



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 20 2007 000 168 U1** 2007.05.03

(12)

Gebrauchsmusterschrift

(21) Aktenzeichen: **20 2007 000 168.1**

(22) Anmeldetag: **04.01.2007**

(47) Eintragungstag: **29.03.2007**

(43) Bekanntmachung im Patentblatt: **03.05.2007**

(51) Int Cl.⁸: **G01N 21/77 (2006.01)**

(66) Innere Priorität:
10 2006 001 642.4 11.01.2006

(73) Name und Wohnsitz des Inhabers:
Sartorius AG, 37075 Göttingen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

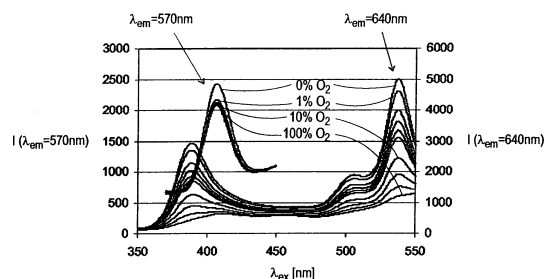
(54) Bezeichnung: **Sauerstoffsensor**

(57) Hauptanspruch: Sensor zur Messung eines Sauerstoffgehalts in einer flüssigen oder gasförmigen Probe, umfassend

– ein mit der Probe in Kontakt bringbares, erstes Sensorfeld (14a) mit einem in eine sauerstoffpermeable, erste Polymermatrix eingebetteten Lumineszenz-Indikatorfarbstoff,
– Lichtleitmittel (10) zum Leiten von Lumineszenz-Anregungslicht von einer Lichtquelle (31, 32) zu dem ersten Sensorfeld (14a) und

– Lichtleitmittel (10) zum Leiten von Lumineszenz-Emissionslicht von dem ersten Sensorfeld zu einem Detektor (39), dadurch gekennzeichnet,

dass benachbart zu dem ersten Sensorfeld (14a) ein zweites Sensorfeld (14b) angeordnet ist, das denselben Farbstoff, eingebettet in eine sauerstoffimpermeable, zweite Polymermatrix enthält.



Beschreibung

wird.

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf einen Sensor zur Messung eines Sauerstoffgehalts in einer flüssigen oder gasförmigen Probe, umfassend

- ein mit der Probe in Kontakt bringbares, erstes Sensorfeld mit einem in eine sauerstoffpermeable, erste Polymermatrix eingebetteten Lumineszenz-Indikatorfarbstoff,
- Lichtleitmittel zum Leiten von Lumineszenz-Anregungslicht von einer Lichtquelle zu dem ersten Sensorfeld und
- Lichtleitmittel zum Leiten von Lumineszenz-Emissionslicht von dem ersten Sensorfeld zu einem Detektor.

[0002] Die WO 02/103334 A1 offenbart einen gattungsgemäßen Sauerstoffsensor.

[0003] Von vielen Lumineszenzfarbstoffen, insbesondere aus der Gruppe der Pt(II)-Porphyrine, ist bekannt, dass ihre Lumineszenzintensität stark von der Sauerstoffkonzentration des den Farbstoff umgebenden Mediums abhängig ist. Dieser Effekt beruht auf einer Wechselwirkung des Sauerstoffs mit dem durch Anregungslicht geeigneter Wellenlänge energetisch angeregten Zustand der Farbstoffmoleküle. Diese Wechselwirkung eröffnet neben dem Lumineszenz erzeugenden Übergang vom angeregten zum Grundzustand einen zusätzlichen, strahlungslosen Abregungspfad. Die Wahrscheinlichkeit für diesen strahlungslosen Übergang nimmt mit der Sauerstoffkonzentration zu. Man nennt dies Lumineszenzlöschung oder Quenching durch Sauerstoff.

[0004] Der bekannte Sensor macht sich diesen Quenching-Effekt zur Bestimmung des Sauerstoffgehalts einer Probe zunutze. So wird das erste Sensorfeld mit Anregungslicht geeigneter Wellenlänge bestrahlt und die Intensität der von dem Indikatorfarbstoff emittierten Lumineszenz gemessen. Geeignete Lichtquellen, wie beispielsweise LEDs, und geeignete Detektoren, wie beispielsweise Fotomultiplier mit geeigneten, vorgeschalteten Filtern, sind dem Fachmann bekannt.

[0005] In der WO 02/103334 A1 wird als ein Problem einer solchen Messanordnung die Abhängigkeit der Lumineszenzintensität nicht nur von der Sauerstoffkonzentration sondern auch von Schwankungen der Intensität des Anregungslichtes, z.B. durch Schwankungen der Lichtquelle, angesprochen. Zur Lösung dieses Problems wird die Verwendung eines zweiten, sauerstoffinsensitiven Farbstoffs vorgeschlagen, dessen Lumineszenzintensität im Rahmen einer zweiten simultanen Lumineszenzmessung bei derselben Anregungswellenlänge und gesonderter, für den Referenzfarbstoff optimierter Detektionswellenlänge ermittelt und mit dem Lumineszenzintensitätswert des Indikatorfarbstoff ins Verhältnis gesetzt

[0006] Nachteilig bei dem bekannten Sensor ist, dass eine weitere, starke Abhängigkeit, nämlich die Abhängigkeit von der Temperatur des Sensors, d.h. im Wesentlichen der diesen umgebenden Probe, nicht berücksichtigt wird. Zudem bringt die Verwendung eines zweiten Farbstoffes zur Erzeugung eines Referenzsignals den Nachteil mit sich, dass dieser in anderer Weise von Änderungen der Messbedingungen oder durch Ausbleichen beeinflusst werden kann als der eigentliche Indikatorfarbstoff.

[0007] Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Sauerstoffsensor zu Verfügung zu stellen, mit dem die Einflüsse der Temperatur auf das Messergebnis kompensierbar sind und der zur Referenzierung keine zweiten Farbstoff benötigt.

[0008] Diese Aufgabe wird in Verbindung mit den Merkmalen des Oberbegriffs von Anspruch 1 dadurch gelöst, dass benachbart zu dem ersten Sensorfeld ein zweites Sensorfeld angeordnet ist, das denselben Farbstoff, eingebettet in eine sauerstoffim-permeable, zweite Polymermatrix enthält.

[0009] Grundidee der Erfindung ist es, statt eines fremden Referenzfarbstoffs mit anderer Lumineszenzcharakteristik als der Indikatorfarbstoff den Indikatorfarbstoff selbst zur internen Referenzierung zu verwenden und durch besondere Wahl der Polymermatrix eine Abhängigkeit seiner Lumineszenzcharakteristik vom Sauerstoffgehalt der Probe auszuschließen. Dies wird erreicht, indem eine Polymermatrix gewählt wird, die im Gegensatz zur Polymermatrix des ersten Sensorfeldes für Sauerstoff undurchlässig ist. Auf diese Weise liefert der Sensor nach Anregung des Farbstoffs in beiden Sensorfeldern mit einer geeigneten Wellenlänge ein Lumineszenzsignal, das sich aus einem sauerstoffabhängigen und einem sauerstoffunabhängigen Anteil zusammensetzt.

[0010] Führt man mit einem solchen Sensor zwei Messungen bei unterschiedlichen spektralen Einstellungen, d.h. unterschiedlichen Anregungs- und/oder Detektionswellenlängen durch, bei denen der Indikatorfarbstoff unterschiedliche Empfindlichkeiten gegenüber Temperatur und Sauerstoff besitzt, und verrechnet die erhaltenen Lumineszenzintensitätswerte in geeigneter Weise miteinander, erhält man einen Ergebniswert, der von der Temperatur der Probe unabhängig ist.

[0011] Zur Erfassung der Paare von Intensitätsmessungen, die im Rahmen einer Sauerstoffmessung erforderlich sind, gibt es unterschiedliche Vorgehensmöglichkeiten. So kann beispielsweise ein erster Intensitätswert aufgenommen werden, indem die Sensorfelder mit einem schmalbandigen Beleuchtungslicht im Bereich um ein Absorptionsmaximum des In-

dikatorfarbstoffs beleuchtet werden. Die Messung erfolgt in einem schmalbandigen Spektralbereich um ein zugeordnetes Emissionsmaximum des Farbstoffs. Der zweite Lumineszenzintensitätswert wird nach Anregung in einem anderen, schmalbandigen Bereich um ein zweites Absorptionsmaximum des Farbstoffs gemessen, wobei die Detektion in einem schmalbandigen Bereich um ein zugeordnetes, zweites Emissionsmaximum erfolgt. Alternativ kann bei beiden Einzelmessungen mit einem hochenergetischen Anregungslicht angeregt und die Emission in zwei getrennten Detektionsbereichen, vorzugsweise jeweils im Bereich um ein separates Emissionsmaximum, erfolgen. Schließlich ist es auch möglich, die Einzelmessungen bei Anregung in unterschiedlichen Anregungsspektralbereichen, vorzugsweise im Bereich um separate Absorptionsmaxima des Indikatorfarbstoffs, durchzuführen, wobei die Detektion bei beiden Einzelmessungen in einem gemeinsamen Detektionsspektralbereich erfolgt. Als besonders günstig hat sich dabei herausgestellt, den Detektionsspektralbereich so breit zu wählen, dass die Emissionsmaxima, die den verwendeten Absorptionsmaxima zugeordnet sind, beide im realisierten, zusammenhängenden Detektionsbereich enthalten sind.

[0012] Als ein besonders vorteilhafter Indikatorfarbstoff hat sich Pt(II)-Octaethyl-Porphyrin, kurz PtOEP, erwiesen. PtOEP weist zum einen eine starke Sauerstoffabhängigkeit und zum anderen eine gute Temperaturabhängigkeit auf. Dabei fällt auf, dass die Abhängigkeiten von den einzelnen Parametern in unterschiedlichen Spektralbereichen des Farbstoffs unterschiedlich ausfallen, so dass eine geeignete Verrechnung von in unterschiedlichen Spektralbereichen aufgenommen Lumineszenzintensitäten ein "Herausrechnen" des Temperatureinflusses auf die Sauerstoffabhängigkeit erlaubt. Als besonders günstig hat sich die Verrechnung zweier Lumineszenzintensitätswerte erwiesen, die in einem Detektionsspektralbereich zwischen 550 und 650 nm gemessen wurden, wobei für die erste Messung eine Anregungswellenlänge im Bereich von 530 nm und für die zweite Messung eine Anregungswellenlänge im Bereich von 415 nm verwendet wurde.

[0013] Bei einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist die erste, sauerstoffpermeable Polymermatrix aus Polysulfon, kurz PSU, oder Polyethersulfon gebildet. Bei dieser Wahl hat sich eine besonders starke Sauerstoffabhängigkeit der Lumineszenz von PtOEP gezeigt. Diese ist insbesondere ausgeprägt, wenn das Gewichtsverhältnis von PtOEP zu dem Polymer der ersten Matrix im Bereich zwischen 1:1000 und 5:1000, vorzugsweise bei etwa 2,5:1000 liegt.

[0014] Als sauerstoffundurchlässige, zweite Polymermatrix hat sich Epoxydharz als besonders günstig erwiesen. Dieses besitzt eine derart geringe Sau-

erstoffdurchlässigkeit, dass das zweite Sensorfeld einen nahezu ausschließlich temperaturabhängigen Signalanteil liefert. Als besonders temperatursensitiv hat sich ein Gewichtsverhältnis von PtOEP zu dem Polymer der zweiten Matrix im Bereich zwischen 5:1000 und 50:1000, vorzugsweise von etwa 10:1000 erwiesen.

[0015] Um eine besonders hohe Signalstärke zu erreichen, ist es vorteilhaft, wenn die sauerstoffpermeable, erste Polymermatrix als poröse Membran ausgebildet ist. Durch Ausbildung als poröse Membran wird eine Oberflächenmaximierung gewährleistet, so dass eine besonders starke Wechselwirkung zwischen dem Probensauerstoff und dem in die Matrix eingebetteten Indikatorfarbstoff stattfinden kann. Die Ansprechzeit des Sensors ist somit vorteilhaft sehr kurz.

[0016] Bei einer vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Sensors sind das erste Sensorfeld und das zweite Sensorfeld schichtweise übereinander angeordnet, wobei das erste Sensorfeld dem zweiten Sensorfeld zur Probe hin vorgelagert ist. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass beide Sensorfelder nahezu identischen optischen Verhältnissen ausgesetzt sind, wobei das sauerstoffsensitive Sensorfeld eine maximale Kontaktfläche zur Probe aufweist. Das temperatursensitive Sensorfeld hingegen, welches keinen unmittelbaren Probenkontakt benötigt, ist vor eventuell schädlichen Einflüssen durch das erste Sensorfeld geschützt.

[0017] Günstigerweise sind die Sensorfelder auf der Stirnseite und/oder dem Mantel, vorzugsweise in der Nähe des distalen Endes eines Lichtleiters oder eines Lichtleiterbündels aufgebracht. Durch den Lichtleiter oder das Lichtleiterbündel ist Anregungslicht auf unkomplizierte Art zu den Sensorfeldern hin und Emissionslicht von den Sensorfeldern zum Detektor transportierbar. Die Anordnung im Bereich der Stirnfläche ist in Bezug auf die verwendbare Lichtintensität besonders vorteilhaft. Die Anordnung auf dem Mantel in der Nähe des distalen Endes nutzt das schwächere, so genannte evaneszente Feld des Anregungslichtes, wobei insbesondere bei Verwendung von einzelnen Lichtleitern Sensorfelder mit deutlich größerer Fläche im Vergleich zur Anordnung auf der Stirnseite realisierbar sind.

[0018] Besonders vorteilhaft ist eine mit einem optischen Fasereingang gekoppelte Linse vorgesehen, auf deren Oberfläche die beiden Sensorfelder angeordnet sind und die von dem Indikatorfarbstoff emittiertes Lumineszenzlicht auf den Fasereingang ein-koppelt. Die Linse optimiert die optische Effizienz des Sensors und bietet gleichzeitig die Möglichkeit einer Flächenvergrößerung der Sensorfelder. Diese Ausführungsform ist besonders vorteilhaft, wenn der Fasereingang Bestandteil eines optischen Faserkon-

nektors ist, dessen Ausgang mit dem Eingang einer mit der Lichtquelle und dem Detektor koppelbaren optischen Faserverbindung ist. Auf diese Weise erhält man ein robustes und leicht handhabbares Sensormodul, das beispielsweise einfach in Gefäßwände eines Reaktionsgefäßes einbaubar ist. Die notwendige Kopplung mit einer Lichtquelle und einem Detektor kann dann mit Hilfe üblicher Konnektortechnik einfach und reversibel gestaltet werden. Beispielsweise ist es möglich, einen V-förmigen Lichtleiter zu verwenden, dessen erstes Ende mit der Lichtquelle und dessen zweites Ende mit dem Detektor verbindbar ist.

[0019] Als Lichtquelle eignen sich alle bekannten Arten von Lichtquellen. Als besonders günstig, weil billig, haben sich LEDs erwiesen, denen geeignete optische Filter vorgeschaltet sind. Als Detektor sind insbesondere Fotomultiplier mit geeigneten, vorgeschalteten optischen Filtern einsetzbar. Selbstverständlich ist auch jede andere Art eines optischen Detektors einsetzbar. Insbesondere bei simultaner Messung an mehreren Sensoren eignet sich ein bildgebender optischer Detektor, wie etwa ein CCD-Detektor.

[0020] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden, speziellen Beschreibung und den Zeichnungen.

[0021] Es zeigen:

[0022] [Fig. 1](#): Anregungsspektren von PtOEP, eingebettet in eine PSU-Matrix, bei verschiedenen Sauerstoffkonzentrationen.

[0023] [Fig. 2](#): Anregungsspektren von PtOEP, eingebettet in eine Epoxydmatrix, bei unterschiedlichen Temperaturen.

[0024] [Fig. 3](#): eine schematische Darstellung einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Sensors.

[0025] [Fig. 4](#): eine schematische Darstellung einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Sensors.

[0026] [Fig. 5](#): eine vergrößerte Ausschnittsdarstellung de Linsenbereichs des Sensors von [Fig. 4](#).

[0027] [Fig. 6](#): eine schematische Darstellung einer Messanordnung zur Verwendung mit dem erfindungsgemäßen Sensor.

[0028] [Fig. 1](#) zeigt eine Anzahl von Anregungsspektren von Platin(II)-Octaethyl-Porphyrin, kurz PtOEP, eingebettet in eine Matrix aus Polysulfon, kurz PSU, die bei Detektionswellenlängen von 570 bzw. 640 nm und bei unterschiedlichen Sauerstoffkonzentrationen einer mit der PSU-Matrix in Berührung stehenden

Probe aufgenommen wurden. Der Übersichtlichkeit halber sind nur einige der dargestellten Kurven mit dem zugeordneten Sauerstoffwert bezeichnet. Deutlich erkennbar ist die starke Abhängigkeit der Anregungseffizienz von der gegebenen Sauerstoffkonzentration. Ebenfalls in [Fig. 1](#) erkennbar ist, dass die Sauerstoffabhängigkeit der Lumineszenz zwischen den bei einer Detektionswellenlänge von 570 und 640 nm aufgenommenen Spektrengruppen deutlich verschieden ist.

[0029] Ein ähnliches Bild zeigt sich für die Temperaturabhängigkeit von PtOEP. [Fig. 2](#) zeigt mehrere Anregungsspektren, die an PtOEP, eingebettet in eine Epoxydmatrix, bei Detektionswellenlängen von 570 bzw. 640 nm und bei unterschiedlichen Temperaturen aufgenommen wurden. Deutlich erkennbar in [Fig. 2](#) ist die starke Temperaturabhängigkeit der Lumineszenz von PtOEP sowie die Unterschiedlichkeit dieser Abhängigkeit je nach Detektionswellenlänge. Bei der bei einer Detektionswellenlänge von 570 nm aufgenommenen Spektrengruppe, bei der in [Fig. 2](#) der Übersichtlichkeit halber nur zwei zugeordnete Temperaturwerte eingezeichnet sind, verhält sich die Temperaturabhängigkeit der Lumineszenzintensität gerade umgekehrt zu derjenigen der bei einer Detektionswellenlänge von 640 nm aufgenommenen Spektrenschar.

[0030] In beiden [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) ist die aufgenommene Lumineszenzintensität I in willkürlichen Einheiten eingezeichnet. Die Detektionswellenlängen sind in den Figuren mit λ_{em} ; die Anregungswellenlängen sind als λ_{ex} bezeichnet und jeweils in Nanometern dargestellt.

[0031] In den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) sind somit die Abhängigkeiten besonders vorteilhafter Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Sensorfelder von der Sauerstoffkonzentration bzw. von der Temperatur dargestellt. Nicht erkennbar in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) ist die Temperaturabhängigkeit der Lumineszenzcharakteristik von in PSU eingebettetem PtOEP. Der umgekehrte Fall einer Sauerstoffabhängigkeit von in Epoxyd eingebettetem PtOEP ist irrelevant, da die Epoxydmatrix für Sauerstoff nahezu undurchlässig ist, so dass eine Wechselwirkung zwischen Sauerstoff und Farbstoff vernachlässigbar ist. Ein entsprechend aufgebautes Sensorfeld zeigt daher ausschließlich die in [Fig. 2](#) dargestellte Temperaturabhängigkeit.

[0032] [Fig. 3](#) zeigt eine stark vereinfachte, schematische Darstellung einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Kombinationssensors. Träger des Sensors ist bei dieser Ausführungsform ein Lichtleiter **10**. Es kann sich hierbei um einen einzelnen Lichtleiter oder um ein Lichtleiterbündel handeln. Auf der Stirnfläche **12** des Lichtleiters **10** ist der aktive Teil **14** des Sensors angeordnet. Er umfasst zwei Sensorfelder **14a**, **14b**, wobei das erste Sensorfeld **14a**, wel-

ches eine maximale Kontaktfläche zu seiner Umgebung aufweist, den Indikatorfarbstoff, eingebettet in eine für Sauerstoff durchlässige Polymermatrix, aufweist. Das der Stirnfläche **12** des Lichtleiters **10** zugewandte, zweite Sensorfeld **14b** weist denselben Indikatorfarbstoff auf, der jedoch in eine für Sauerstoff undurchlässige Polymermatrix eingebettet ist. Bevorzugt handelt es sich bei dem Indikatorfarbstoff um PtOEP, bei der Polymermatrix des ersten Sensorfeldes **14a** um PSU und bei der Polymermatrix des zweiten Sensorfeldes **14b** um Epoxydharz.

[0033] Bei Betrieb des Sensors werden nacheinander zwei Intensitätsmessungen vorgenommen. Bei einer ersten Messung wird der aktive Bereich **14** des Sensors über den Lichtleiter **10** mit einem Anregungslicht aus einem ersten Spektralbereich, der z.B. ein Bereich von etwa 10 nm Breite um eine zentrale Wellenlänge von 530 nm sein kann, beleuchtet. Die sich ergebende Lumineszenz wird über denselben Lichtleiter **10** zu einem Detektor geführt. Dort wird eine Intensitätsmessung in einem ersten Detektionsspektralbereich, der beispielsweise 10 nm Breite um eine zentrale Wellenlänge von 640 nm aufweist, durchgeführt. Der sich ergebende Intensitätswert wird als erster Lumineszenzintensitätswert abgespeichert. Bei einer zweiten Messung, die vor oder nach der ersten Messung erfolgen kann, wird der aktive Bereich **14** des Sensors mit einem zweiten Anregungslicht aus einem zweiten Anregungsspektralbereich, z.B. mit 10 nm Breite um eine zentrale Wellenlänge von 415 nm, beleuchtet. Die sich ergebende Lumineszenz wird über den Lichtleiter **10** einem Detektor zugeführt, wo eine zweite Intensitätsmessung vorgenommen wird, vorzugsweise in einem etwa 10 nm breiten Spektralbereich um eine Zentralwellenlänge von 570 nm. Der sich ergebende Intensitätswert wird als zweiter Lumineszenzintensitätswert abgespeichert. Beide Lumineszenzintensitätswerte sind jeweils aus einer Überlagerung der Lumineszenzen aus dem ersten Sensorfeld **14a**, welches sowohl sauerstoff- als auch temperaturabhängig luminesziert, und dem zweiten Sensorfeld **14b**, welches lediglich temperaturabhängig luminesziert, gebildet. Eine geeignete Verrechnung der Lumineszenzintensitätswerte miteinander führt zu einem temperaturunabhängigen, lediglich sauerstoffabhängigen Ergebniswert. Dieser stellt somit ein temperaturunabhängiges Maß für die Sauerstoffkonzentration in der mit dem Sensor wechselwirkenden Probe dar.

[0034] Die einfachste Form der Verrechnung der beiden Lumineszenzintensitätswerte ist die Bildung eines Quotienten. Es kann jedoch angemessen sein, komplexere Verrechnungsschemata heranzuziehen. Dies ist abhängig von dem konkret verwendeten Indikatorfarbstoff, den konkret verwendeten Polymermatrizes sowie den konkreten Farbstoffkonzentrationen in den jeweiligen Matrizes. Der Fachmann wird jedoch unter Zugrundelegung der hier offenbarten

technischen Lehre ohne Mühen die für seine speziell gewählte Farbstoff/Matrizes-Kombination geeignete Verrechnungsmethoden bestimmen können.

[0035] Bei einer anderen Betriebsvariante des erfindungsgemäßen Sensors ist der apparative Aufwand zur Aufnahme der zwei Lumineszenzintensitätswerte reduzierbar. Auch bei dieser Ausführungsform werden zwei unterschiedliche Messungen bei unterschiedlichen Anregungswellenlängen, wie oben beschrieben, durchgeführt. Die Detektion erfolgt jedoch in einem gemeinsamen Detektionsspektralbereich, der so breit ist, dass er die den Anregungswellenlängen jeweils zugeordneten Emissionsmaxima umfasst. Im oben geschilderten Fall könnte sich der gemeinsame Detektionsspektralbereich etwa von 550 bis 650 nm erstrecken.

[0036] [Fig. 4](#) zeigt eine zweite Ausführungsform des erfindungsgemäßen Sensors. Der Lichtleiter **10** durchsetzt bei dieser Ausführungsform dichtend einen Träger **16**, der seinerseits dichtend eine Behälterwandung **18** durchsetzt. Bei der in [Fig. 4](#) gezeigten Ausführungsform ist der Träger **16** mit einem Gegenstück **20** zur Fixierung an der Behälterwandung **18** verrastet. Im Gegensatz zur Ausführungsform von [Fig. 3](#) ist der aktive Bereich des Sensors nicht unmittelbar auf eine Stirnfläche des Lichtleiters **10** aufgebracht. Vielmehr ist der Lichtleiter **10** mit einer Linsenanordnung **22** gekoppelt, die geeignet dimensioniert ist, von dem aktiven Bereich **14** des Sensors emittiertes Lumineszenzlicht in den Lichtleiter **10** einzukoppeln. Eine weitere Aufgabe der Linsenanordnung **22** ist es, durch den Lichtleiter **10** herangeführtes Anregungslicht auszukoppeln und effizient über die Sensorfläche zu verteilen.

[0037] [Fig. 6](#) zeigt schematisch ein Ausführungsbeispiel einer Messanordnung unter Verwendung eines erfindungsgemäßen Sensors. Der Lichtleiter **10** ist über einen Faserkoppler **24**, z.B. eine SMA-Buchse, an einen optoelektronischen Aufbau **30** angeschlossen. Der optoelektronische Aufbau **30** umfasst eine Lichtquelle, die im gezeigten Ausführungsbeispiel eine grüne LED **31** mit geeignetem, vorgeschaltetem Filter **31'** und eine blaue LED **32** mit geeignetem, vorgeschaltetem Filter **32'** umfasst. Das Licht dieser LEDs **31**, **32** wird alternativ über zugeordnete Strahlteiler **33** bzw. **34** in die SMA-Buchse **24** und somit in den Lichtleiter **10** eingekoppelt. Hierzu sind Koppellinsen **35** und **36** vorgesehen. Bei der Detektion wird das längerwellige Lumineszenzlicht mittels der Koppeloptik **35** und **36** aus der SMA-Buchse **24** ausgekoppelt und durchläuft die Farbteiler **33** und **34**. Eine weitere Koppellinse **37** koppelt das Lumineszenzlicht über einen Detektionsfilter **38** in einen Fotomultiplier **39** ein. Je nach den speziellen optischen Anforderungen können mehr oder weniger Filter verwendet werden; die Filter können der jeweiligen Anwendung entsprechend als Kanten- oder Bandpass-

filter ausgeführt sein; es können auch automatisierte Filterwechsler vorgesehen sein. Auch die Lichtquelle muss nicht notwendig aus mehreren LEDs bestehen, obgleich dies eine besonders kostengünstige Ausführungsform darstellt. Andere dem Fachmann bekannte Lichtquellen, wie beispielsweise Laser, Glühlampen oder Entladungslampen können ebenfalls verwendet werden.

[0038] Natürlich stellen die in der speziellen Beschreibung diskutierten und in den Figuren gezeigten Ausführungsbeispiele lediglich exemplarische Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung dar. Dem Fachmann ist unter Zugrundelegung der hier offenbarten technischen Lehre ein breites Variationspektrum anhand gegeben. So kann beispielsweise die räumliche Anordnung der Sensorfelder **14a** und **14b** von der dargestellten Form abweichen. Auch ist es für die Erfindung nicht zwingend erforderlich, die Lichtleitmittel als faseroptische Lichtleiter auszubilden. Alternativ können Freistrahlanordnungen in Erwägung gezogen werden. Auch ist die Auswahl von Farbstoffen und Polymermatrizes nicht auf die im Detail diskutierten Ausführungsformen beschränkt. Vielmehr können auch andere Farbstoff-/Polymerkombinationen verwendet werden, die prinzipiell ähnliche Abhängigkeiten ihrer Lumineszenzen von Sauerstoffgehalt und Temperatur einer Probe zeigen. Schließlich ist die Erfindung nicht auf die Messung und Verrechnung von Paaren von Lumineszenzintensitätswerten beschränkt. Vielmehr können auch mehr als zwei Lumineszenzintensitätswerte bei unterschiedlichen spektralen Einstellungen aufgenommen und miteinander verrechnet werden.

Schutzansprüche

1. Sensor zur Messung eines Sauerstoffgehalts in einer flüssigen oder gasförmigen Probe, umfassend

– ein mit der Probe in Kontakt bringbares, erstes Sensorfeld (**14a**) mit einem in eine sauerstoffpermeable, erste Polymermatrix eingebetteten Lumineszenz-Indikatorfarbstoff,

– Lichtleitmittel (**10**) zum Leiten von Lumineszenz-Anregungslicht von einer Lichtquelle (**31, 32**) zu dem ersten Sensorfeld (**14a**) und

– Lichtleitmittel (**10**) zum Leiten von Lumineszenz-Emissionslicht von dem ersten Sensorfeld zu einem Detektor (**39**),

dadurch gekennzeichnet,

dass benachbart zu dem ersten Sensorfeld (**14a**) ein zweites Sensorfeld (**14b**) angeordnet ist, das denselben Farbstoff, eingebettet in eine sauerstoffimpermeable, zweite Polymermatrix enthält.

2. Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Indikatorfarbstoff aus der Gruppe der Pt(II)-Porphyrine ausgewählt und insbesondere Pt(II)-Octaethyl-Porphyrin, kurz PtOEP, ist.

3. Sensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Polymermatrix aus Polysulfon oder Polyethersulfon gebildet ist.

4. Sensor nach Anspruch 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Gewichtsverhältnis von PtOEP zu dem Polymer der ersten Matrix im Bereich zwischen 1:1000 und 5:1000, insbesondere bei etwa 2,5:1000 liegt.

5. Sensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, die zweite Polymermatrix aus einem Epoxydharz gebildet ist.

6. Sensor nach Anspruch 2 und 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Gewichtsverhältnis von PtOEP zu dem Polymer der zweiten Matrix im Bereich zwischen 5:1000 und 50:1000, insbesondere bei etwa 10:1000 liegt.

7. Sensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die sauerstoffdurchlässige, erste Polymermatrix als poröse Membran ausgebildet ist.

8. Sensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Sensorfeld (**14a**) und das zweite Sensorfeld (**14b**) schichtweise übereinander angeordnet sind, wobei das erste Sensorfeld (**14a**) dem zweiten Sensorfeld (**14b**) zur Probe hin vorgelagert ist.

9. Sensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensorfelder (**14a; 14b**) auf der Stirnseite (**12**) und/oder dem Mantel eines Lichtleiters (**10**) oder eines Lichtleiterbündels aufgebracht sind.

10. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass eine mit einem optischen Fasereingang gekoppelte Linsenordnung (**22**) vorgesehen ist, auf deren äußerer Oberfläche die beiden Sensorfelder (**14a; 14b**) angeordnet sind und die von dem Indikatorfarbstoff emittiertes Lumineszenzlicht in den Fasereingang einkoppelt.

11. Sensor nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Fasereingang Bestandteil eines optischen Faserkonnektors ist, dessen Ausgang mit dem Eingang einer mit der Lichtquelle (**31, 32**) und dem Detektor (**39**) koppelbaren optischen Faserverbindung (**11**) ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

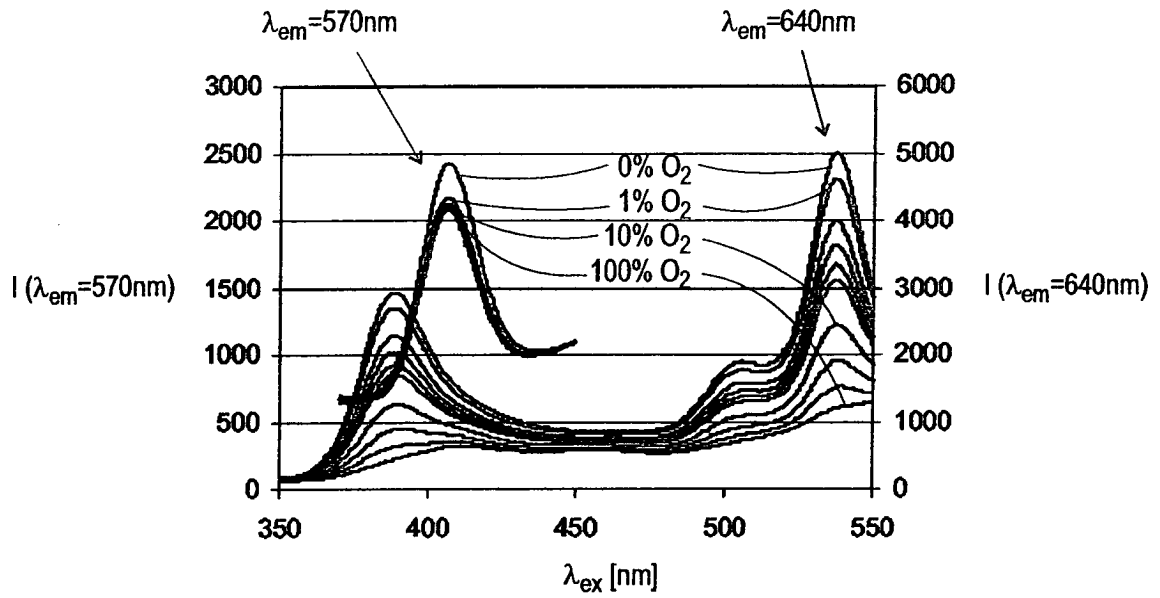


Fig. 1

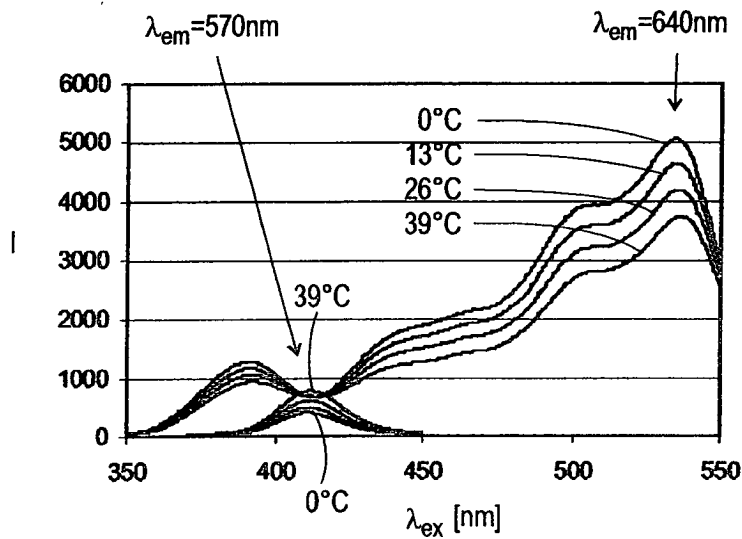


Fig. 2

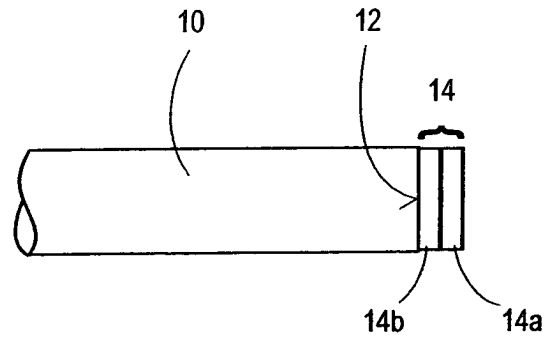


Fig. 3

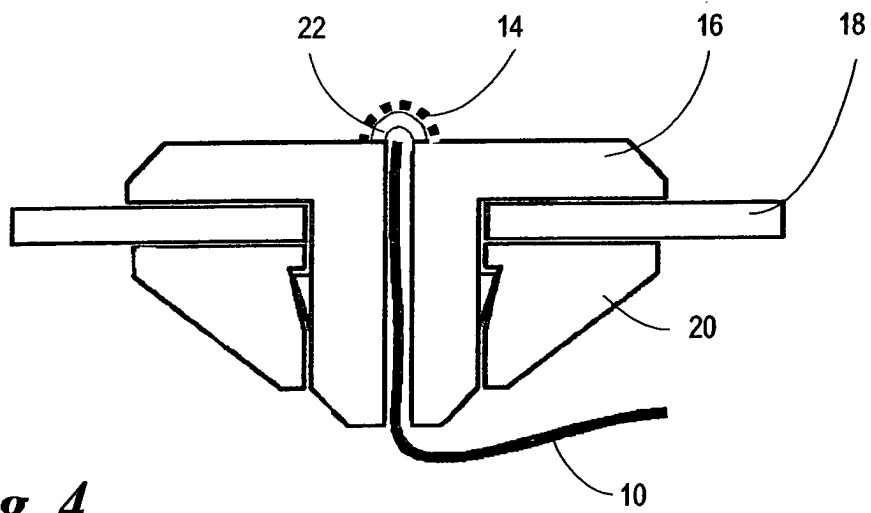


Fig. 4

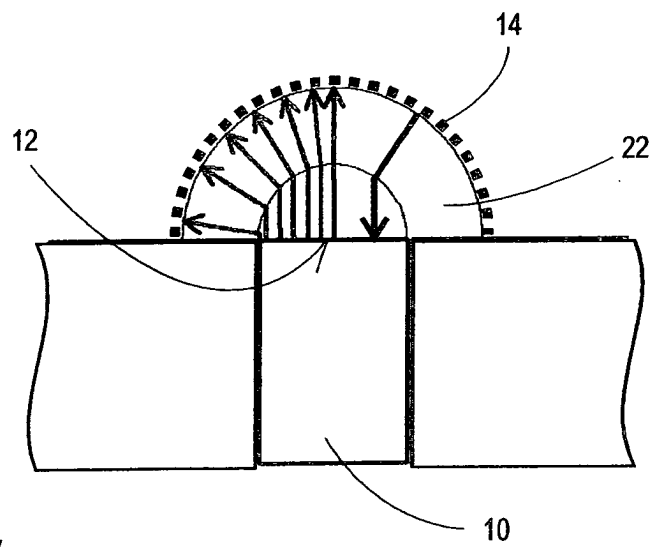


Fig. 5

Fig. 6

