(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2014 203 254 A1** 2015.08.27

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2014 203 254.7**
(22) Anmeldetag: **24.02.2014**
(43) Offenlegungstag: **27.08.2015**

(51) Int Cl.: ***G01L 11/02*** (2006.01)
G01L 11/00 (2006.01)
G01N 21/64 (2006.01)

(71) Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., 80686 München, DE

(74) Vertreter:
Maiwald Patentanwalts GmbH, 80335 München, DE

(72) Erfinder:
Morgner, Frank, 14467 Potsdam, DE; Geßner, André, 14478 Potsdam, DE; Bennemann, Mark, 14478 Potsdam, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

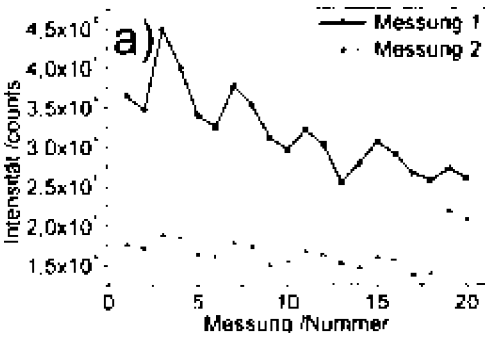
DE	**692 07 795**	**T2**
US	**2004 / 0 091 695**	**A1**
US	**2007 / 0 189 359**	**A1**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **FRET-Drucksensor zur berührungsfreien Messung von Drücken**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft einen FRET-Drucksensor, welcher eine berührungsfreie Messung von Drücken ermöglicht und dessen Verwendung, sowie ein Verfahren zur berührungsfreien Messung von Drücken.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen FRET-Drucksensor, welcher eine berührungsfreie Messung von Drücken ermöglicht und dessen Verwendung, sowie ein Verfahren zur berührungsfreien Messung von Drücken.

[0002] Drucksensoren werden zur Kontrolle und Überwachung in verschiedensten Bereichen von Industrie, Forschung und Alltag eingesetzt. Dazu gehören beispielsweise die Druckmessung in Wetterstationen oder industriellen Prozessen, die Höhen bzw. Tiefenmessung in Flugzeugen, Wetterballons oder beim Tauchen, die Messung von Durchflussraten oder auch die Erfassung auftretender Leckagen bei Transport oder Lagerung von Gasen oder Flüssigkeiten oder auch die in-vivo bzw. in-vitro-Kontrolle verschiedenster biologischer Vorgänge. In vielen dieser Anwendungen ist es aufgrund schwierig zu erreichender Messorte oder erschwerter Messbedingungen vorteilhaft, die Messwerte berührungslos auslesen zu können.

[0003] Die berührungsfreie Bestimmung von Drücken erfolgte bisher stets in der Art und Weise, dass ein Sensorsignal, bei welchem es sich meist um eine Spannungs- oder Kapazitätsänderung handelt, in elektromagnetische Impulse umgewandelt und an die Auswerteeinheit gesandt wird, die in räumlicher Nähe (< 100 m) zum Sensor steht (K. Prabakar, Usharani Ravi und J. Jayapandian, „Wireless Pressure Sensor Using Non-contact Differential Variable Reluctance Transducer“, Sensors& Transducers Journal, 2008, Vol. 99, Ausgabe 12, 102–108).

[0004] Neben dieser Möglichkeit einer berührungsfreien Druckmessung, die in verschiedensten Anwendungsbereichen einsetzbar ist, sind auch optische Drucksensoren in Gebrauch. Zu nennen ist hier zum einen die druckabhängige Änderung des Fluoreszenzmaximums von Rubin, aber auch Samarium. Diese Materialien kommen allerdings vorwiegend in Diamantstempelzellen und bei Drücken im GPa-Bereich zum Einsatz (P. Comodi, P. Francesco, „Improved calibration curve for the Sm2 + BaFCl pressure sensor.“, J. Appl. Cryst., 1993, Vol. 26, 843–845).

[0005] Zum anderen ist es möglich, den Druck optisch über die druckabhängige Löschung der Fluoreszenz von Farbstoffen zu messen. Dabei spielt vor allem die Fluoreszenzlöschung infolge des zunehmenden Partialdrucks von Sauerstoff eine Rolle. Der Einsatz dieser Messsensoren ist auf die Messung von Drücken in Luft bzw. sauerstoffhaltigen Gasgemischen beschränkt und vor allem bei Windkanaltests gebräuchlich (M.J. Morris, J.F. Donovan, J.T. Kegelmann, S.D. Schwab, R.L. Levy, „Aerodynamic Applications of Pressure Sensitive Paint“, AIAA Journal, 1993, Vol. 31, Ausgabe 3, 419–425).

[0006] Neben diesen speziellen Anwendungen werden in der wissenschaftlichen Literatur und als Patentschriften nur vereinzelt weitere Lösungen berührungsfreier Druckmessung genannt. Lediglich zwei Patente konnten diesbezüglich identifiziert werden: US 2006/0274813 A9 beschreibt die optische Erfassung des Drucks mit Hilfe der Lumineszenz von Nanopartikeln und basiert somit auf dem Energietransfer von Nanopartikeln auf Nanopartikel, wobei der Sensor mit der Probe verbunden ist. Die Erfindung basiert auf der Temperatur- und Druckabhängigkeit des Energietransfers bei konstantem Abstand.

[0007] KR 20090090096379 A beschreibt eine aus weichen, transparenten Materialien hergestellte konkave Adsorptionsplatte, die innen mit einer druckempfindlichen Farbe beschichtet und derart an die Messstelle angebracht ist, dass die Platte konkav geformt auf der Messstelle aufliegt. Da die druckempfindliche Farbe sauerstoffsensitiv ist, ist es erforderlich, dass die konkave Adsorptionsplatte einen luftgefüllen Innenraum besitzt. Die druckabhängige Farbänderung kann aus einer gewissen Entfernung bestimmt werden.

[0008] Es besteht also nach wie vor der Bedarf für eine Vorrichtung zur berührungsfreien Messung von Drücken, welche die Einschränkungen der aus dem Stand der Technik bekannten Methoden nicht aufweist und es ermöglicht, den Sensoraufbau variabel zu gestalten und situationsbezogen anpassen zu können, um eine breite Anwendbarkeit zu erreichen.

[0009] Demnach ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung bereitzustellen, welche die berührungsfreie Messung von Drücken ermöglicht und einen variabel gestalteten Sensoraufbau aufweist. Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung liegt darin, ein Verfahren zur berührungsfreien Messung von Drücken bereitzustellen.

[0010] Die Erkenntnis der vorliegenden Erfindung liegt darin, dass die erforderliche Sensorvariabilität durch die Einbettung eines FRET-Paares aus Luminophoren in eine elastische und transparente Membran ermöglicht

wird. FRET (Förster-Resonanzenergietransfer) stellt einen strahlungslosen Energietransfer von einem angeregten Donor auf einen Akzeptor dar. Die Druckmessung erfolgt optisch durch Bestimmung der Lumineszenzintensität in Abhängigkeit von der druckabhängigen Verformung der Membran.

[0011] Demnach stellt die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Bestimmung von Drücken, insbesondere zur berührungsfreien Bestimmung von Drücken bereit, umfassend ein FRET-Paar, wobei das besagte FRET-Paar

(i) einen Donor und einen Akzeptor umfasst und

(ii) in eine transparente, elastische Membran eingebettet ist.

[0012] Desweiteren stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur berührungsfreien Messung von Drücken bereit, umfassend die folgenden Schritte:

(i) Bereitstellung der besagten Vorrichtung, umfassend ein FRET-Paar,

(ii) Messung der Intensität der durch druckabhängige Verformung der transparenten, elastischen Membran induzierten Lumineszenzänderung des FRET-Paares.

[0013] Außerdem bezieht sich die vorliegende Erfindung auf die Verwendung der besagten Vorrichtung, umfassend ein FRET-Paar, welches in eine transparente, elastische Membran eingebettet ist, zur berührungsfreien Druckmessung in Gas-, Öl- und Benzintanks, Wetterforschungsflugzeugen, Arbeitsräumen mit Spezialatmosphäre, zur Bestimmung von Wettergrenzen, Blutdruckmessung, Muskelkontraktionsmessung, Überwachung chemischer Reaktionen sowie für Füllstandsmessungen, Leckagenmessungen in Flüssigkeits- bzw. Gasleitungen, in Schalldrucksensoren und/oder in der Urologie, Kardiologie oder Gastro-Enterologie.

[0014] Vorteilhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ergeben sich durch Kombination mit den Merkmalen der abhängigen Ansprüche.

[0015] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung bezieht sich der Begriff „berührungsfreie Messung von Drücken“ insbesondere auf eine Vorrichtung, welche die Messung von Drücken ohne physischen Kontakt des Sensors zur Probe ermöglicht.

[0016] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird der Begriff „FRET“ in seiner üblichen, dem Fachmann geläufigen Bedeutung verstanden und bezieht sich auf den strahlungsfreien Energieaustausch zwischen einem angeregten Donor und einem Akzeptor, wobei die Intensität unter anderem vom Abstand zwischen Donor und Akzeptor abhängt. Der angeregte Donor induziert dabei eine Oszillation im Akzeptor.

[0017] Die FRET-Effizienz E ist das Verhältnis aus der Anzahl an Energietransfers und der Anzahl der Donoranregungen. Sie spiegelt sich auch in der Energietransferrate k_{ET} im Verhältnis zur Summe der Raten für Strahlungsemission des Donorfarbstoffs k_f, Energietransfer k_{ET} und der Formen strahlungsfreien Abbaus Σk_i wieder:

$$E = \frac{k_{ET}}{k_f + k_{ET} + \sum k_i}$$

[0018] Das Emissionsspektrum des Donors muss mit dem Absorptionsspektrum des Akzeptors überlappen, damit FRET möglich ist. Die Effizienz des Energietransfers ist dabei sowohl vom Überlappungsintegral als auch von der sechsten Potenz der Entfernung von Donor und Akzeptor zueinander abhängig und reagiert daher extrem sensitiv auf Abstandsänderungen. Die Transferrate k_{ET} ist dabei von der Strahlungsemissionsrate des Donors k_D oder dessen Verweildauer im angeregten Zustand τ_D und in besonderer Weise vom Abstand r zwischen Donor und Akzeptor abhängig. Die Transferrate wird zudem vom Förster-Radius R_0 des FRET-Paars bestimmt. R_0 entspricht dem Abstand zwischen Donor und Akzeptor, bei dem die Energieübertragung zu 50% erfolgt:

$$k_{ET} = k_D \frac{R_0^6}{r^6} = \frac{R_0^6}{\tau_D \cdot r^6}$$

[0019] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird der Begriff „Donor“ in seiner üblichen, dem Fachmann geläufigen Bedeutung verstanden und bezieht sich auf einen Stoff, welcher in der Lage ist, Energie abzugeben.

[0020] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird der Begriff „Akzeptor“ in seiner üblichen, dem Fachmann geläufigen Bedeutung verstanden und bezieht sich auf einen Stoff, welcher in der Lage ist, Energie aufzunehmen.

[0021] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird der Begriff „FRET-Paar“ in seiner üblichen, dem Fachmann geläufigen Bedeutung verstanden und bezieht sich auf einen Donor und einen Akzeptor, zwischen denen FRET möglich ist.

[0022] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird der Begriff „Luminophor“ in seiner üblichen, dem Fachmann geläufigen Bedeutung verstanden und bezieht sich auf einen Stoff, welcher Lumineszenz zeigt.

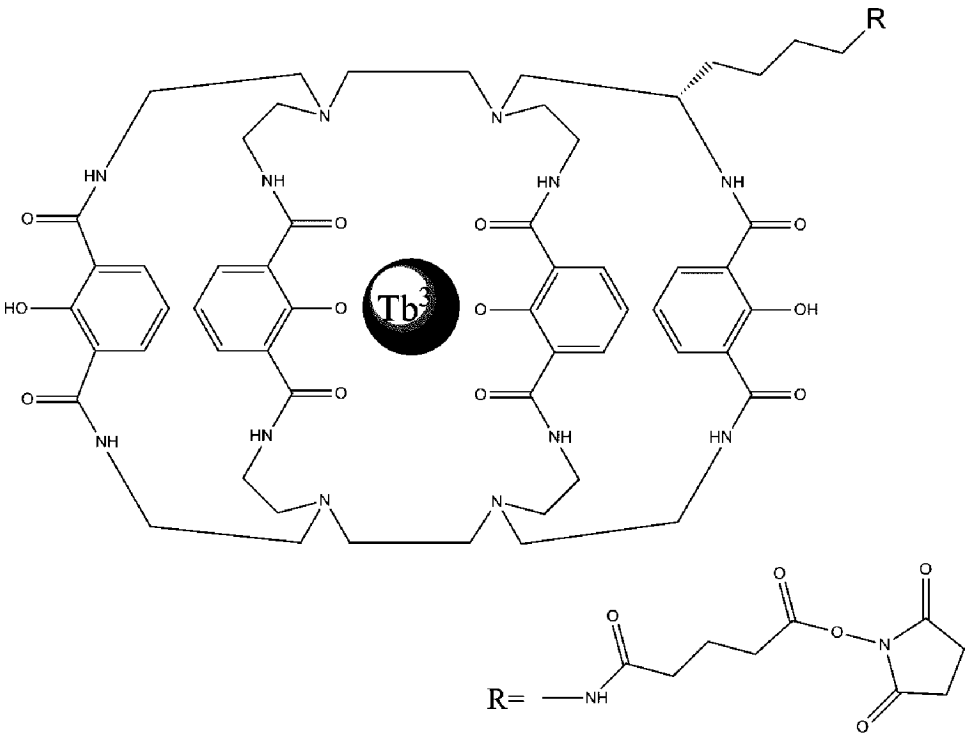
[0023] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird der Begriff „Lumineszenz“ in seiner üblichen, dem Fachmann geläufigen Bedeutung verstanden und bezieht sich auf die optische Strahlung eines physikalischen Systems, welche beim Übergang von einem angeregten Zustand in den Grundzustand entsteht.

[0024] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung bezieht sich der Begriff „transparente, elastische Membran“ auf eine Membran, deren optische Durchlässigkeit im Wellenlängenbereich der Absorption und Emission eines in die besagte Membran eingebetteten FRET-Paares liegt und deren mechanische Eigenschaften eine Verformung der besagten Membran durch Druckänderungen im Bereich von weniger als 100 Pa zulassen. Bevorzugt verformt sich die besagte Membran bereits bei Druckänderungen ab 80 Pa, mehr bevorzugt bei Druckänderungen ab 50 Pa.

[0025] In einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist der Donor ein Luminophor, welches vorzugsweise mindestens einen Lanthanoidkomplex umfasst.

[0026] In einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung handelt es sich bei mindestens einem Lanthanoidkomplex um einen Komplex von Tb, Eu oder Gemische aus diesen.

[0027] Als geeignete Lanthanoidkomplexe haben sich im Rahmen der vorliegenden Erfindung insbesondere die Lanthanoidkomplexe als geeignet herausgestellt, welche aus der Gruppe der Tb- und Eu-Komplexe ausgewählt sind, bespielsweise Lumi4Tb, Lanthascreen-Tb, Europium-Kryptate sowie Gemischen aus diesen. Formel (I) zeigt den N-Hydrosuccinimid-Ester des Lumi4Tb-Komplexes.



(I)

[0028] Als Akzeptor können alle Luminophore eingesetzt werden, deren Absorptionsspektrum mit dem Emissionsspektrum des als Donor verwendeten Luminophors überlappt.

[0029] In einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist der Akzeptor ein Luminophor, welches vorzugsweise mindestens einen Quantenpunkt und/oder ein organisches Fluorophor umfasst.

[0030] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird der Begriff „Quantenpunkt“ in seiner üblichen, dem Fachmann geläufigen Bedeutung verstanden und bezieht sich auf einen Kern aus kolloidalen Halbleiter-Partikeln, auf welchen mindestens eine Schale epitaktisch aufgeschichtet wird.

[0031] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung bezieht sich der Begriff „Kern“ auf Partikel, welche Halbleiter-Materialien umfassen.

[0032] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung bezieht sich der Begriff „Schalen“ auf Schichten umfassend Halbleiter-Materialien oder passivierende Materialien, welche den Kern umgeben.

[0033] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung bezieht sich der Begriff „epitaktisch“ auf das Aufbringen der einzelnen Schalen auf das Substrat, wobei die erste Schale auf den Kern aufgewachsen und die weiteren Schalen auf die jeweils äußerste Schale aufgewachsen werden.

[0034] In einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist mindestens ein Quantenpunkt, welcher als Akzeptor einsetzbar ist, ein halbleitendes Material, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus InAs, InP, GaAs, GaP, GaN, InGaAs, GaInP/InP, CdO, CdSe, CdS, CdTe, ZnO, ZnS, ZnSe, ZnTe, PbS, PbSe, PbTe, HgS, HgSe, HgTe sowie Gemische aus diesen.

[0035] Bevorzugt handelt es sich bei mindestens einem Quantenpunkt um einen Kern-Schale-Quantenpunkt aus einem CdSe-Kern und einer ZnS-Schale.

[0036] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird der Begriff „organisches Fluorophor“ in seiner üblichen, dem Fachmann geläufigen Bedeutung verstanden und bezieht sich auf organische Stoffe, welche nach dem Übergang in den angeregten Zustand spontan Licht emittieren. Dabei ist das emittierte Licht energieärmer als das vorher absorbierte.

[0037] In einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung handelt es sich bei mindestens einem organischen Fluorophor um einen Fluoreszenzfarbstoff, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Xanthenen, Rhodaminen, Alexa-Farbstoffen, Cyaninen, Cumarinen, Oxazinen, Perylenen, Naphthylimiden, Naphthyldiimiden, Stilbenen, Styrylen, Pyrromethenen sowie Gemischen aus diesen.

[0038] Bevorzugt werden Rhodamine, Alexa-Farbstoffe, Cyanine sowie Gemische aus diesen als organische Fluorophore eingesetzt.

[0039] In einer beispielhaften Ausführungsform handelt es sich beim Akzeptor um einen Quantenpunkt.

[0040] In einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst die transparente, elastische Membran ein polymerbasiertes Material. Bevorzugt handelt es sich bei dem besagten polymerbasierten Material um SEBS (Styren-Ethylen/Buthylen-Styren).

[0041] Bevorzugt umfasst die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Bestimmung von Drücken, insbesondere zur berührungsfreien Bestimmung von Drücken ein FRET-Paar, umfassend einen Komplex von Tb, Eu oder Gemische aus diesen als Donor und einen CdSe/ZnS-Quantenpunkt als Aktzeptor, wobei das besagte FRET-Paar in eine transparente, elastische Membran, umfassend SEBS, eingebettet ist.

[0042] In einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die Konzentration von Donor und Akzeptor innerhalb der transparenten, elastischen Membran so gewählt, dass sich Donor und Akzeptor bei Atmosphärendruck in einem Abstand von 1–20 nm zueinander befinden, bevorzugt befinden sich Donor und Akzeptor in einem Abstand von 1–15 nm zueinander, mehr bevorzugt in einem Abstand von 1–10 nm.

[0043] Bevorzugt liegt der Anteil an FRET-Paaren innerhalb der transparenten, elastischen Membran in einem Bereich von 0.001–0.015 Gew.-%, mehr bevorzugt in einem Bereich von 0.001–0.012 Gew.-%, besonders bevorzugt in einem Bereich von 0.001–0.01 Gew.-%, bezogen auf die gesamte transparente, elastische Membran.

[0044] In einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst die besagte Vorrichtung mindestens zwei transparente, elastische Membranschichten, welche polymerbasierte Materialien und/oder Metallfolien umfassen.

[0045] Das Verfahren zur berührungsfreien Bestimmung von Drücken gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst in einem Schritt (i) die Bereitstellung einer Vorrichtung, umfassend ein FRET-Paar, wobei das besagte FRET-Paar einen Donor und einen Akzeptor umfasst und in eine transparente, elastische Membran eingebettet ist.

[0046] Bevorzugt umfasst die transparente, elastische Membran ein polymerbasiertes Material.

[0047] Zur Herstellung der besagten Vorrichtung, umfassend ein FRET-Paar, werden beispielsweise ein polymerbasiertes Material, Donor und Akzeptor in (einem) geeigneten Lösungsmittel(n) gelöst und mittels Air-Brush oder Gießtechniken auf einen Träger aufgebracht. Die (das) Lösungsmittel werden (wird) anschließend ausgetrieben.

[0048] Für die besagte Vorrichtung, umfassend ein FRET-Paar, ist auch ein mehrlagiger Aufbau denkbar. Hierzu wird beispielsweise ein polymerbasiertes Material in (einem) geeigneten Lösungsmittel(n) gelöst und mittels Air-Brush oder Gießtechniken auf einen Träger aufgebracht. Die (das) Lösungsmittel werden (wird) anschließend ausgetrieben. Auf die erhaltene Schicht aus polymerbasiertem Material wird eine Lösung aufgebracht, umfassend besagte(s) Lösungsmittel, besagtes polymerbasiertes Material sowie Donor und Akzeptor. Nach erneutem Austreiben der (des) Lösungsmittel(s) wird auf die gleiche Weise eine weitere Schicht, umfassend besagtes polymerbasiertes Material, aufgetragen, so dass ein dreilagiger Drucksensor entsteht.

[0049] Geeignet ist jedes Lösungsmittel, in welchem sowohl das polymerbasierte Material als auch Donor und Akzeptor löslich sind. Bevorzugt wird Toluol als Lösungsmittel verwendet.

[0050] Bevorzugt wird die Dicke der transparenten, elastischen Membran so gewählt, dass die optische Durchlässigkeit im Wellenlängenbereich der Absorption und Emission eines in die besagte Membran eingebetteten FRET-Paares liegt. Bevorzugt liegt die Dicke der transparenten, elastischen Membran in einem Bereich von 0,0001–10 cm, mehr bevorzugt in einem Bereich von 0,0001–5 cm, besonders bevorzugt in einem Bereich von von 0,0001–2 cm.

[0051] Bevorzugt liegt die optische Durchlässigkeit der transparenten, elastischen Membran in einem Wellenlängenbereich von 300–1200 nm, mehr bevorzugt 250–1100 nm, besonders bevorzugt 200–1000 nm.

[0052] Das Verfahren zur berührungsfreien Bestimmung von Drücken gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst in einem Schritt (ii) die Messung der Intensität der durch druckabhängige Verformung der transparenten, elastischen Membran induzierten Lumineszenzänderung des FRET-Paares.

[0053] Wird die transparente, elastische Membran aus Schritt (i) einem Druck ausgesetzt, kommt es zu einer Verformung der Membran. Die Verformung ist umso stärker, je größer der Druck ist. Infolge der druckabhängigen Verformung vergrößert sich der mittlere Abstand der in die transparente, elastische Membran eingebetteten FRET-Paare zueinander, wodurch die Effizienz des Energietransfers sinkt. Mit sinkender Effizienz erhöhen sich die Lumineszenzintensität und die Lumineszenzabklingzeit des Donors, während sich die FRET-induzierte Signalintensität und die Signalabklingzeit der Akzeptorlumineszenz verringern, da weniger Energie transferiert wird. **Fig.** 1a bis **Fig.** 2b zeigen die druckabhängige Lumineszenzintensität von Donor und Akzeptor.

[0054] In einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist der Ablauf der Druckmessung mit dem beschriebenen Verfahren für alle Messungen folgender:
Der Drucksensor wird an der Stelle, an der der Druck bestimmt werden soll, angebracht. Aufbau und Größe sind frei wählbar und werden für die jeweilige Anwendung angepasst. Anschließend kann die Messung der Lumineszenz der FRET-Partner erfolgen. Dazu wird der Donor im spektralen Bereich seiner Absorption mit einer gepulsten Anregungslichtquelle bestrahlt, sofern die Messung zeitaufgelöst und/oder stationär erfolgen soll. Als geeignete Anregungslichtquelle für die besagte zeitaufgelöste und/oder stationäre Messung werden bevorzugt Laser, Blitzlichtlampen, LED- und/oder LD-Lampen verwendet. Falls die Messung nur stationär erfolgt, sind auch kontinuierliche Anregungslichtquellen einsetzbar. In diesem Fall werden bevorzugt Xe- und/oder LED-Lampen verwendet.

[0055] Die Messung der Lumineszenzintensitäten erfolgt im Bereich eines oder aller Emissionsmaxima der FRET-Paare. Da die Lumineszenz von Donor und Akzeptor von deren Abstand zueinander und damit vom Druck auf die transparente, elastische Membran abhängig ist, kann die Intensität bzw. die Abklingzeit derselben mit einer Kalibrierfunktion verglichen und so der herrschende Druck bestimmt werden. Die Kalibrierfunktion wird durch die vorherige Aufnahme der Lumineszensintensitäten bzw. Lumineszenzabklingkurven der verwendeten FRET-Paare im jeweils angepassten Drucksensor in Abhängigkeit vom Druck für das jeweils zur Messung benutzte Messgerät erstellt.

[0056] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur berührungsfreien Messung von Drücken kann durch Anpassungen im Aufbau für einen breiten Anwendungsbereich eingesetzt werden. Vorteilhaft ist der Einsatz insbesondere bei Druckmessungen, die berührungsfrei erfolgen müssen sowie solchen, in denen der Einsatz elektrisch basierter Drucksensoren aufgrund von Explosionsgefahr oder ähnlichen Gefahren mit einem zu hohen Risiko verbunden wäre.

[0057] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur berührungsfreien Messung von Drücken kann aufgrund ihrer vorteilhaften Eigenschaften insbesondere zur berührungsfreien Druckmessung in Gas-, Öl- und Benzintanks, Wetterforschungsflugzeugen, Arbeitsräumen mit Spezialatmosphäre, zur Bestimmung von Wettergrenzen, Blutdruckmessung, Muskelkontraktionsmessung, Überwachung chemischer Reaktionen sowie für Füllstandsmessungen, Leckagenmessungen in Flüssigkeits- bzw. Gasleitungen, in Schalldrucksensoren und/oder in der Urologie, Kardiologie oder Gastro-Enterologie eingesetzt werden.

Kurze Beschreibung der Figuren

[0058] Fig. 1a zeigt die Druckabhängigkeit der gemessenen Lumineszenzintensität eines Terbiumkomplex-Donors in einer SEBS-Membran.

[0059] Fig. 1b zeigt die Druckabhängigkeit der gemessenen FRET-induzierten Lumineszenzintensität von CdSe/ZnS-Quantenpunkten in einer SEBS-Membran.

[0060] Fig. 2a zeigt die Druckabhängigkeit der gemessenen Lumineszensabklingzeit eines Terbiumkomplex-Donors in einer SEBS-Membran.

[0061] Fig. 2b zeigt die Druckabhängigkeit der gemessenen FRET-induzierten Lumineszenzabklingzeit von CdSe/ZnS-Quantenpunkten.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 2006/0274813 A9 [0006]
- KR 20090090096379 A [0007]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- K. Prabakar, Usharani Ravi und J. Jayapandian, „Wireless Pressure Sensor Using Non-contact Differential Variable Reluctance Transducer“, Sensors& Transducers Journal, 2008, Vol. 99, Ausgabe 12, 102–108 [0003]
- P. Comodi, P. Francesco, „Improved calibration curve for the Sm2 + BaFCl pressure sensor.“, J. Appl. Cryst., 1993, Vol. 26, 843–845 [0004]
- M.J. Morris, J.F. Donovan, J.T. Kegelmann, S.D. Schwab, R.L. Levy, „Aerodynamic Applications of Pressure Sensitive Paint“, AIAA Journal, 1993, Vol. 31, Ausgabe 3, 419–425 [0005]

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur berührungsfreien Bestimmung von Drücken, umfassend ein FRET-Paar, wobei das besagte FRET-Paar
(i) einen Donor und einen Akzeptor umfasst und
(ii) in eine transparente, elastische Membran eingebettet ist.

2. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, wobei der Donor ein Luminophor ist, welches vorzugsweise mindestens einen Lanthanoidkomplex umfasst.

3. Vorrichtung gemäß Anspruch 2, wobei es sich bei mindestens einem Lanthanoidkomplex um einen Komplex von Tb, Eu oder Gemische aus diesen handelt.

4. Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Akzeptor ein Luminophor ist, welches mindestens
(i) einen Quantenpunkt und/oder
(ii) ein organisches Fluorophor
umfasst.

5. Vorrichtung gemäß Anspruch 4, wobei es sich bei
(i) mindestens einem Quantenpunkt um ein halbleitendes Material, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus InAs, InP, GaAs, GaP, GaN, InGaAs, GaInP/InP, CdO, CdSe, CdS, CdTe, ZnO, ZnS, ZnSe, ZnTe, PbS, PbSe, PbTe, HgS, HgSe, HgTe sowie Gemische aus diesen und
(ii) mindestens einem organischen Fluorophor um einen Fluoreszenzfarbstoff, ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Xanthenen, Rhodaminen, Alexa-Farbstoffen, Cyaninen, Cumarinen, Oxazinen, Perylenen, Naphthylimiden, Naphtyldiimiden, Stilbenen, Styrylen, Pyrromethenen sowie Gemische aus diesen
handelt.

6. Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei es sich beim Akzeptor um einen Quantenpunkt handelt.

7. Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die transparente, elastische Membran ein polymerbasiertes Material umfasst.

8. Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Konzentration von Donor und Akzeptor innerhalb der transparenten, elastischen Membran so gewählt ist, dass sich Donor und Akzeptor in einem Abstand von 1–20 nm zueinander befinden.

9. Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die besagte Vorrichtung mindestens zwei transparente, elastische Membranschichten umfasst und die besagten Membranschichten polymerbasierte Materialien und/oder Metallfolien umfassen.

10. Verfahren zur berührungsfreien Bestimmung von Drücken, umfassend die folgenden Schritte:
(i) Bereitstellung einer Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 1–9,
(ii) Messung der Intensität der durch druckabhängige Verformung der transparenten, elastischen Membran induzierten Lumineszenzänderung des FRET-Paares.

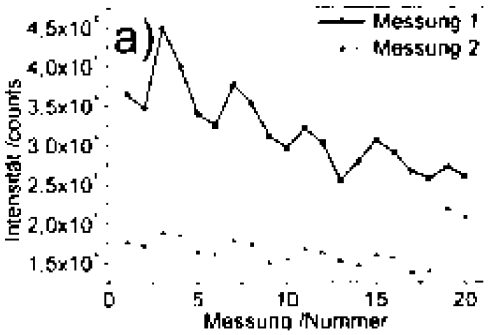
11. Verfahren gemäß Anspruch 10, wobei die Messung der Intensität der durch Druckänderung induzierten Lumineszenz des FRET-Paares gemäß Schritt (ii)
(a) zeitaufgelöst und/oder stationär mit Hilfe einer gepulsten Anregungslichtquelle
und/oder
(b) stationär mit Hilfe einer kontinuierlichen Lichtquelle
erfolgt.

12. Verwendung der Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 1–9 zur berührungsfreien Druckmessung in Gas-, Öl- und Benzintanks, Wetterforschungsflugzeugen, Arbeitsräumen mit Spezialatmosphäre, zur Bestimmung von Wettergrenzen, Blutdruckmessung, Muskelkontraktionsmessung, Überwachung

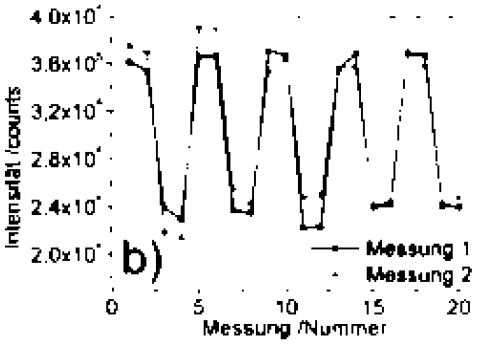
chemischer Reaktionen sowie für Füllstandsmessungen, Leckagenmessungen in Flüssigkeits- bzw. Gasleitungen, in Schalldrucksensoren und/oder in der Urologie, Kardiologie oder Gastro-Enterologie.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

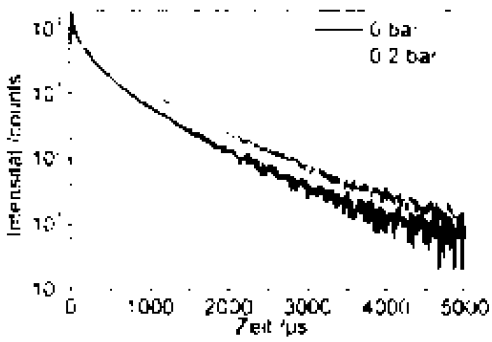
Anhängende Zeichnungen



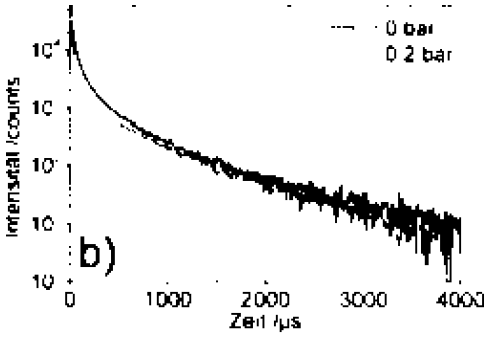
Figur 1a



Figur 1b



Figur 2a



Figur 2b