen **31** abgehängt ist, und die Längsachse der optischen Anzeigefaser **18** und des Anzeigerechens **31** mit der Längsachse der hohlen Kammer **14** zusammenfallen. Obwohl [Fig. 2](#) eine hohle Kammer zeigt, die eine zylindrische Gestalt aufweist, wobei die optische Anzeigefaser derart angeordnet ist, dass die Längsachse der optischen Anzeigefaser mit der Längsachse der hohlen Kammer zusammenfällt, sind die Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung nicht auf diese Anordnung beschränkt, vorausgesetzt, dass das Anzeigemodul in der Lage ist, unter Nutzung eines thermischen Austausches zwischen dem Gas und den Fasergassensoren, wie weiter unten detaillierter erläutert wird, das Gas zu identifizieren.

[0022] [Fig. 3](#) veranschaulicht, dass die optische Anzeigefaser **18**, die innerhalb der hohlen Kammer **14** angeordnet ist, drei Fasergassensoren (FGS) einschließt. Jeder der drei Fasergassensoren (FGS) schließt drei entsprechende Bragg-Fasergitter **20**, **22**, **24** ein, die an entsprechenden Gitterstellen **26**, **28**, **30** entlang der optischen Anzeigefaser **18** angeordnet sind, die durch den Anzeigerechen **31** abgestützt sind. Wie der Fachmann erkennen wird, sind die Bragg-Fasergitter in den Kern der fotoempfindlichen optischen Faser **18** mit konventionellen Laser- und Phasenmaskierungs-Techniken eingeschrieben und sie sind umgeben von der Umhüllung der optischen Faser. Wie in [Fig. 3](#) außerdem veranschaulicht, schließen die drei Fasergassensoren (FGS) drei entsprechende Anzeigeschichten **32**, **34**, **36** ein, die an einer äußeren Oberfläche **38** der optischen Anzeigefaser **18** (d. h., der Umhüllung) an jeder entsprechenden Gitterstelle **26**, **28**, **30** befestigt sind. Jeder Fasergassensor (FGS) schließt ein entsprechendes Bragg-Fasergitter, das an einer entsprechenden Gitterstelle angeordnet ist, sowie eine entsprechende Anzeigeschicht ein, die an einer äußeren Oberfläche der optischen Anzeigefaser an der entsprechenden Gitterstelle befestigt ist. In einer beispielhaften Ausführungsform von As-

pekten der vorliegenden Erfindung ist die Anzeigeschicht **32, 34, 36** unter Benutzung einer Bindschicht **33, 35, 37** an die äußere Oberfläche **38** gebunden, wie unten erläutert wird. Obwohl **Fig. 3** drei Bragg-Fasergitter veranschaulicht, die innerhalb der optischen Anzeigefaser **18** angeordnet sind, sind die Ausführungsformen nicht auf drei Bragg-Fasergitter beschränkt und sie können mehr oder weniger als drei Bragg-Fasergitter, die innerhalb der optischen Anzeigefaser **18** angeordnet sind, in Abhängigkeit von den Arten von Gasen oder Gaszusammensetzungen benutzen, die Gegenstand der Identifikation sind, wie detailliert unten erläutert wird. Die Auswahl der Anzahl von Bragg-Fasergittern, die innerhalb der optischen Anzeigefaser **18** anzuordnen ist, ist eine Betrachtung während einer Entwurfsphase des Anzeigemoduls **10** und beruht auf verschiedenen Faktoren, wie z. B. dem Bereich der nachzuweisenden Gaszusammensetzung oder der Art des nachzuweisenden Gases. In einer beispielhaften Ausführungsform sind die Bragg-Fasergitter in den Einzelmodus-Faserkern mit einer apodisierten periodisch modulierten Brechungsindex-Gitterstruktur eingeschrieben, wobei die Anzeigeschicht seine Umhüllung umgibt.

[0023] Wie in **Fig. 2** gezeigt, schließt das Anzeigemodul **10** weiter einen thermischen Stabilisator **46** ein, der an einer äußeren Oberfläche **48** des Kammergehäuses **16** angebracht ist, das ein Doppelwand-Kammergehäuse sein kann, wie oben erläutert. Der thermische Stabilisator **46** wird bei einer ersten Temperatur oder einer Betriebstemperatur, wie z. B. 300°F, gehalten. Der thermische Stabilisator kann eine Wärmewickeldecke (die durch einen Standardwand-Auslass mit Energie versehen sein kann) sein, die um die äußere Oberfläche des Kammergehäuses gewickelt ist, das aus einem Material geringer thermischer Ausdehnung hergestellt ist, wie einem Rohr aus geschmolzenem Quarz. Das Kammergehäuse **16** wird, auf der Grundlage der Befestigung des thermischen Stabilisators **46** an der äußeren Oberfläche **48** des Kammergehäuses **16**, auf die Betriebstemperatur erhitzt. Die Bragg-Fasergitter **20, 22, 24** und die Anzeigeschichten **32, 34, 36** werden, auf der Grundlage einer thermischen Konvektions-Wärmeübertragung vom Kammergehäuse **16** durch die hohle Kammer **14**, ebenfalls auf die Betriebstemperatur erhitzt. Wie oben erläutert, kann das Kammergehäuse **16** in einer beispielhaften Ausführungsform aus einem Material mit begrenzter thermischer Strahlung hergestellt sein, wie einem geschmolzenem Quarzmaterial, das Infrarot-Strahlungsenergie vom thermischen Stabilisator schwächt, um das thermische Rauschen des Sensors bei Wellenlängen größer als einer Schwellenwellenlänge, wie z. B. 2 µm, zu verringern. Das Kammergehäuse **16** ist aus einem Material hergestellt, das sicherstellt, dass die Anzeigeschichten **32, 34, 36** und die optische Anzeigefaser **18** durch thermische Konvektion auf die Betriebstemperatur erhitzt werden.

[0024] Die Bragg-Fasergitter **20, 22, 24** und die optische Anzeigefaser **18** werden durch den Anzeigerechen **31** abgestützt, der ein quarzstabähnlicher Rechen sein kann. Um sicherzustellen, dass der Austausch thermischer Energie zwischen dem Anzeigemodul **10** und dem Gasstrom **12** stattfindet, ist der Anzeigerechen **31** mit einem zylindrischen Körper mit ein oder mehreren Öffnungen versehen, sodass jedes Gitter **20, 22, 24** dem Gasstrom ausgesetzt ist, während die Möglichkeit thermischer Leitung vom Anzeigerechen **31** zu den Bragg-Fasergittern **20, 22, 24** gemildert wird. Ein Ende des zylindrischen Körpers des Anzeigerechens **31** kann zum Abdichten der hohlen Kammer **14** benutzt werden, während das andere Ende innerhalb des Zentrums der hohlen Kammer **14** suspendiert ist. Der Einlassgasstrom **12** kann frei durch den Anzeigerechen **31** hindurchgehen, an den Bragg-Fasergittern **20, 22, 24** vorbeistreichen und durch den Auslass **27** austreten. Auf der Grundlage der gleichen Betrachtung kann das Material des Anzeigerechens **31** aus einem geschmolzenen Quarzglasmaterial konstruiert sein, um potenzielle thermische Strahlung und Leitung von dem Anzeigerechen **31** zu den Bragg-Fasergittern **20, 22, 24** zu mildern und wegen der unterschiedlichen Koeffizienten der thermischen Expansion, die thermische Spannung einführen.

[0025] Wie in **Fig. 2** veranschaulicht, wird während des Betriebes des Anzeigemoduls **10** das Gas **12** in einen Einlass **13** mit einer einstellbaren Strömungsrate und durch einen thermischen Radiator **15** geleitet, der als eine Wärmesenke dient, um eine Temperaturvariation des Gases **12** bis zu einer Einlasstemperatur oder einer zweiten Temperatur zu vermindern (wenn die anfängliche Gastemperatur oberhalb der Einlasstemperatur liegt), bevor das Gas **12** durch eine vordere hohle Kammer **17** hindurchgeht, die eine Einzelwandkammer ist, um Gasturbulenz zu verringern, bevor das Gas **12** in die hohle Kammer **14** eintritt. In einer beispielhaften Ausführungsform liegt die Einlasstemperatur im Bereich von 0 bis 100°F. Das Anzeigemodul **10** schließt ein Strömungsmessgerät **11** ein, das mit dem Einlass **13** verbunden ist, um die Strömungsrate des Gases **12** durch die hohle Kammer **14** einzustellen. Nachdem das Gas **12** bei der Einlasstemperatur in die hohle Kammer **14** eingetreten ist, tauscht die Anzeigeschicht **32, 34, 36** an jeder Gitterstelle **26, 28, 30** Wärmeenergie mit dem Gas **12**, teilweise auf der Grundlage einer Wärmekapazität des Gases und zusätzlich auf einer thermischen Leitfähigkeit und Expansionscharakteristik eines Materials jeder Anzeigeschicht **32, 34, 36** und der Temperaturdifferenz zwischen der Betriebstemperatur der Anzeigeschicht **32, 34, 36** und der anfänglichen Einlasstemperatur des Gases **12**, aus. Der entsprechende Austausch der Wärmeenergie zwischen jeder Anzeigeschicht **32, 34, 36** jedes Fasergassensors (FGS) und dem Gas **12** induziert eine Verschiebung in einer

Bragg-Resonanzwellenlänge jedes entsprechenden Bragg-Fasergitters **20, 22, 24** zwischen jedem Fasergassensor (FGS), die charakteristisch für das Gas **12** ist, und das Anzeigemodul **10** benutzt die Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge jedes entsprechenden Bragg-Fasergitters **20, 22, 24**, um das Gas **12** zu identifizieren. Nachdem das Gas **12** durch die hohle Kammer **14** hindurchgegangen ist, verlässt es das Faser-Gasanzeigemodul **10** durch den Auslass **27**.

[0026] Wie in den **Fig. 1** und **Fig. 2** veranschaulicht, empfängt das Anzeigemodul **10** ein optisches Signal von einer Breitband- oder einstellbaren Quelle **102**, das unter Benutzung eines optischen Kopplers **104** in eine optische Anzeigefaser **106** übertragen wird. Wie oben erläutert, kann das in **Fig. 2** veranschaulichte Anzeigemodul **10** als ein Spezialfall des Systems **100** zum Nachweisen von Gas nach **Fig. 1** angesehen werden, in dem z. B. ein einzelnes Anzeigemodul **10** benutzt wird. Die Lichtquelle **102** überträgt einen Laser in die Faserkabel **106**, die dann den Laser in den Anzeigerechen **31** und in das Gehäuse **16** des Anzeigemoduls leiten. Wie vorerwähnt, wird der Anzeigerechen **31** benutzt, um die Bragg-Fasergitter **20, 22, 24** oder Fasergassensoren innerhalb der hohlen Kammer **14** zu positionieren, die durch ein Doppelwandgehäuse **16** eingeschlossen ist. Spezifisch schließt der Anzeigerechen **31** ein oder mehrere Öffnungen ein, die es allen Bragg-Fasergittern **20, 22, 24** gestatten, innerhalb des Gasströmungspfades positioniert zu sein. In einer beispielhaften Ausführungsform ist jede optische Anzeigefaser **18** an einer V-Rille gesichert und mehrere optische Anzeigefasern oder Anordnungen von Bragg-Fasergittern können an parallelen V-Rillen gesichert sein. Wie der Fachmann erkennen wird, bietet die Lichtquelle **102** für jedes Bragg-Fasergitter **20, 22, 24** eine entsprechende Breitband-Laserquelle oder einstellbare Lichtquelle, die vom optischen Koppler **104** in den **Fig. 1-Fig. 2** zur optischen Anzeigefaser **106** gekoppelt wird, um eine entsprechende Verschiebung jeder entsprechenden Bragg-Resonanzwellenlänge jedes Bragg-Fasergitters **20, 22, 24** jedes entsprechenden Fasergassensors (FGS) zu messen. Obwohl **Fig. 1** zeigt, dass das System **100** zum Nachweisen von Gas eine einzelne Lichtquelle **102** und einen einzelnen optischen Koppler **104** für mehrere Anzeigemodule **10** einschließt, diskutiert die Ausführungsform von **Fig. 2**, dass eine einzelne Lichtquelle **102** und der Photodetektor **112** oder Verarbeitungseinheit **114** zusammen mit einem einzelnen Anzeigemodul **10** benutzt werden können. Das Anzeigemodul **10** schließt auch den Regler oder Prozessor **114** ein, der mit dem Photodetektor **112** gekoppelt ist, wobei der Photodetektor **112** die nachgewiesenen Spektraldaten der Verschiebung der Bragg-Resonanzwellenlänge zum Prozessor **114** überträgt. Auf der Grundlage der Spektraldaten der Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge von jedem entsprechenden Bragg-Fasergitter **20, 22, 24** jedes Fasergassensors (FGS), identifiziert der Prozessor **114**, der z. B. eine Mehrkanal-Signalverarbeitungseinheit und Datenerfassungsprozessor sein kann, das Gas **12** durch Berücksichtigen aller entsprechenden Verschiebungen in der Bragg-Resonanzwellenlänge von allen Bragg-Fasergittern **20, 22, 24** aller Fasergassensoren (FGS).

[0027] In einer beispielhaften Ausführungsform ist der Austausch von Wärmeenergie zwischen den Anzeigeschichten **32, 34, 36** und dem Gas **12** eine Abführung von Wärmeenergie von den Anzeigeschichten **32, 34, 36** an das Gas **12** durch thermische Konvektion. Wie der Fachmann erkennen wird, ist eine Abführung von Wärmeenergie durch thermische Konvektion von einem Bereich höherer Temperatur zu einem Bereich geringerer Temperatur gerichtet, und die Rate der thermischen Konvektion ist proportional dem Unterschied in der Temperatur zwischen der höheren Temperatur und der geringeren Temperatur ebenso wie den Koeffizienten der Wärmeleitung des Gases **12** und jeder Anzeigeschicht **32, 34, 36** ebenso wie der Geometrie der Kammer **14**. Wie oben erläutert, wird das Gas **12** mit einer anfänglichen Einlasstemperatur in die hohle Kammer **14** geleitet und die Anzeigeschichten **32, 34, 36** befinden sich bei der Betriebstemperatur. Die Einlasstemperatur unterscheidet sich von der Betriebstemperatur und, spezifischer, ist die Einlasstemperatur geringer als die Betriebstemperatur. In einer beispielhaften Ausführungsform ist die Betriebstemperatur im Bereich von 200°F bis 300°F festgelegt und die Einlasstemperatur ist im Bereich von 0°F bis 100°F festgelegt. In einer beispielhaften Ausführungsform beträgt der Unterschied zwischen der Betriebstemperatur und der Einlasstemperatur während des Betriebes des Anzeigemoduls **10** mindestens 150°F. In einer zusätzlichen beispielhaften Ausführungsform beträgt der Unterschied zwischen der Betriebstemperatur und der Einlasstemperatur während des Betriebes des Anzeigemoduls **10** mindestens 100°F.

[0028] Wie in **Fig. 3** veranschaulicht, sind die Anzeigeschichten **32, 34, 36** jedes Fasergassensors (FGS) jeweils an die äußere Oberfläche **38** (d. h., der Umhüllung) der optischen Anzeigefaser **18** an den entsprechenden Gitterstellen **26, 28, 30** jedes Fasergassensors (FGS) gebunden. Eine Bindschicht **33, 35, 37** ist zwischen den Anzeigeschichten **32, 34, 36** und der äußeren Oberfläche **38** vorgesehen, um die entsprechenden Anzeigeschichten **32, 34, 36** sicher an die äußere Oberfläche **38** der optischen Anzeigefaser **18** zu binden. In einer beispielhaften Ausführungsform ist die Bindschicht aus Titan-, Nickel-, Kupfer- und/oder Chrom-Materialien mit einer Dicke im Bereich von z. B. 10 nm bis 40 nm hergestellt. Zusätzlich ist, wie in **Fig. 3** veranschaulicht, eine Deckschicht oder Schutzschicht **39, 41, 43** auf einer äußeren Oberfläche der Anzeigeschicht **32, 34, 36** vorgesehen, um die Anzeigeschichten **32, 34, 36** vor Oxidation oder Korrosion zu schützen. In einer beispiel-

haften Ausführungsform ist die Schutzschicht aus einem von Nickel-, Gold- und/oder Chrom-Materialien mit einer Dicke von z. B. etwa 100 nm hergestellt. In einer beispielhaften Ausführungsform kann die Schutzschicht eine chemisch aktive Schicht sein, die aus einem Palladiumlegierungs- oder einem Kupferoxid-Material hergestellt ist, um Wasserstoff oder Schwefelwasserstoff zu identifizieren, oder sie kann aus einem Palladium-dotierten Zinnoxidmaterial hergestellt sein, um z. B. Methan oder Kohlenmonoxid zu identifizieren, und eine Dicke von z. B. 10 nm bis 50 nm haben. Obwohl [Fig. 3](#) die Schutzschichten **39**, **41**, **43** veranschaulicht, die die äußere Oberfläche der Anzeigeschichten **32**, **34**, **36** bedecken, kann das Anzeigemodul **10** ohne den Gebrauch der Schutzschichten **39**, **41**, **43** betrieben werden, unter der Voraussetzung, dass inerte Gase analysiert werden. In einer beispielhaften Ausführungsform kann die Anzeigeschicht eine chemisch aktive Schicht sein und die Fasergassensoren können ohne den Einsatz der Schutzschichten **39**, **41**, **43** betrieben werden, vorausgesetzt, dass ein Multigas identifiziert wird.

[0029] Die Temperatur der Anzeigeschichten **32**, **34**, **36** und der optischen Anzeigefaser **18** nehmen von der Betriebstemperatur aus ab, wenn das Gas **12** durch die hohle Kammer **14** strömt, beruhend auf der Abführung der Wärmeenergie von den Anzeigeschichten **32**, **34**, **36** zum Gas **12**. Die Variation in der Temperatur der Anzeigeschichten **32**, **34**, **36** wird auf der Grundlage einer entsprechenden Charakteristik der thermischen Ausdehnung der optischen Anzeigefaser **18** und jedes Materials der Anzeigeschichten **32**, **34**, **36** eine entsprechende Dehnungsverminderung in die Bragg-Fasergitter **20**, **22**, **24** jedes Fasergassensors einführen. Da die Charakteristik der thermischen Ausdehnung jeder Anzeigeschicht **32**, **34**, **36** viel größer ist als die Charakteristik der thermischen Ausdehnung der Bragg-Fasergitter **20**, **22**, **24**, induziert die Temperaturvariation eine größere Variation in der Dehnung in den Anzeigeschichten **32**, **34**, **36** (komprimierte Dehnung) als in den Bragg-Fasergittern **20**, **22**, **24** (Zugdehnung) und erzeugt so eine Grenzflächendehnung zwischen den Anzeigeschichten **32**, **34**, **36** und den Bragg-Fasergittern **20**, **22**, **24**. Die entsprechende Dehnung jeder Anzeigeschicht **32**, **34**, **36** beruht auf einer entsprechenden thermischen Expansionscharakteristik jedes Materials der Anzeigeschichten **32**, **34**, **36** und einer entsprechenden Dicke **50**, **52**, **54** jeder Anzeigeschicht **32**, **34**, **36**. Die entsprechende Dehnung jeder Anzeigeschicht **32**, **34**, **36** induziert eine entsprechende Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge jedes entsprechenden Bragg-Fasergitters **20**, **22**, **24** jedes Fasergassensors, was repräsentiert ist als:

$$\begin{aligned}\Delta\lambda &= \lambda_B \cdot \xi \cdot (\alpha_m - \alpha_f) \cdot \Delta T + \lambda_B \cdot (\alpha_f + \beta) \cdot \Delta T \\ \Delta\lambda &= (\kappa_\epsilon + \kappa_T) \cdot \Delta T\end{aligned}\tag{2}$$

worin $\Delta\lambda$ die Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge jedes entsprechenden Bragg-Fasergitters **20**, **22**, **24** ist, λ_B die anfängliche Bragg-Resonanzwellenlänge ist, ξ ein Parameter proportional der Dicke **50**, **52**, **54** jeder Anzeigeschicht **32**, **34**, **36**, Young's Modul und Poisson's Verhältnis des Anzeigematerials und der Faser ist, α_m der effektive Koeffizient der thermischen Ausdehnung jeder Anzeigeschicht **32**, **34**, **36** ist, α_f der Koeffizient der thermischen Ausdehnung der optischen Faser **18** ist, ΔT die Änderung in der Temperatur durch den konvektiven thermischen Effekt ist und β ein thermooptischer Koeffizient des Fasermaterials ist. Der erste Ausdruck von Gleichung (2) repräsentiert die Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge, die der Grenzflächendehnung zwischen den Anzeigeschichten **32**, **34**, **36** und der äußeren Oberfläche **38** der optischen Faser **18** benachbart den Bragg-Fasergittern **20**, **22**, **24** zuzuschreiben ist und ist proportional dem Unterschied zwischen den Koeffizienten der thermischen Ausdehnung der Anzeigeschichten **32**, **34**, **36** und des Fasermaterials ebenso wie der Dicke **50**, **52**, **54** der Anzeigeschichten **32**, **34**, **36**. Der Koeffizient κ_ϵ ist die Dehnungsempfindlichkeit jeder entsprechenden Anzeigeschicht **32**, **34**, **36** in Begriffen der induzierten Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge des entsprechenden Bragg-Fasergitters **20**, **22**, **24**, während der Koeffizient κ_T die Temperaturempfindlichkeit jedes entsprechenden Bragg-Fasergitters ist. Die Summe der zwei Koeffizienten ist als die thermische Empfindlichkeit jedes Fasergassensors (FGS) definiert. Der zweite Ausdruck der Gleichung (2) zeigt eine bekannte Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge an, die der Änderung in der Temperatur ΔT der Bragg-Fasergitter **20**, **22**, **24** zuzuschreiben ist. Die bekannte Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge ist somit vorbestimmt und wird verglichen mit der Gesamtverschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge, um den Teil in der Verschiebung der Bragg-Resonanzwellenlänge zu isolieren, der der Dehnung der Anzeigeschicht **32**, **34**, **36** zuzuschreiben ist. Zusätzlich kann die innewohnende elastische Dehnung aufgrund der thermischen Expansion der Faser zu gering sein und ihre tatsächliche Auswirkung kann vernachlässigbar sein.

[0030] In einer beispielhaften Ausführungsform ist der Fasergassensor (FGS) derart gestaltet, dass das Material und die Dicke jeder Anzeigeschicht **32**, **34**, **36** individuell ausgewählt sind, um eine Dehnungsempfindlichkeit zu haben, die größer ist als eine minimale Dehnungsempfindlichkeit κ_ϵ und eine Temperaturempfindlichkeit κ_T , auf der Grundlage der vorhergesehenen Temperaturveränderung, die jede Anzeigeschicht **32**, **34**, **36** erfährt, um eine Reaktionsamplitude oder Verschiebung zu induzieren, die größer ist als eine erforderli-

che Mindestreaktions-Amplitude oder -Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge, während das Gas **12** durch die hohle Kammer **14** strömt. In einer beispielhaften Ausführungsform kann jede Anzeigeschicht **32**, **34**, **36** mit einer entsprechenden Temperatur- und Dehnungsempfindlichkeit gestaltet sein, die eingestellt ist, um ein Gas innerhalb eines entsprechenden Bereiches von Wärmeübertragungs-Koeffizienten nachzuweisen. So kann z. B. eine erste Anzeigeschicht **32** derart gestaltet sein, dass die Temperatur- und Dehnungsempfindlichkeit der Anzeigeschicht **32** eingestellt ist, um ein Gas mit einem hohen Bereich des Wärmeübertragungs-Koeffizienten nachzuweisen, indem eine Verschiebung in einer Bragg-Resonanzwellenlänge des Bragg-Fasergitters **20** induziert wird, die eine Schwelle übersteigt, die zum Nachweis erforderlich ist, wie z. B. 1 bis 10 Picometer (pm). In einem anderen Beispiel kann eine zweite Anzeigeschicht **34** derart gestaltet sein, dass die Dehnungsempfindlichkeit der Anzeigeschicht **34** eingestellt ist, um ein Gas mit einem mittleren Bereich des Wärmeübertragungs-Koeffizienten nachzuweisen, durch Induzieren einer Verschiebung in einer Bragg-Resonanzwellenlänge des Bragg-Fasergitters **22**, die eine Schwelle übersteigt, die für den Nachweis erforderlich ist z. B. 10 bis 50 pm. In einem anderen Beispiel kann eine dritte Anzeigeschicht **36** derart gestaltet sein, dass die Temperatur- und Dehnungsempfindlichkeit der Anzeigeschicht **36** eingestellt ist, um ein Gas in einem niederen Bereich des Wärmeübertragungs-Koeffizienten nachzuweisen, durch Induzieren einer Verschiebung in einer Bragg-Resonanzwellenlänge des Bragg-Fasergitters **24**, die eine Schwelle übersteigt, die zum Nachweis erforderlich ist z. B. 50 bis 100 pm.

[0031] Wie oben erläutert, beruht die Temperaturänderung in jeder entsprechenden Anzeigeschicht **32**, **34**, **36** auf der entsprechenden Abführung von Wärmeenergie von jeder Anzeigeschicht **32**, **34**, **36** an das Gas **12**, was wiederum auf dem Wärmeübertragungs-Koeffizienten des Gases **12** beruht. Wenn ein erstes Gas z. B. einen hohen Wärmeübertragungs-Koeffizienten aufweist, wie Wasserstoff (14,38 kJ/kg·K spezifische Wärmekapazität und 0,168 W/m·K thermische Leitfähigkeit), dann würde dies in einer geringeren Temperaturänderung in der Anzeigeschicht **32** resultieren, weil das Gas leicht thermische Energie von der hohlen Kammer absorbiert und die hohle Leitung und die Bragg-Fasergitter erwärmt und somit einer hohen Dehnungsempfindlichkeit für das Material der Anzeigeschicht **32** erforderlich wäre, um eine Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge zu induzieren, die größer als die erforderliche Minimalverschiebung ist z. B. 1–10 pm. Ein Beispiel eines solchen Materials mit einem hohen Koeffizienten der thermischen Ausdehnung (CTE) wäre z. B. Zn, Pb, Sn und/oder Al. Als ein anderes Beispiel würde, wenn ein zweites Gas einen mittleren Wärmeübertragungs-Koeffizienten aufweist, wie Methan (CH₄) (2,18 kJ/kg·K spezifische Wärmekapazität und 0,033 W/m·K thermische Leitfähigkeit), die Wärmeenergieabführung in einer mittleren Temperaturänderung in der Anzeigeschicht **34** resultieren und somit würde nur eine mittlere Dehnungsempfindlichkeit für das Material der Anzeigeschicht **34** erforderlich sein, um eine Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge zu erzielen, die größer ist als die erforderliche Minimalverschiebung, wie z. B. 10–50 pm. Ein Beispiel eines solchen Materials mit einem mittleren Koeffizienten der Wärmeausdehnung (CTE) wäre z. B. Ag, Au und Cu. Als ein anderes Beispiel würde, wenn ein drittes Gas einen geringen Wärmeübertragungs-Koeffizienten aufweist, wie Kohlendioxid (0,84 kJ/kg·K spezifische Wärmekapazität und etwa 0,015 W/m·K thermische Leitfähigkeit), die Wärmeenergieabführung in einer hohen Temperaturänderung in der Anzeigeschicht **36** resultieren und somit könnten viele verschiedene Materialien benutzt werden, um mit dem Bragg-Fasergitter zu integrieren, um einen Gassensor mit genügend thermischer Empfindlichkeit zu bilden, um eine Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge zu induzieren, die größer ist als die erforderliche Minimalverschiebung, wie z. B. 50–100 pm. Ein Beispiel eines solchen Materials mit einem geringen CTE wäre z. B. Ni, Co und Pd.

[0032] **Fig. 4** veranschaulicht eine grafische Darstellung einer normalisierten Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge in Abhängigkeit von einer normalisierten Änderung in der Temperatur der entsprechenden Anzeigeschicht **32**, **34**, **36** für eine variierende Dicke eines Anzeigeschichtmaterials, wie z. B. eines Materials auf Nickelbasis. Die Neigung der Kurve in **Fig. 4** zeigt die thermische Empfindlichkeit des Fasergassensors, wie eines mit einer Nickel-Anzeigeschicht integrierten Bragg-Fasergitters, an, dessen Temperaturempfindlichkeit etwa 11,3 pm/°C und dessen Dehnungsempfindlichkeit die thermische Empfindlichkeit eines Fasergassensors von 11,3 pm/°C auf 16,5 pm/°C erhöhen könnte, wenn die Dicke der Nickel-Anzeigeschicht von z. B. 0,5 µm auf 20 µm erhöht würde. In einem anderen Beispiel könnte ein anderes Material als Anzeigeschicht benutzt werden, wie z. B. Zink. Die thermische Empfindlichkeit eines mit einer Zink-Anzeigeschicht integrierten Bragg-Fasergitters variiert von 11,4 pm/°C bis 18,7 pm/°C, wenn die Dicke der Zink-Anzeigeschicht von z. B. 0,5 µm auf 20 µm erhöht wird. Es ist klar, dass die Dehnungswirkung der Anzeigeschicht die thermische Empfindlichkeit eines Fasergassensors um 50–60% erhöhen könnte. Für das erste Gas mit einem hohen Wärmeübertragungs-Koeffizienten (z. B. Wasserstoff, Helium), kann die erste Anzeigeschicht **32** entworfen sein, um aus einem 20 µm dicken Zinkmaterial mit einer Dehnungsempfindlichkeit von 18,7 pm/°C hergestellt zu werden. Als ein anderes Beispiel kann für das zweite Gas mit dem mittleren Wärmeübertragungs-Koeffizienten die zweite Anzeigeschicht **34** entworfen sein, um aus einem 5 µm dicken Kupfermaterial mit einer Dehnungsempfindlichkeit von 13,3 pm/°C hergestellt zu sein. Als ein anderes Beispiel kann für das dritte Gas mit dem geringen Wärme-

übertragungs-Koeffizienten die dritte Anzeigeschicht **36** entworfen sein, aus einem 1 µm dicken Nickelmaterial mit einer thermischen Empfindlichkeit von 11,5 pm/°C hergestellt zu sein, wobei der Beitrag des Dehnungseffektes geringer als 5% ist. Die Art des Materials und die Dicke jeder Anzeigeschicht **32**, **34**, **36** kann daher auf der Grundlage des Wärmeübertragungs-Koeffizienten eines oder mehrerer entsprechender Gase individuell eingestellt sein, wobei jede entsprechende Anzeigeschicht benutzt wird, um die Verschiebung der Bragg-Resonanzwellenlänge zu induzieren, um ein oder mehrere entsprechende(s) Gas(e) zu identifizieren. Obwohl die obige Beschreibung spezifische numerische Wellenlängenverschiebungen und Temperaturänderungen für spezifische Anzeigeschichtmaterialien angibt, sind die Ausführungsformen nicht auf diese beispielhaften Anzeigeschichtmaterialien beschränkt und schließen alle Anzeigeschichtmaterialien und Dicken ein, um eine angemessene thermische Dehnungsempfindlichkeit für ein Gas oder eine Kategorie von Gasen bereitzustellen.

Anzeige-Materialien	Young's Modul (GPa)	Koeffizient der thermischen Ausdehnung CTE ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	Poisson-Verhältnis
Co	211	12,5	0,32
Ni	199,5	13,3	0,312
Zn	104,5	31	0,249
Cu	129,8	17	0,343
Al	70,6	23,5	0,345
Ag	83	18,9	0,37
Au	78,5	14,1	0,42
Sn	49,9	23,5	0,357
Cr	279	6,5	0,21
Pb	16,1	29	0,44
Pt	158	8,8	0,38
Pd	121	11,8	0,39

TABELLE 1

[0033] Um ein mit Anzeigematerial integriertes Bragg-Fasergitter als einen Fasergassensor (FGS) dahingehend zu entwerfen, dass er eine maximale Ansprechamplitude auf ein Gas hat, ist die thermische Empfindlichkeit eines Fasergassensors eine Kombination von: CTE, Elastizitätsmodul und Poisson-Verhältnis. Je höher der CTE und Young's Modul, je höher ist die thermische Empfindlichkeit eines Fasergassensors, während das Poisson-Verhältnis eine geringere Auswirkung hat. Tabelle 1 gibt einige der Materialien an, die als Anzeigematerialien benutzt werden könnten. Der Koeffizient der thermischen Ausdehnung (CTE) ist für verschiedene Arten von Material angegeben, die zum Bilden jeder Anzeigeschicht **32**, **34**, **36** eingesetzt werden können. Der CTE zeigt die thermische Dehnungsempfindlichkeit jedes Materials an. Wie in Tabelle 1 gezeigt, ist der CTE für Zink $31 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, während der CTE für Nickel $13,3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ist, was mit der obigen Erläuterung übereinstimmt, dass die thermische Dehnungsempfindlichkeit von Zink größer ist als die thermische Dehnungsempfindlichkeit von Nickel. Obwohl Tabelle 1 den CTE für verschiedene Materialien aufführt, sind die Ausführungsformen nicht auf diese Materialien beschränkt, sondern schließen irgendeine Art von Material ein, das zum Bilden der Anzeigeschichten eingesetzt werden kann, wie z. B. Diamant, diamantartiger Kohlenstoff und Carbide.

[0034] Während einer Entwurfsphase des Anzeigemoduls **10** wird, um die Gitterstellen **26**, **28**, **30** innerhalb der hohlen Kammer **14** zu bestimmen, um die Anzeigeschichten **32**, **34**, **36** zu positionieren, eine Reihe von Temperatursensoren, wie (nicht gezeigten) Thermoelementen an inkrementalen Stellen der hohlen Kammer **14** angeordnet. Wird jedes Gas mit einer festgelegten Strömungsrate durch die hohle Kammer **14** geschickt, dann messen die Temperatursensoren eine Temperatur jedes Gases an jeder Stelle. Die Gitterstellen **26**, **28**, **30** werden auf der Grundlage einer Stelle des Temperatursensors bestimmt, bei der die entsprechende Temperatur jedes Gases den größten Bereich/die größte Varianz aufweist. Sollen z. B. Stickstoff- und Wasserstoffgas durch das Anzeigemodul **10** identifiziert werden und stellt der Temperatursensor fest, dass der Temperaturunterschied zwischen dem Wasserstoff- und dem Stickstoffgas maximal an einer zentralen Stelle der hohlen Kammer **14** ist, dann kann eine Gitterstelle derart ausgewählt werden, dass sie mit der zentralen Stelle der hohlen Kammer **14** zusammenfällt.

[0035] **Fig. 5** veranschaulicht eine grafische Darstellung einer normalisierten thermischen Empfindlichkeit der Anzeigeschicht **32, 34, 36**, wobei die integrierten Bragg-Fasergitter **20, 22, 24** gegen die normalisierte Dicke der Anzeigeschicht **32, 34, 36** aufgetragen ist, wobei die Dicke der Anzeigeschicht **32, 34, 36** für verschiedene Arten von Anzeigeschichtmaterialien zunimmt. Wie oben mit Bezug auf den CTE und Elastizitätsmodul in Tabelle 1 erläutert, beeinflusst die Art von Material, die zum Bilden der Anzeigeschicht **32, 34, 36** benutzt wird, die thermische Empfindlichkeit des Fasergassensors aufgrund der Dehnungswirkung bei der gleichen Dicke. Wie in **Fig. 5** gezeigt, nimmt die thermische Empfindlichkeit jedes Fasergassensors zu, wenn die Dicke der Anzeigeschicht entsprechend zunimmt.

[0036] **Fig. 6** veranschaulicht eine Temperatur-Kontur-Ansicht des Fasergassensors in der hohlen Kammer, wobei die normalisierte Temperatur innerhalb der hohlen Kammer **14** durch eine Grauskala angegeben ist. Die erste Anzeigeschicht **32** ist mit einer hohen Dehnungsempfindlichkeit entworfen, um die Verschiebung der Bragg-Resonanzwellenlänge als Reaktion auf ein Gas **60** mit einer konvektiven Wirkung innerhalb eines Bereiches eines hohen Wärmeübertragungs-Koeffizienten zu induzieren, und die zweite Anzeigeschicht **34** ist mit einer genügenden Dehnungsempfindlichkeit entworfen, um die Verschiebung der Bragg-Resonanzwellenlänge als Reaktion auf ein Gas **56** mit einem konvektiven Effekt innerhalb eines Bereiches geringen Wärmeübertragungs-Koeffizienten zu induzieren. So veranschaulicht z. B. die obere Ansicht von **Fig. 6** die thermische Kontur des Bragg-Fasergitters **20, 22, 24** in der hohlen Kammer **14** als Reaktion auf die konvektive Wirkung des Gases **60** innerhalb des Bereiches eines hohen Wärmeübertragungs-Koeffizienten, wie z. B. Wasserstoffgas. Der hohe Wärmeübertragungs-Koeffizient des Wasserstoffgases kann die thermische Energie von sowohl den Anzeigeschichten **32, 34, 36** als auch der hohlen Kammer **14** leicht entfernen. In diesem dynamischen thermischen Prozess kann der Strom des Gases **60** Wärmeenergie von der hohlen Kammer **14** relativ rasch absorbieren und hat so eine relativ geringe Änderung in der Temperatur des Bragg-Fasergitters **20** und eine noch geringere Änderung in der Temperatur der Bragg-Fasergitter **22, 24** entlang der Länge der hohlen Führung induziert.

[0037] Demgemäß ist die erste Anzeigeschicht **32**, die zum Nachweis des Gases **60** mit hohem Wärmeübertragungs-Koeffizienten vorgesehen ist, mit einer hohen Dehnungsempfindlichkeit (d. h., einer hohen thermischen Ausdehnungscharakteristik und/oder größerer Dicke) entworfen, um die Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge zu induzieren, die für den hohen Wärmeübertragungs-Koeffizienten charakteristisch ist, wobei die induzierte Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge größer als eine Schwellenverschiebung ist, die für den Nachweis erforderlich ist, z. B. 1–10 pm. Im Gegensatz dazu veranschaulicht die untere Ansicht von **Fig. 6** die thermische Kontur der Fasergassensoren in der hohlen Kammer **14** als Reaktion auf das Gas **56** mit einem geringen Wärmeübertragungs-Koeffizienten, wie z. B. Kohlendioxid. Der geringe Wärmeübertragungs-Koeffizient des Kohlendioxidgases hat weniger thermische Energie von der hohlen Kammer absorbiert, absorbiert jedoch leicht thermische Energie von den Anzeigeschichten **32, 34, 36**, verglichen mit dem Wasserstoffgas in der oberen Ansicht, und hat somit eine relativ größere Änderung in der Temperatur der Anzeigeschichten **32, 34, 36** induziert. Demgemäß ist die zweite Anzeigeschicht **34**, die zum Nachweisen des Gases **56** mit dem geringen Wärmeübertragungs-Koeffizienten vorgesehen ist, mit einer geringen bis mittleren Dehnungsempfindlichkeit (d. h., geringer bis mittlerem CTE, elastischem Modul und/oder weniger als 10 µm Dicke) entworfen, um die Reaktionsamplitude oder Verschiebung der Bragg-Resonanzwellenlänge zu induzieren, die charakteristisch ist für Gas mit dem geringen Wärmeübertragungs-Koeffizienten, wobei die induzierte Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge größer ist als eine Schwellenverschiebung, die für den Gasnachweis erforderlich ist.

[0038] Wie bereits erläutert, schließt das Anzeigemodul **10** die Verarbeitungseinheit oder den Fotodetektor **112** ein, um die entsprechende Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge von jedem entsprechenden Bragg-Fasergitter **20, 22, 24** oder entsprechenden Fasergassensoren nachzuweisen. Das Anzeigemodul **10** schließt den Prozessor oder Regler **114**, der mit der Verarbeitungseinheit **112** gekoppelt ist, ein, um in entweder einem Kalibrierungs/Impuls-Modus oder in einem Identifizierungs/kontinuierlichen Modus zu arbeiten. Im Identifizierungsmodus identifiziert der Prozessor **114** das Gas **12** innerhalb der hohlen Kammer **14** auf der Grundlage eines Vergleiches der nachgewiesenen Reaktionsamplitude oder Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge (empfangen von der Verarbeitungseinheit **112**) mit einer vorbestimmten Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge für eine Vielzahl bekannter Gase. Bevor das Anzeigemodul **10** jedoch zum Identifizieren des Gases **12** benutzt wird, wird der Prozessor **114** in den Kalibrierungsmodus geschaltet, während dem die vorbestimmten Verschiebungen der Bragg-Resonanzwellenlänge für jedes bekannte Gas im Speicher des Prozessors **114** gespeichert sind. Wie oben erläutert, schließt das Anzeigemodul **10** ein Strömungsmessgerät **11** ein, das die Strömungsrate, mit der das Gas **12** durch die hohle Kammer **14** strömt, einstellbar variiert. Während des Kalibrierungsmodus schließt eine erste Art der Kalibrierung oder Grundlinienbestimmung eines Gases das Hindurchführen eines bekannten Gases durch die hohle Kammer **14** bei verschiedenen Strö-

mungsraten ein. Spezifisch wird ein bekanntes Gas separat durch Einstellen des Strömungsmessgerätes **11** bei einer Anzahl verschiedener Strömungsraten in die hohle Kammer **14** gerichtet. Während das bekannte Gas durch die hohle Kammer **14** strömt, induziert der thermische Austausch zwischen dem bekannten Gas und den Anzeigeschichten **32, 34, 36** die Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge jedes entsprechenden Bragg-Fasergitters **20, 22, 24**, die nachgewiesen und im Speicher des Prozessors **114** für jede entsprechende Strömungsrate und jedes entsprechende Bragg-Fasergitter **20, 22, 24** gespeichert ist. Danach, wenn der Prozessor **114** in den Identifizierungsmodus geschaltet ist und das Testgas **12** durch die hohle Kammer **14** strömt, dann identifiziert der Prozessor **114** das Gas **12** durch Vergleichen der nachgewiesenen Verschiebung der Bragg-Wellenlänge mit jeder gespeicherten Verschiebung der Bragg-Resonanzwellenlänge für jedes bekannte Gas bei jeder entsprechenden Strömungsrate. So kann z. B. Wasserstoff eine Verschiebung von 100 pm nach unten für eine Strömungsrate von 500 Standard-Kubikzentimeter pro Minute (sccm) induzieren, während eine binäre Mischung von Luft und Kohlendioxid eine Verschiebung von 300–1100 pm nach unten bei der gleichen Strömungsrate induzieren kann.

[0039] Während des Kalibrierungsmodus schließt eine zweite Kalibrierung oder Grundlinienbestimmung eines Gases mehrere Gase ein, die einzeln bei einer festgelegten Strömungsrate in die hohle Kammer **14** geleitet werden. Die Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge für jedes entsprechende Gas bei der festgelegten Strömungsrate wird gemessen und im Speicher des Prozessors **114** gespeichert. Danach, im Identifizierungsmodus, identifiziert der Prozessor **114** das Gas **12** auf der Grundlage des Vergleiches der nachgewiesenen Verschiebung der Bragg-Resonanzwellenlänge mit jeder gespeicherten Verschiebung der Resonanzwellenlänge für jedes entsprechende Gas bei der festgelegten Strömungsrate. **Fig. 7** veranschaulicht die Resultate sowohl der Kalibrierungs- oder Grundlinienbestimmungs-Techniken, die oben erläutert wurden als auch die resultierenden, im Speicher des Prozessors **114** gespeicherten normalisierten Verschiebungen der Bragg-Resonanzwellenlänge. Benutzt man die erste Kalibrierung für das erste Gas **56**, dann ergab der Kalibrierungsmodus eine normalisierte Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge von $-0,57$ (-700 pm), $-0,67$ (-800 pm), $-0,80$ (-950 pm), $-0,83$ (-1000 pm) und $-0,85$ (-1050 pm) für die entsprechenden Strömungsraten von 500 sccm, 600 sccm, 700 sccm, 800 sccm und 900 sccm. In einer beispielhaften Ausführungsform ist die Temperatur des thermischen Stabilisators auf 140°C (284°F) festgesetzt und die Verschiebung der Bragg-Resonanzwellenlänge des zweiten Bragg-Fasergitters **22** oder Fasergassensors wird benutzt. Der Kalibrierungsmodus ist jedoch nicht auf diese experimentelle Ausführungsform beschränkt und kann verschiedene Temperaturfestlegungen des thermischen Stabilisators **46**, ebenso wie verschiedene Bragg-Gitter **20, 22, 24** oder Fasergassensoren zum Messen der Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge benutzen. Unter Benutzung der zweiten Kalibrierung für ein erstes Gas **56**, ein zweites Gas **58** und ein drittes Gas **60** bei einer festgelegten Strömungsrate von 900 sccm ergab der Kalibrierungsmodus eine entsprechende normalisierte Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge von $-0,85$ (-1050 pm), $-0,67$ (-800 pm) bzw. $-0,15$ (-150 pm). In einer beispielhaften Ausführungsform sind das erste Gas **56**, das zweite Gas **58** und das dritte Gas **60** z. B. Kohlendioxid, reines Stickstoffgas und reines Wasserstoffgas. Obwohl **Fig. 7** Kalibrierungsdaten für spezifische Gase angibt, sind die Ausführungsformen nicht auf diese spezifischen Gase beschränkt und schließen die Sammlung von Kalibrierungsdaten für irgendein durch das Sensorsystem zu identifizierendes Gas ein.

[0040] Obwohl **Fig. 7** die Resultate des Kalibrierungsmodus einschließlich der Reaktionsamplituden mit verschiedenen reinen Einkomponentengasen in einem alternativen Zyklustest mit drei Gasen veranschaulicht, ist das Anzeigemodul **10** nicht auf die Identifizierung reiner Gase beschränkt und schließt die Identifizierung binärer Gase und von Mehrkomponentengasen ein. Der Kalibrierungs- oder Impulsmodus des Prozessors **114** schließt den Gebrauch eines bekannten reinen Einkomponentengases, eines binären zweikomponentengases (mit einer bekannten Konzentration von mehreren reinen Gasen) oder sogar eines Mehrkomponentenmultigases und das Leiten der bekannten Gasmischung bei einer festgelegten Strömungsrate in die hohle Kammer **14** ein. Wie bei der Kalibrierung mit reinem Gas, wird die Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge gemessen und im Speicher des Prozessors **114** für die bekannte Konzentration des bekannten binären Gases gespeichert. Diese Stufen werden für jede Konzentration des binären Gases oder Multigases wiederholt, das Gegenstand der Identifizierung durch das Anzeigemodul **10** sein kann, und sie werden für jedes binäre Gas oder Multigas wiederholt, das Gegenstand der Identifizierung durch das Anzeigemodul **10** sein kann.

[0041] Danach, im Identifizierungsmodus, identifiziert der Prozessor **114** die Konzentration einer Gaszusammensetzung, die in die hohle Kammer **14** geleitet wird, auf der Grundlage eines Vergleiches der nachgewiesenen Verschiebung der Bragg-Resonanzwellenlänge des binären Gases oder Multigases mit jeder gespeicherten Verschiebung der Bragg-Resonanzwellenlänge für jede entsprechende Konzentration aller bekannten Gase bei der festgelegten Strömungsrate. **Fig. 8** veranschaulicht eine beispielhafte Ausführungsform der Resultate der Kalibrierung der Verschiebungen der normalisierten Bragg-Resonanzwellenlänge für ein binäres oder ein Multigas. In einer beispielhaften Ausführungsform schließt ein Schema, das zum Erhalt der Kalibrie-

rungsdaten von [Fig. 8](#) benutzt wurde, das Festlegen der Temperatur des thermischen Stabilisators **46** auf 140°C (284°F) und das Festlegen der Strömungsrate der verschiedenen Konzentrationen des binären Gases auf 600 sccm ein. Die Ausführungsformen sind jedoch nicht auf dieses spezifische experimentelle Schema beschränkt und sie können die Temperatur des thermischen Stabilisators **46** und/oder die Strömungsrate des binären Gases oder Multigas durch die hohle Kammer **14** variieren. Spezifisch wird die Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge für eine erste Konzentration **62**, eine zweite Konzentration **64** und eine dritte Konzentration **66** für ein bekanntes binäres oder Multigas bei einer festgelegten Strömungsrate gemessen. In einer beispielhaften Ausführungsform ist das bekannte binäre Gas H₂ + CO₂ und die Konzentrationen betragen 9–10% H₂ in 90–91% CO₂ (erste Konzentration), 5–6% H₂ in 94–95% CO₂ (zweite Konzentration) und 3–4% H₂ in 96–97% CO₂ (dritte Konzentration). Obwohl [Fig. 8](#) spezifische normalisierte Kalibrierungsdaten für ein spezifisches binäres Gas veranschaulicht, sind die Ausführungsformen nicht auf dieses spezifische binäre Gas beschränkt und schließen die Sammlung von Kalibrierungsdaten für irgendein binäres Gas ein, das durch das System zum Nachweisen von Gas zu identifizieren ist. In einer beispielhaften Ausführungsform können die normalisierten Bragg-Resonanzwellenlängen von dieser Binärgas-Kalibrierung benutzt werden, um die Konzentration einer Gasmischung von einem Generatorgehäuse in einem Generator zu identifizieren, bevor der Generator geöffnet wird, um sicherzustellen, dass die relative Konzentration von Wasserstoffgas z. B. geringer als 5% ist.

[0042] Wie oben erläutert, tritt das Gas **12** nach dem Hindurchgehen durch die hohle Kammer **14** durch den Auslass **27** aus dem Anzeigemodul **10** aus. Auf der Grundlage der thermischen Abführung der Wärmeenergie von den Anzeigeschichten **32, 34, 36** an das Gas **12** ist die Temperatur der Anzeigeschichten **32, 34, 36** von der anfänglichen Betriebstemperatur auf einen stabilisierten thermischen Status verringert. In einer beispielhaften Ausführungsform kann das Bragg-Fasergitter **20** eine relativ große Verschiebung der Wellenlänge nach unten induzieren, das Bragg-Fasergitter **22** kann eine relativ mittlere Verschiebung der Wellenlänge nach unten induzieren und das Bragg-Fasergitter **24** kann eine relativ geringe Verschiebung der Wellenlänge nach unten induzieren. Eine solche thermische Reaktionsdynamik wird durch die thermischen Konturen der hohlen Kammer **14** bestimmt, die zum Identifizieren von Gaszusammensetzungen benutzt werden, wenn das Anzeigematerial keine chemische Empfindlichkeit aufweist. Nachdem das Gas **12** aus der hohlen Kammer **14** und dem Auslass **27** ausgetreten ist, hält der thermische Stabilisator **46** die thermische Stabilität des Anzeigemoduls **10** bei einem neuen thermischen Gleichgewichtsstatus aufrecht, der zwischen der ersten und der zweiten Temperatur liegt. Im Impuls/Kalibrierungs-Modus und während des Betriebes des Anzeigemoduls **10**, wenn kein Gas durch die Kammer **14** strömt, kehrt die Temperatur der Anzeigeschichten **32, 34, 36** zur Betriebstemperatur oder ersten Temperatur zurück, bevor ein nachfolgendes Gas zur Gasidentifizierung in die hohle Kammer **14** eingeführt wird.

[0043] [Fig. 9](#) veranschaulicht eine ähnliche grafische Darstellung wie [Fig. 8](#) mit der Ausnahme, dass das binäre Gas eine relativ hohe Konzentration an Wasserstoffgas und eine relativ geringe Konzentration an Kohlendioxid aufweist. Zusätzlich wird, wie in [Fig. 9](#) veranschaulicht, die Konzentration des binären Gases stufenweise um 1% variiert, nachdem das Anzeigemodul **10** die Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge von den Bragg-Fasergittern **20, 22, 24** gemessen hat. Wie in [Fig. 9](#) veranschaulicht, variiert der Konzentrationsbereich des binären Gases von 18% Kohlendioxid in 82% Wasserstoff bis zu 0% Kohlendioxid in 100% Wasserstoff in 1%igen Stufen (d. h., Kohlendioxid wird um 1% vermindert und Wasserstoff um 1% erhöht). Das Anzeigemodul **10** ist in der Lage, die Wellenlängenverschiebung der Bragg-Resonanzwellenlänge für diese stufenweisen Änderungen im binären Gas zu messen. Die binäre Konzentrationsmischung von z. B. 6% Kohlendioxid in 94% Wasserstoff resultiert in einer Verschiebung der Bragg-Resonanzwellenlänge von 30 pm, während die binäre Konzentrationsmischung von 5% Kohlendioxid in 95% Wasserstoff in einer Verschiebung der Bragg-Resonanzwellenlänge von 33 pm resultiert, nachgewiesen z. B. durch das System **100**. [Fig. 9](#) ist lediglich beispielhaft und die Ausführungsformen sind weder auf die relativen Konzentrationsbereiche für Kohlendioxid/Wasserstoff beschränkt, die in [Fig. 9](#) gezeigt sind, noch auf die numerischen Wellenlängenverschiebungen, die in der grafischen Darstellung repräsentiert sind. Die in [Fig. 9](#) gezeigten Resultate können in ähnlicher Weise für irgendeine Art von Analyse einer binären Gasmischungs-Zusammensetzung erzeugt werden.

[0044] Während verschiedene Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung hierin gezeigt und beschrieben wurden, sollte klar sein, dass solche Ausführungsformen nur beispielhaft angegeben sind. Es können zahlreiche Variationen, Änderungen und Substitutionen vorgenommen werden, ohne von der Erfindung hierin abzuweichen. Demgemäß soll die Erfindung nur durch den Geist und Umfang der beigefügten Ansprüche beschränkt sein.

[0045] Es wird ein System **100** zum Nachweisen von Gas zum Identifizieren eines Gases **12** angegeben. Das System **100** zum Nachweisen von Gas schließt ein Anzeigemodul **10** mit einer hohlen Kammer **14** ein, die

von einem Kammergehäuse **16** eingeschlossen ist. Das Anzeigemodul **10** schließt eine optische Anzeigefaser **18** ein, die innerhalb der hohlen Kammer **14** angeordnet ist. Die optische Anzeigefaser **18** schließt einen Gas-sensor **20**, der ein Bragg-Fasergitter **20** einschließt, das an einer Gitterstelle **26** entlang der optischen Anzeigefaser **18** positioniert ist, und eine Anzeigeschicht **32** ein, die an einer äußeren Oberfläche **38** der optischen Anzeigefaser **18** an der Gitterstelle **26** befestigt ist. Nachdem das Gas **12** in die hohle Kammer **14** eingeführt ist, tauschen die Anzeigeschicht **32** und das Gas **12** Wärmeenergie aus, beruhend teilweise auf einem Wärmeübertragungs-Koeffizienten des Gases **12**. Der Austausch der Wärmeenergie induziert eine Verschiebung in einer Bragg-Resonanzwellenlänge des Bragg-Fasergitters **20**, die eine Schwellenverschiebung übersteigt, die für den Nachweis erforderlich ist, wobei die Verschiebung zum Identifizieren des Gases **12** benutzt wird.

Bezugszeichenliste

10	Anzeigemodul
11	Strömungsmessgerät
12	Gas
13	Einlass
14	hohle Kammer
15	thermischer Radiator
16	Kammergehäuse
17	vordere hohle Kammer
18	optische Anzeigefaser
20	Bragg-Fasergitter
22	Bragg-Fasergitter
24	Bragg-Fasergitter
26	Gitterstellen
27	Auslass
28	Gitterstellen
30	Gitterstellen
31	Anzeigerechen
32	Anzeigeschichten
33	Bindeschicht
34	Anzeigeschichten
35	Bindeschicht
36	Anzeigeschichten
36	Anzeigeschicht
37	Bindeschicht
38	äußere Oberfläche
39	Schutzschicht
41	Schutzschicht
43	Schutzschicht
46	thermischer Stabilisator
48	äußere Oberfläche
50	Dicke
52	Dicke
54	Dicke
56	erstes Gas
58	zweites Gas
60	Gas (4)
62	erste Konzentration
64	zweite Konzentration
66	dritte Konzentration
100	System zum Nachweisen von Gas
102	optische Breitbandquelle
104	optischer Koppler
106	Faserkabel
110	Anzeigemodulgehäuse
112	Photodetektor
114	Prozessor

Patentansprüche

1. System (100) zum Nachweisen von Gas zum Identifizieren eines Gases (12), umfassend mindestens ein Anzeigemodul (10), einschließlich:
eine hohle Kammer (14), die von einem Kammergehäuse (16) eingeschlossen ist,
eine optische Anzeigefaser (18), die innerhalb der hohlen Kammer (14) angeordnet ist, wobei die optische Anzeigefaser (18) einen Gassensor umfasst, einschließlich
ein Bragg-Fasergitter (20), das an einer Gitterstelle (26) entlang der Faser (18) angeordnet ist, und
eine Anzeigeschicht (32), die an einer äußeren Oberfläche (38) der optischen Faser (18) an der Gitterstelle (26) befestigt ist,
wobei die Anzeigeschicht (32) des Gassensors und das Gas (12) dazu eingerichtet sind, Wärmeenergie auszutauschen, wenn das Gas (12) in die hohle Kammer (14) geleitet ist, zumindest teilweise basierend auf einem Wärmeübertragungs-Koeffizienten des Gases (12), wobei dieser Austausch der Wärmeenergie dazu dient, eine Verschiebung in einer Bragg-Resonanzwellenlänge des Bragg-Fasergitters des Gassensors zu induzieren, die eine Schwellenverschiebung übersteigt, die zum Nachweise erforderlich ist, wobei die genannte Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge zum Identifizieren des Gases (12) zu benutzen ist.
2. System (100) zum Nachweisen von Gas nach Anspruch 1, worin das mindestens eine Anzeigemodul (10) weiter einen thermischen Stabilisator (46) einschließt, der an einer äußeren Oberfläche (48) des Kammergehäuses (16) angebracht und konfiguriert ist, die Anzeigeschicht (32) und die optische Faser (18) in Abwesenheit des Gases (12) bei einer ersten Temperatur zu halten.
3. System (100) zum Nachweisen von Gas nach Anspruch 2, weiter umfassend einen Gasinjektions-Mechanismus, der konfiguriert ist, das Gas (12) mit einer anfänglichen zweiten Temperatur in die hohle Kammer (14) zu leiten, wobei sich die zweite Temperatur von der ersten Temperatur unterscheidet und wobei der Austausch der Wärmeenergie auf einer Temperaturdifferenz zwischen der zweiten Temperatur und der ersten Temperatur und einem Wärmeübertragungs-Koeffizienten eines Materials der Anzeigeschicht (32) beruht.
4. System (100) zum Nachweisen von Gas nach Anspruch 1, worin der Austausch der Wärmeenergie eine Ableitung der Wärmeenergie von der Anzeigeschicht (32) zum Gas (12) ist, wobei diese Ableitung der Wärmeenergie konfiguriert ist, eine Dehnung in der Anzeigeschicht (32) und in dem Bragg-Fasergitter (20) zu induzieren, wobei die Dehnung auf mindestens einem von einer thermischen Expansionscharakteristik eines Materials der Anzeigeschicht (32) und einer Dicke (50) des Materials der Anzeigeschicht (32) beruht.
5. System (100) zum Nachweisen von Gas nach Anspruch 4, worin das Anzeigematerial der Anzeigeschicht (32) derart ausgewählt ist, dass die thermische Expansionscharakteristik des Materials und die Dicke (50) des Materials eine Dehnung in der Anzeigeschicht (32) und in dem Bragg-Fasergitter (20) induzieren, die genügt, um eine Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge zu induzieren, die größer ist als die Schwellenverschiebung, die zum Gasnachweis erforderlich ist.
6. System (100) zum Nachweisen von Gas nach Anspruch 1, worin die optische Anzeigefaser (18) mehrere Fasergassensoren einschließt, die mehrere Bragg-Gitter (20, 22, 24) einschließen, die sich im Abstand auf einer Vielzahl entsprechender Gitterstellen (26, 28, 30) befinden, worin eine entsprechende Anzeigeschicht (32, 34, 36) an der äußeren Oberfläche (38) der optischen Faser (18) an jeder entsprechenden Gitterstelle (26, 28, 30) befestigt ist, mindestens eine Anzeigeschicht (32, 34, 36) mindestens eines Fasergassensors mit einer thermischen Empfindlichkeit konfiguriert ist, um Gas (12) nachzuweisen, das einen Wärmeübertragungs-Koeffizienten innerhalb eines Bereiches aufweist, worin ein entsprechender Austausch von Wärmeenergie zwischen der mindestens einen Anzeigeschicht (32, 34, 36) und dem Gas (12) innerhalb des Bereiches des Wärmeübertragungs-Koeffizienten konfiguriert ist, eine Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge des Bragg-Fasergitters (20, 22, 24) des Fasersensors für das Gas (12) an der entsprechenden Gitterstelle (26, 28, 30) zu induzieren, die eine Schwellenverschiebung übersteigt, die zum Nachweisen des Gases (12) innerhalb des Bereiches des Wärmeübertragungs-Koeffizienten erforderlich ist.
7. Sensorsystem (100) nach Anspruch 6, worin das System (100) zum Nachweisen von Gas zum Identifizieren eines einer Vielzahl von Gasen ist, wobei der entsprechende Austausch der Wärmeenergie eine Ableitung der Wärmeenergie von der mindestens einen Anzeigeschicht (32, 34, 36) ist, um eine entsprechende Dehnung in der mindestens einen Anzeigeschicht (32, 34, 36) und in dem entsprechenden Bragg-Fasergitter (20, 22, 24) des mindestens einen Fasergassensors zu induzieren, wobei die entsprechende Dehnung auf mindestens einem von einer thermischen Ausdehnungscharakteristik eines entsprechenden Materials der mindestens einen Anzeigeschicht (32, 34, 36) und einer entsprechenden Dicke (50, 52, 54) des entsprechenden Materials beruht.

8. System (100) zum Nachweisen von Gas nach Anspruch 7, worin das entsprechende Material der mindestens einen Anzeigeschicht (32, 34, 36) und die entsprechende Dicke (50, 52, 54) der mindestens einen Anzeigeschicht (32, 34, 36) derart ausgewählt sind, dass die entsprechende Dehnung in der mindestens einen Anzeigeschicht (32, 34, 36) und dem mindestens einen Bragg-Fasergitter (20, 22, 24) des mindestens einen Fasergassensors genügen, um eine Verschiebung in der entsprechenden Bragg-Resonanzwellenlänge des mindestens einen Bragg-Fasergitters (20, 22, 24) zu induzieren, die eine Schwellenverschiebung übersteigt, die zum Gasnachweis erforderlich ist.

9. System (100) zum Nachweisen von Gas nach Anspruch 6, worin das System (100) zum Nachweisen von Gas weiter einen Photodetektor (112) umfasst, der konfiguriert ist, die entsprechende Verschiebung in der Bragg-Resonanzwellenlänge für jeden Fasergassensor nachzuweisen.

10. System (100) zum Nachweisen von Gas nach Anspruch 2, worin die Temperatur der Anzeigeschicht (32) und des Fasergassensors von der ersten Temperatur auf der Grundlage der Ableitung der Wärmeenergie von der Anzeigeschicht (32) zum Gas (12) verringert wird, und worin nach dem Austritt des Gases aus der hohlen Kammer (14) der thermische Stabilisator (46) konfiguriert ist, den Fasergassensor und die hohle Kammer (14) wieder auf die erste Temperatur zu erhitzen, um die Grundlinie des Fasergassensors zu erreichen, bevor das zweite Gas in die hohle Kammer (14) geleitet wird.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

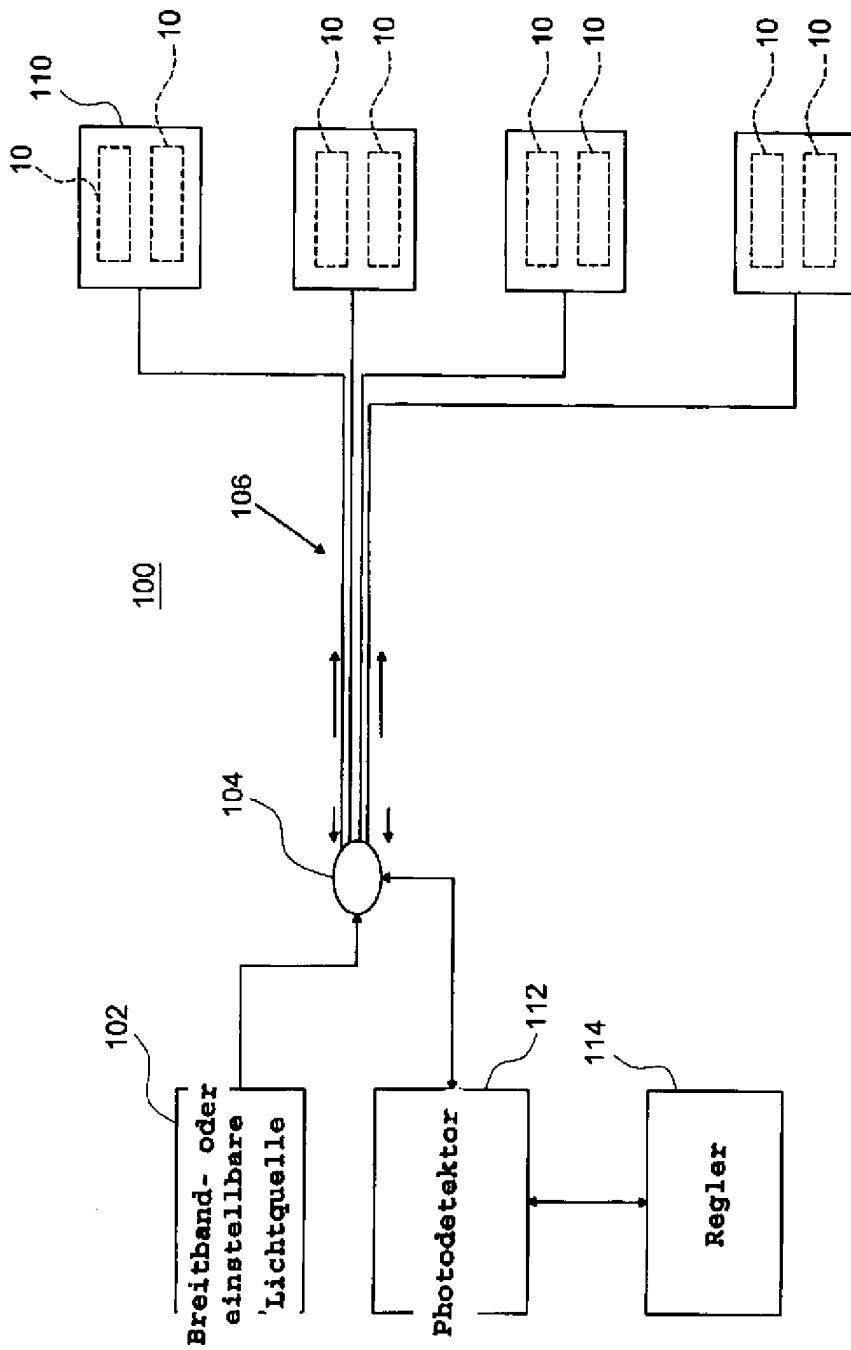


FIG. 1

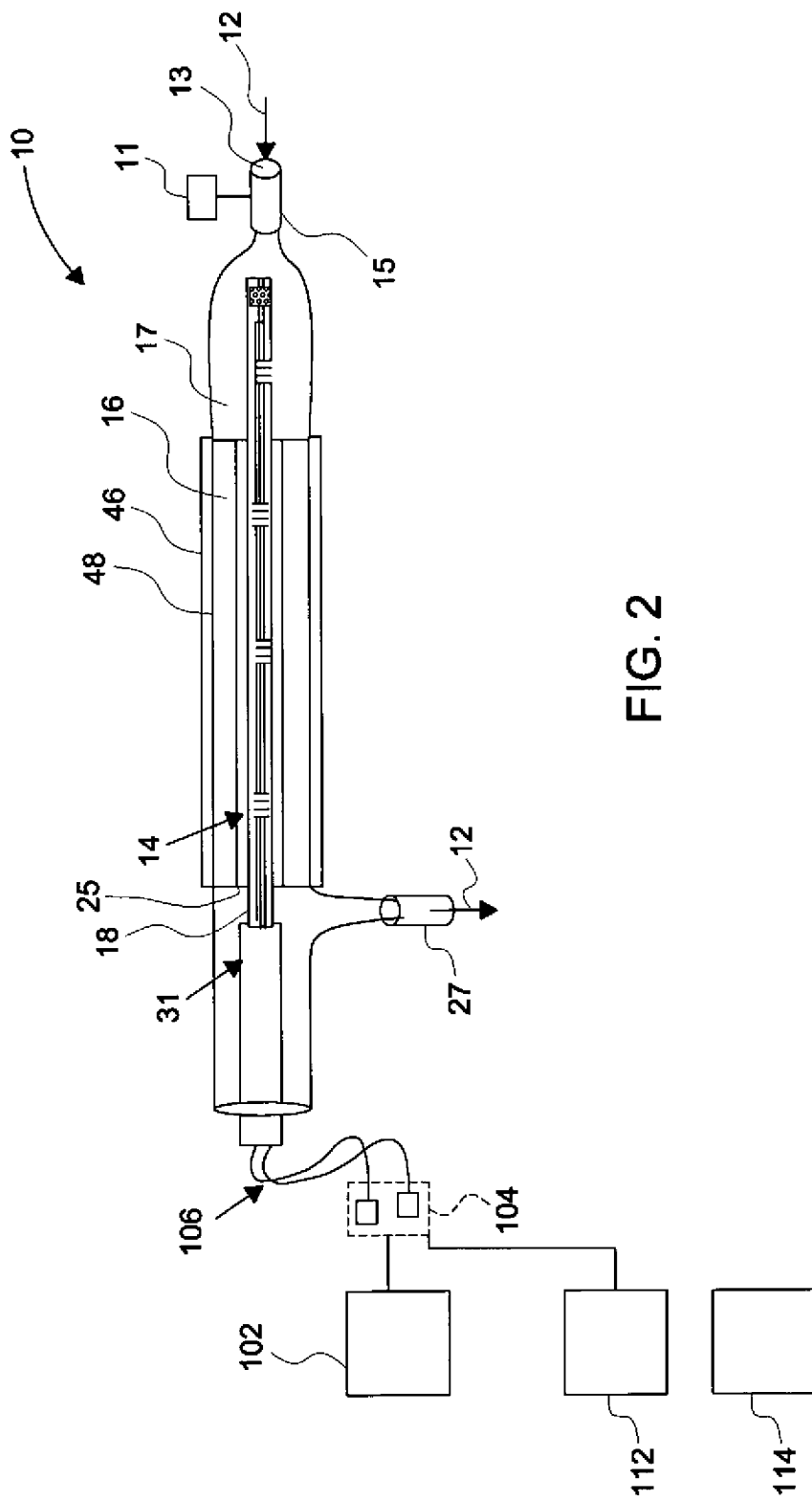


FIG. 2

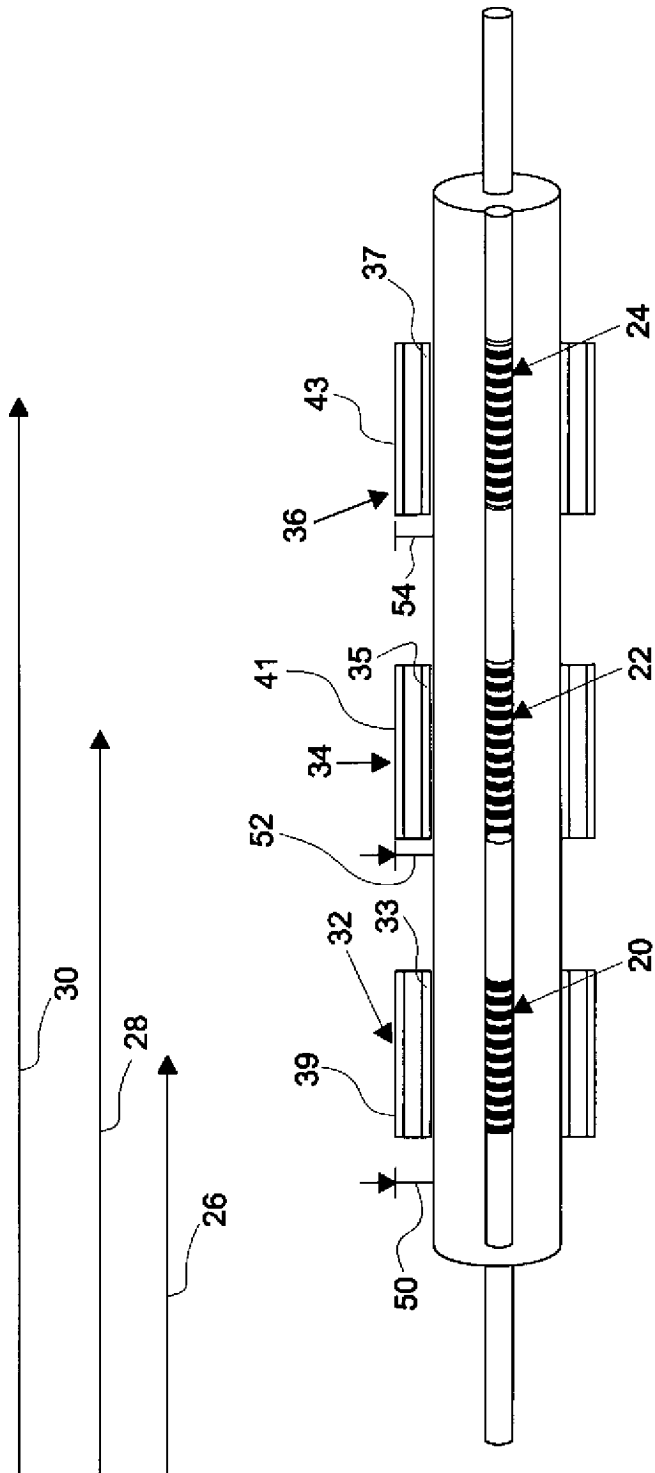


FIG. 3

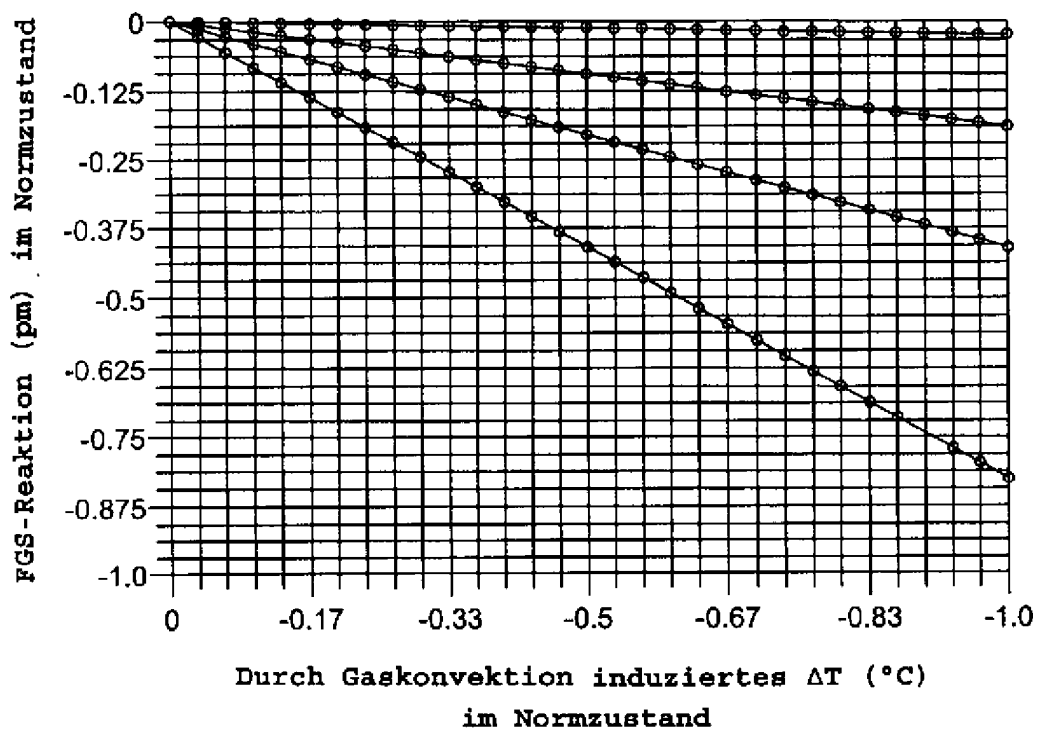


FIG. 4

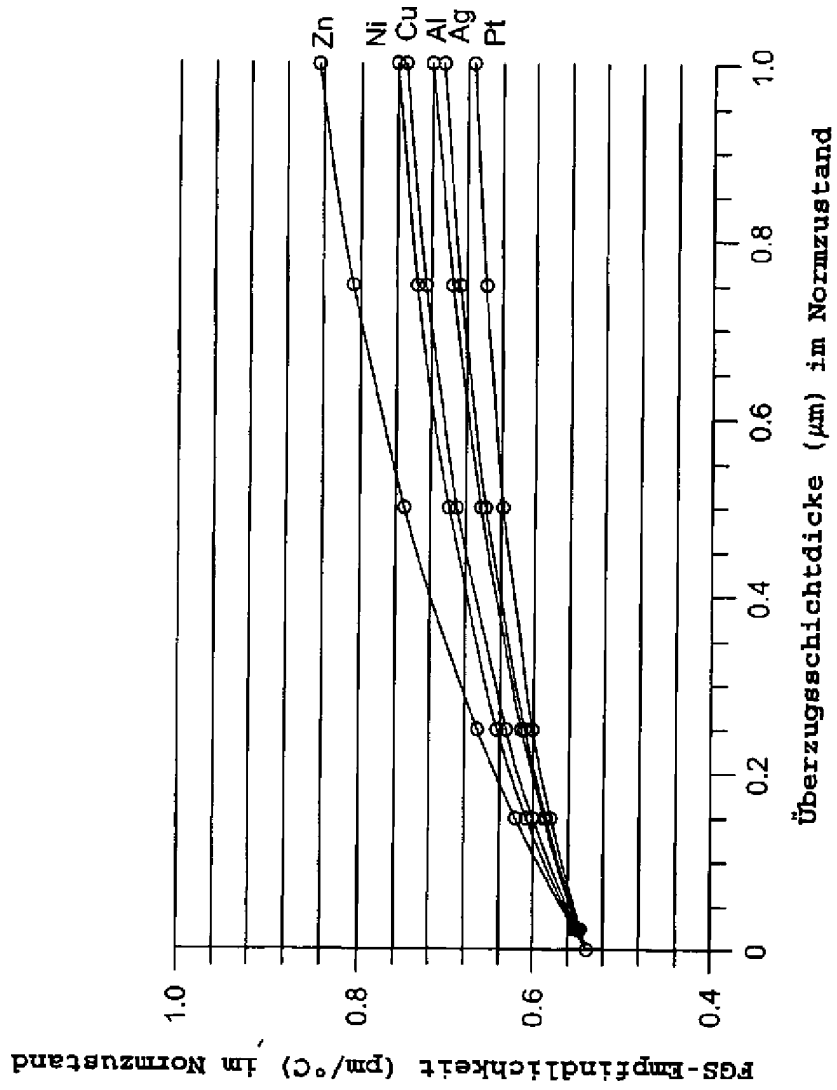


FIG. 5

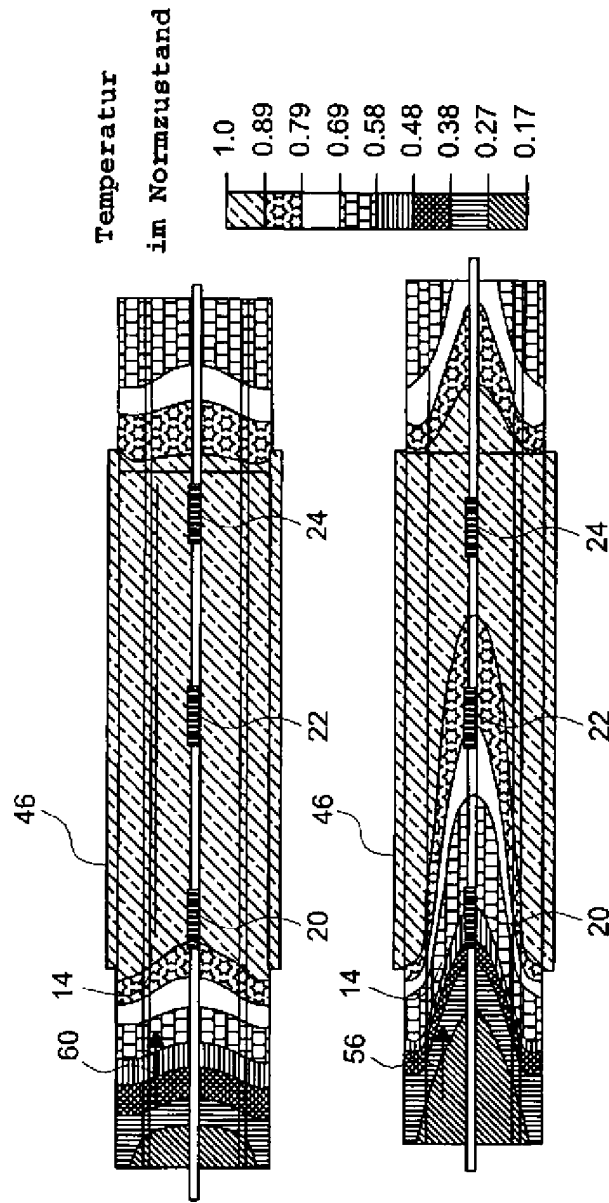


FIG. 6

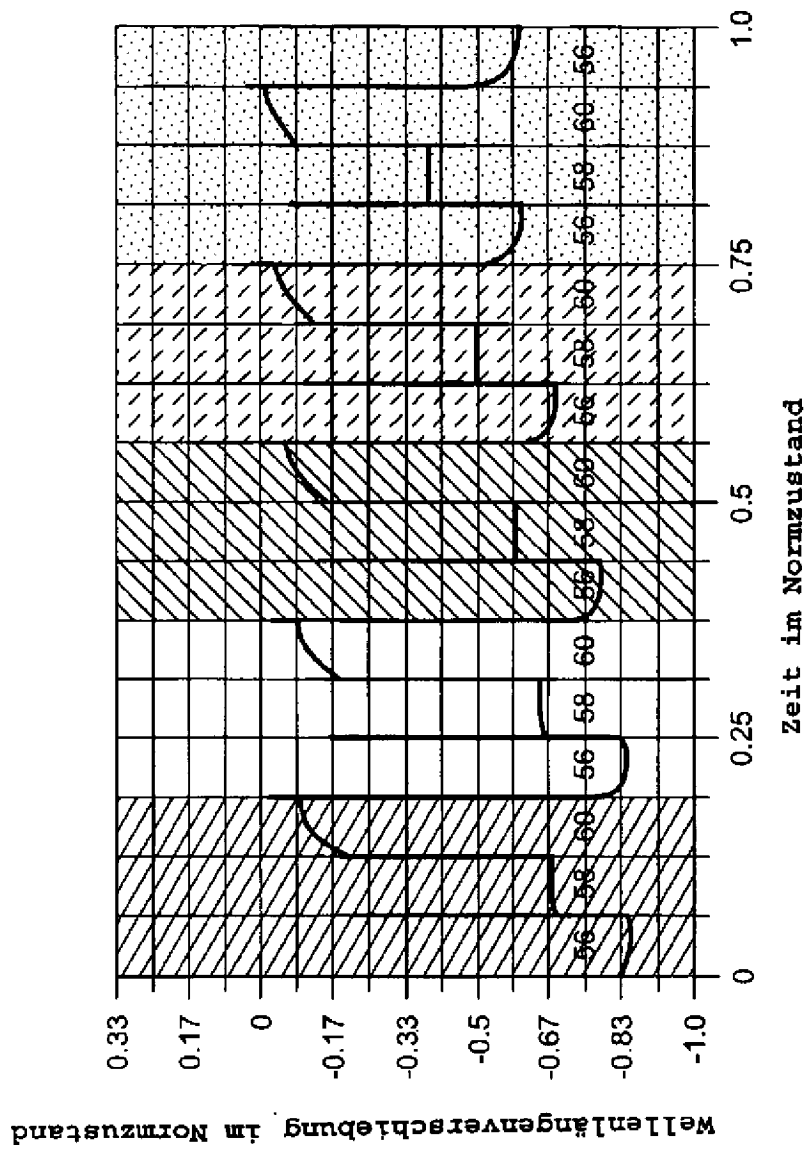


FIG. 7

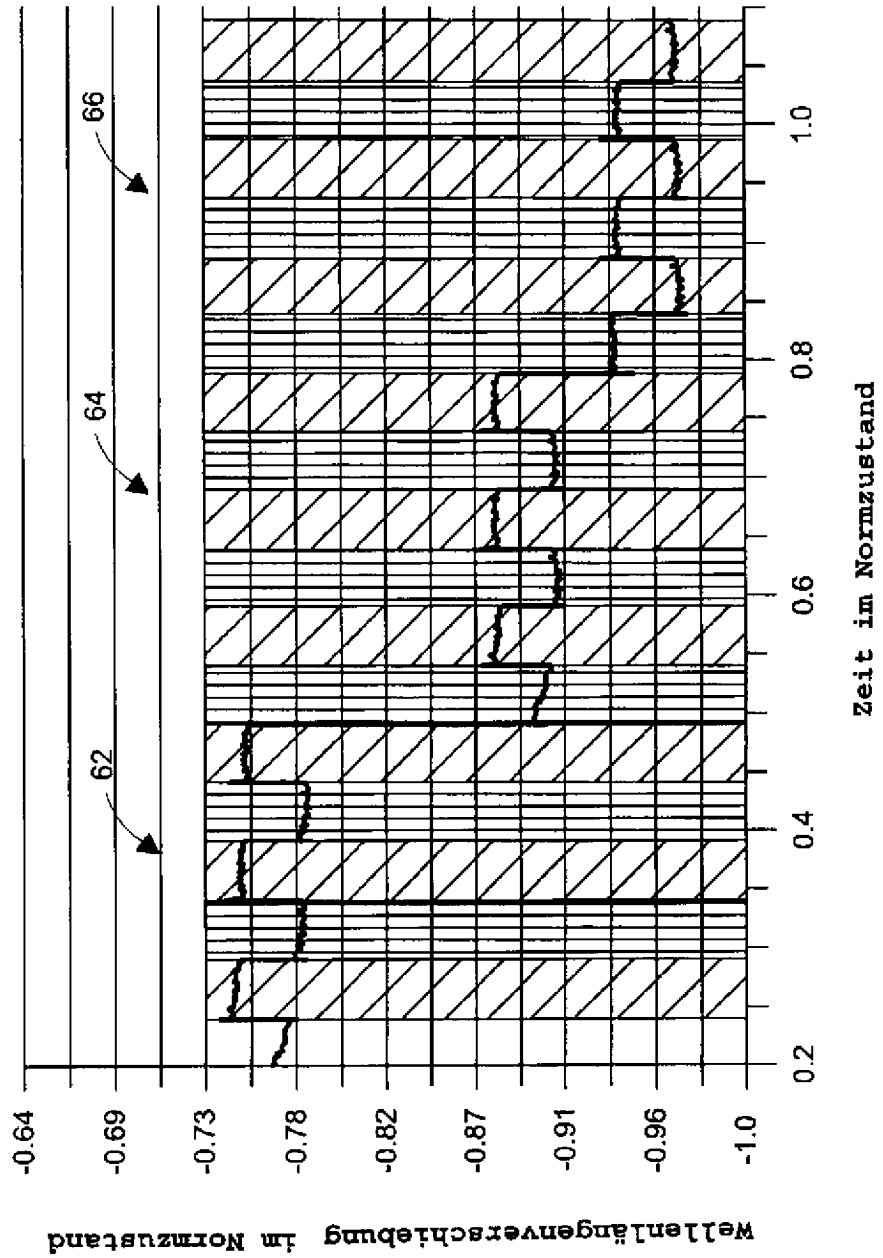


FIG. 8

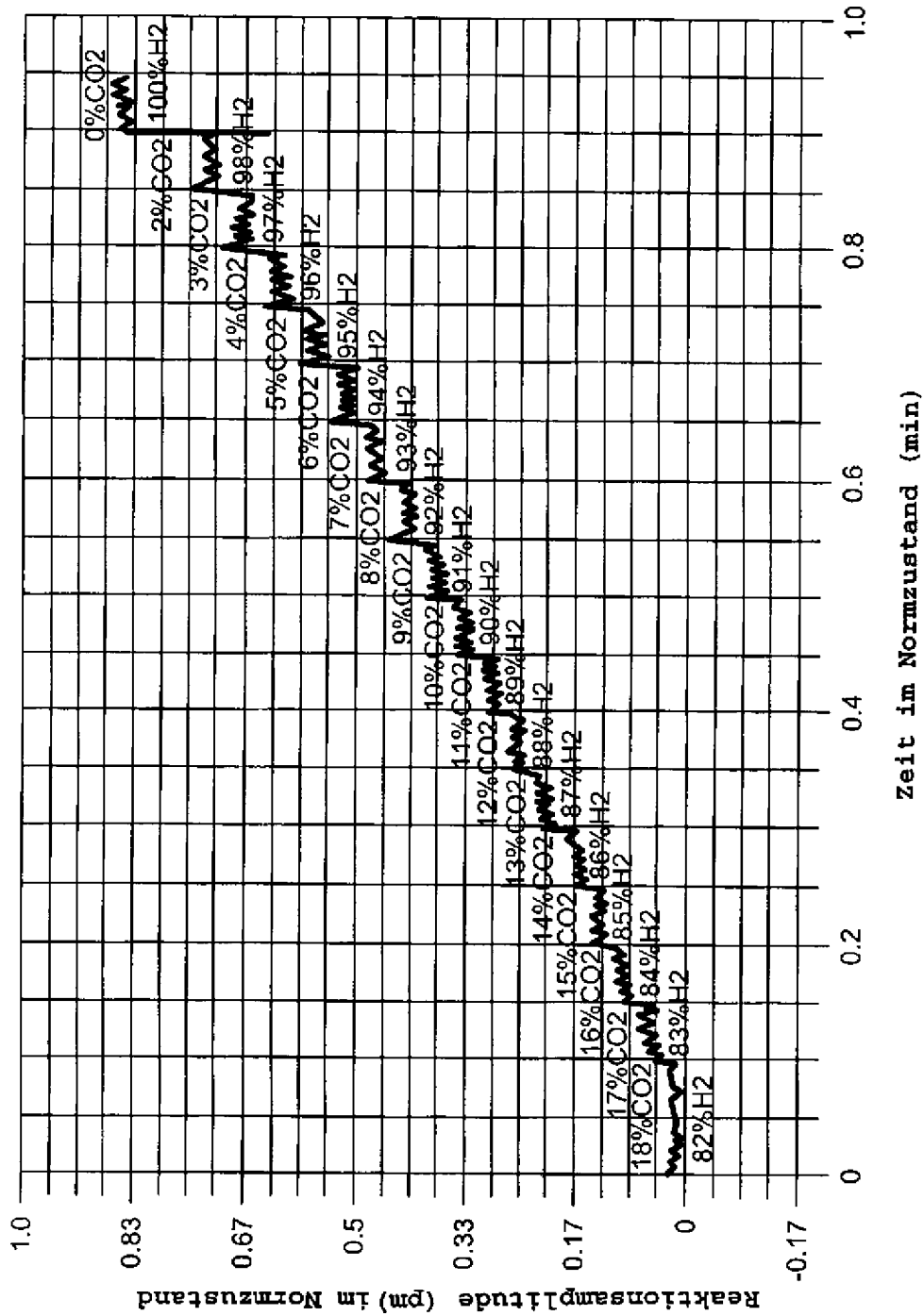


FIG. 9