



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 53 821 B3 2004.07.22**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **102 53 821.2**
 (22) Anmeldetag: **18.11.2002**
 (43) Offenlegungstag: –
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **22.07.2004**

(51) Int Cl.?: **G01K 11/00**
G01K 11/12, G02B 6/00, G02B 6/20,
G02B 6/32

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber:
**RUBITEC Gesellschaft für Innovation und
 Technologie der Ruhr-Universität Bochum mbH,
 44801 Bochum, DE**

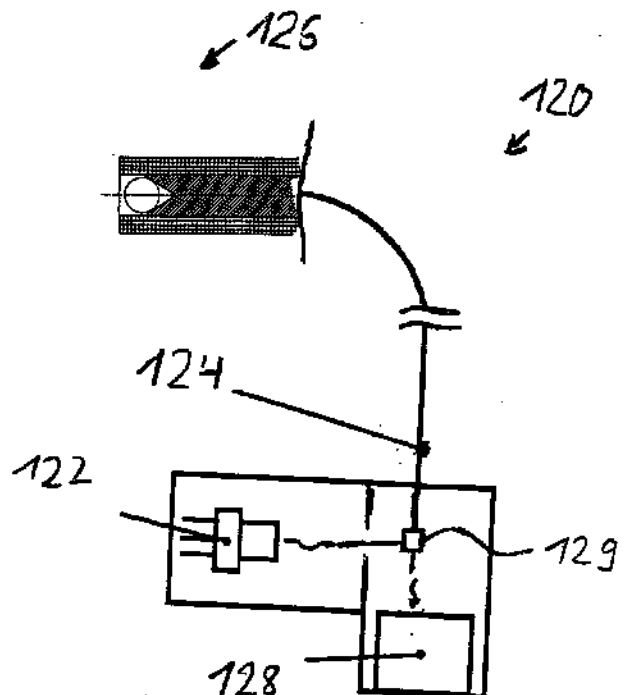
(74) Vertreter:
Wenzel & Kalkoff, 58452 Witten

(72) Erfinder:
Schweiger, Gustav, Prof. Dr., 47057 Duisburg, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 199 60 370 C2
DE 33 41 048 A1
GB 21 91 286 A
EP 12 65 059 A2
EP 07 16 291 A2
EP 02 14 040 B1

(54) Bezeichnung: **Messvorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Eine Vorrichtung zur Messung physikalischer Größen, insbesondere zur Temperaturmessung, wird vorgeschlagen, bei der mit einem oder mehreren Lichtwellenleitern Licht einer Lichtquelle in einen als Mikropartikel ausgebildeten optischen Resonatoren eingekoppelt und aus diesem wieder ausgekoppelt wird. Um eine möglichst gute optische und mechanische Ankopplung des Resonators an einen Lichtwellenleiter zu erreichen, wird der Resonator in einer am Lichtleiter gebildeten Aussparung angeordnet und dort mechanisch gehalten und optisch an den Lichtleiter angekoppelt. Alternativ wird eine keilförmige Meßspitze mit zwei aufeinander zulaufenden Stegen vorgeschlagen, zwischen denen in einem vorderen Teil der Meßspitze der Resonator angeordnet ist, wobei die Stege aus Lichtleiter-Material bestehen oder einen Teil aus Lichtleiter-Material aufweisen und an mindestens eine mit der Lichtquelle verbundene Lichtleiter-Faser angekoppelt sind.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Messung physikalischer Größen, insbesondere zur Temperaturmessung.

Stand der Technik

[0002] Aus der EP 0 716 291 A2 ist ein Sensor zur Messung physikalischer Größen, unter anderem auch der Temperatur bekannt. Hierzu wird mittels einer optischen Anordnung die Entfernung zu einem Gegenstand gemessen. Zur Temperaturmessung muss die Distanz mit der Temperatur variieren.

[0003] In der GB 2 191 286 A wird ein optischer Temperatursensor beschrieben, bei dem ein Glaskörper mittels einer Lichtquelle durchstrahlt wird. Durch eine temperaturabhängige Transmission des Glases kann mittels einer Detektoranordnung die Transmission gemessen werden und somit die Temperatur bestimmt werden.

[0004] Die Anordnung der EP 0 214 040 B1 ist der oben genannten ähnlich. Hier wird ein halbleitendes Material durchstrahlt, dessen Absorption temperaturabhängig ist.

[0005] Die EP 1 265 059 A2 beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Messung und Steuerung der Temperatur einer Glasfaserspitze durch temperaturabhängige Fluoreszenz. Hierbei wird ein fluoreszierendes Material auf der Spitze optisch angeregt und die Phasendifferenz zwischen dem Anregungssignal und dem emittierten Signal gemessen.

[0006] Aus der DE 33 41 048 A1 ist ein Faser-Optik-Thermometer bekannt, bei dem ein Abschnitt des Mantels einer Glasfaser durch ein Material ersetzt wird, dessen Brechungsindex temperaturabhängig ist. An einem Ende der Glasfaser befindet sich ein Spiegel, am anderen Ende befindet sich eine Vorrichtung mit der Licht in die Faser eingekoppelt und das reflektierte Licht detektiert wird. Durch Änderung der Temperatur ändert sich die Wellenleitung der Faser und somit das detektierte Signal.

[0007] Aus der DE 199 60 370 C2 eine Temperatur-Meßvorrichtung mit einem optischen Resonator bekannt. Der optische Resonator ist als Mikropartikel ausgebildet, in den mittels zu dünnen Spitzen geformter Lichtwellenleiter das Licht einer breitbandigen Lichtquelle (Laserdioden) eingekoppelt und zur Auswertung mittels eines optischen Spektrometers Licht aus dem Mikropartikel ausgekoppelt wird. Innerhalb des kugelförmigen Mikropartikels kommt es aufgrund von Totalreflexion an der Oberfläche zu einer Vielfachreflexion mit Überlagerung der Wellenzüge, wobei bei bestimmten Lichtwellenlängen optische Resonanz (Überhöhung der elektromagnetischen Feldamplitude im Inneren des Mikropartikels) auftritt. Hierbei sind die Resonanzeigenschaften des optischen Resonators aufgrund der thermischen Ausdehnung sowie der Änderung des Brechungsindex von der Umgebungstemperatur abhängig. Das aus-

gekoppelte Licht wird mit einem optischen Spektrometer beobachtet und das Resonanzspektrum in einen Temperaturwert umgerechnet.

[0008] Das in der DE 199 60 370 C2 beschriebene Temperatur-Meßverfahren weist eine große Anzahl von Vorteilen auf. Aufgrund der geringen Größe des Resonators eignet es sich zur Temperaturmessung mit hoher räumlicher Auflösung. Aufgrund des rein optischen Meßverfahrens ist der Sensor auch in explosionsgefährdeter Umgebung sowie im Umfeld starker elektromagnetischer Felder einsetzbar (bspw. Kernspintomographie, Mikrowellenofen etc.).

[0009] Bei dem in der DE 199 60 370 C2 beschriebenen Sensor erfolgt die Ein- und Auskopplung von Licht durch flexible optische Fasern, die zu Spitzen geformt sind, so daß sie sich auf wenige Mikrometer verjüngen. Diese Spitzen sind durch einen Photopolymer-Klebstoff mit dem Mikropartikel verbunden.

[0010] In der Praxis bietet dieser Aufbau einige Probleme. An den Photopolymer-Klebstoff werden erhebliche Anforderungen gestellt. Die Herstellung eines Sensors ist aufgrund der notwendigen exakten Positionierung und mechanischen Fixierung entsprechend aufwendig.

Aufgabenstellung

[0011] Es ist daher Aufgabe der Erfindung, die vorgenannte Meßvorrichtung zu verbessern, und einen für verschiedene praktische Meßanwendungen geeigneten, mit geringem Aufwand herzustellenden Sensor vorzuschlagen.

[0012] Diese Aufgabe wird gelöst einerseits durch eine Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der der Resonator in einer am Lichtleiter gebildeten Aussparung angeordnet ist und andererseits durch eine Vorrichtung nach Anspruch 11, bei der der Resonator in einer keilförmigen Meßspitze zwischen zwei aufeinander zulaufenden Stegen angeordnet ist. Abhängige Ansprüche beziehen sich jeweils auf vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung.

[0013] Bei der Lösung gemäß Anspruch 1 ist am Lichtleiter eine Aussparung gebildet und der Resonator – zumindest zum Teil – innerhalb dieser Aussparung angeordnet. Der Resonator ist innerhalb der Aussparung mechanisch gehalten und optisch an den Lichtleiter angekoppelt. Der Resonator liegt direkt am Lichtleiter-Material an und wird dort durch Einklemmen und/oder durch die zwischen dem Resonator und dem Lichtleiter wirkenden Adhäsionskräfte gehalten. Bevorzugt ist der Resonator mehr als zur Hälfte, besonders bevorzugt sogar vollständig in der Aussparung aufgenommen. Lichtleiter weisen üblicherweise einen lichtleitenden Kern und einen daran angeordneten Mantel auf. Die Aussparung ist bevorzugt gebildet im Bereich des Kerns.

[0014] Diese Lösung hat den Vorteil, daß durch die mechanische Halterung des Resonators direkt am Lichtleiter kein Klebstoff mehr notwendig ist. Zudem ist es auch nicht mehr notwendig die Lichtleiter-Fa-

sern zu dünnen Spitzen zu formen und am Resonator exakt zu positionieren. Sondern der Resonator ist in der Aussparung am Lichtleiter direkt gehalten und positioniert.

[0015] Der Resonator kann verschiedene Formen aufweisen, bei denen sich durch Totalreflexion an der Grenzfläche eine Resonanz ausbilden kann. Außer der bevorzugten sphärischen Form kommen z.B. auch zylindrische oder ellipsoide Formen in Frage. Es ist von Vorteil, wenn die Form der Öffnung im Lichtleiter auf die Form des Resonator abgestimmt ist. Für Resonatoren mit runden Querschnitten empfiehlt sich eine kegel- oder zylinderförmige Aussparung. Die Aussparung ist bevorzugt in Längsrichtung des Lichtleiters ausgerichtet und bildet eine Öffnung zum freien Ende des Lichtleiters hin.

[0016] Die mechanische Fixierung des Resonators am Lichtleiter kann auf verschiedene Arten erfolgen. Bevorzugt wird, daß der Resonator von dem Lichtleiter an mindestens zwei im Abstand voneinander angeordneten Stellen berührt und dort klemmend gehalten wird. Besonders bevorzugt werden ringförmige Kontaktstellen, wie sie sich zwischen einem sphärischen oder ellipsoiden Resonatorkörper und einer zylinder- oder kegelförmigen Aussparung ergeben. Durch das Anliegen an mindestens zwei Stellen, die in ausreichendem Abstand angeordnet sind, ergibt sich einerseits eine vorteilhafte, weitgehend tangentielle optische Einkopplung und andererseits eine feste mechanische Halterung durch die sich zwischen den Kontaktstellen ergebenden Klemm- und Adhäsionskräfte.

[0017] Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist nur ein Lichtleiter vorhanden, mit dem sowohl Licht von der Lichtquelle zum Resonator als auch in entgegengesetzter Ausbreitungsrichtung aus dem Resonator ausgekoppeltes Licht geführt wird. Diese Ausführung ist von erheblich einfacherem Aufbau als ein Sensor mit separatem Hin- und Rückleiter. Mittels eines Richtungskopplers in der Auswerteeinheit kann die Lichteinkopplung für die Anregung von der Lichtauskopplung für die Auswertung getrennt werden.

[0018] In einer bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei dem Lichtleiter um einen Hohlleiter. Der Resonator ist im Inneren des Hohlleiters angeordnet, wobei bevorzugt der Durchmesser des Resonators auf den Innendurchmesser des Hohlleiters abgestimmt ist, so daß sich ein guter optischer und mechanischer Kontakt zwischen dem Resonatorkörper und dem Hohlleiter ergibt. Der Innendurchmesser des Hohlleiters kann hierbei auch variieren, so daß sich bspw. eine Abstufung oder ein Übergangsbereich zwischen einem größeren Innendurchmesser nahe am freien Ende des Hohlleiters und einem kleineren Innendurchmesser in größerer Entfernung vom freien Ende ergibt.

[0019] Ist der Resonator im Übergangsbereich bzw. an der Stufe angeordnet, ergibt sich ein besonders guter mechanischer und optischer Kontakt zwischen

Hohlleiter und Resonator und eine exakte Positionierung des Resonators.

[0020] Der Lichtleiter mit dem in der Aussparung angeordneten Resonator kann auf verschiedene Weise gestaltet sein. So ist es bspw. möglich, daß sich der Lichtleiter an seinem freien Ende verjüngt. Um eine größere mechanische Flexibilität des Lichtleiters zum Einklemmen des Resonators zu erreichen, kann der Lichtleiter im Bereich seines freien Endes einen oder mehrere Längsschlitz aufweisen. Schließlich kann das Ende des Lichtleiters mit einer Kappe abgedeckt oder mit einer Vergußmasse verschlossen sein.

[0021] Bei der Lösung gemäß Anspruch 11 wird eine keilförmige Meßspitze vorgeschlagen, wobei in einem vorderen Teil der Meßspitze der Resonator angeordnet ist und am hinteren Teil der Meßspitze zwei Lichtleiter-Fasern angekoppelt sind. Die Meßspitze weist zwei einander gegenüber angeordnete, aufeinander zulaufende Stege auf, die mindestens zum Teil aus Lichtleiter-Material bestehen. Der Resonator ist zwischen den Stegen angeordnet.

[0022] In einer bevorzugten Ausführungsform weist der hintere Teil der Meßspitze einen Sockel mit Öffnungen zur Aufnahme von zwei Lichtleitern auf, bevorzugt handelsüblichen Lichtleiter-Fasern mit einem Durchmesser von bspw. 80 bis 125 µm. Die Keilform der Meßspitze ermöglicht dann die optische Ankopplung dieser beiden Lichtleiter an den Resonatorkörper, der einen Durchmesser von üblicherweise weniger als 100 µm, typischerweise im Bereich von 50 µm aufweist.

[0023] Bevorzugt ist der Resonator zwischen den Stegen mechanisch gehalten. Hierbei kann der Resonator direkt an den Stegen anliegen und so durch Klemm- und Adhäsionskräfte mechanisch gehalten sein. Die optische Ankopplung erfolgt hierbei durch das Lichtleiter-Material der Stege. Es kann aber auch vorgesehen sein, daß geringfügige Spalte zwischen dem Resonator und den Stegen verbleiben, über die der Kopplungsgrad eingestellt werden kann. Die Spaltbreite liegt bspw. bei weniger als 1 µm, bevorzugt in der Größenordnung der verwendeten Lichtwellenlänge. In diesem Fall liegt der Resonator an einer Grund- und/oder Deckplatte an und ist dort durch Klemm- und/oder Adhäsionskräfte gehalten. Grund- und/oder Eckplatte können zur Erhöhung der Flexibilität ein oder mehrere Längsschlitz aufweisen. Zur Verbesserung der Positionierung können Grund- und/oder Deckplatte auch eine in Längsrichtung verlaufende Führungsnut aufweisen, in der der Resonator aufgenommen ist.

[0024] Für die Meßvorrichtung, sowohl gemäß der Lösung nach Anspruch 1 als auch der Lösung nach Anspruch 11 sind eine Anzahl von Weiterbildungen möglich. So kann die Vorrichtung mehrere Resonatoren aufweisen. Diese können an denselben Lichtleitern bzw. an demselben Lichtleiter angekoppelt sein. Bspw. im Fall eines Hohlleiters können so mehrere Resonatoren an verschiedenen Stellen innerhalb des Hohlleiters aufgenommen sein. Ebenso können Bspw.

innerhalb der keilförmigen Meßspitze mehrere Resonatoren unterschiedlicher Größe hintereinander jeweils zwischen den Stegen angeordnet sein. Mehrere Resonatoren können einerseits zu einer gleichzeitigen Messung an verschiedenen Orten dienen. Andererseits können verschiedene Resonatoren auch für die Messung in verschiedenen Meßbereichen verwendet werden, so daß eine höhere Genauigkeit im jeweiligen Meßbereich bzw. eine Erweiterung des Meßbereichs möglich ist.

[0025] Bei der Ankopplung mehrerer Lichtleiter an denselben oder dieselben Lichtleiter ist es für die Signalauswertung notwendig, die Signale der verschiedenen Resonatoren zu unterscheiden, um die jeweiligen Meßwerte zu ermitteln. Dies kann bspw. über die Auswertung von Laufzeitinformationen erfolgen. Bevorzugt wird aber, daß die verschiedenen Resonatoren bei verschiedenen Licht-Wellenlängen Resonanzen aufweisen und auf diese Weise bei der Signalauswertung unterschieden werden.

[0026] Für die eigentliche Durchführung der Messung kann bspw. einerseits eine breitbandige Lichtquelle mit einem kontinuierlichem Spektrum verwendet werden, dessen spektrale Breite bevorzugt mindestens dem freien Spektralbereich bzw. Modenabstand des Resonators entspricht. Die Auswertung erfolgt dann frequenzselektiv um die Lage der Resonanz zu ermitteln. Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung wird aber eine Lichtquelle verwendet, die zur Erzeugung von Licht verschiedener Frequenzen angesteuert werden kann, bspw. eine durchstimmbare Laserdiode. Bei Anregung des oder der Resonator/Resonatoren mit dem durchstimmbaren Laser kann durch einfache Messung der Intensität des vom Resonator ausgekoppelten Lichts bei Anregung mit Licht der jeweiligen Frequenz die jeweilige Resonanzfrequenz des Resonators durch Ermittlung eines – mindestens lokalen – Intensitätsmaximums ermittelt werden. Aus der Lage der Resonanz kann dann auf den Meßwert für eine physikalische Größe (Temperatur) am Ort des jeweiligen Resonators geschlossen werden.

Ausführungsbeispiel

[0027] Nachfolgend werden Ausführungsformen der Erfindung anhand von Zeichnungen näher beschrieben. In den Zeichnungen zeigen:

[0028] **Fig. 1** Einen Längsschnitt durch eine erste Ausführungsform eines Sensors mit kegelförmiger Bohrung in einer Lichtleiter-Faser;

[0029] **Fig. 2** einen Längsschnitt durch eine zweite Ausführungsform eines Sensors mit einer zylinder- und kegelförmigen Bohrung in einem Lichtleiter;

[0030] **Fig. 3** einen Längsschnitt durch eine dritte Ausführungsform eines Sensors mit einem Mikroresonator in einem Hohlleiter;

[0031] **Fig. 4** einen Längsschnitt durch eine vierte Ausführungsform eines Sensors mit einem Mikroresonator in einem Hohlleiter mit gestuftem Innen-

durchmesser;

[0032] **Fig. 5** einen Längsschnitt durch eine fünfte Ausführungsform eines Sensors mit einem Hohlleiter mit Schlitz;

[0033] **Fig. 6** einen Längsschnitt durch eine sechste Ausführungsform eines Sensors mit einem Hohlleiter mit gestuftem Innendurchmesser und Schlitz;

[0034] **Fig. 7** einen Längsschnitt durch eine siebte Ausführungsform eines Sensors mit am Ende verjüngtem Lichtleiter;

[0035] **Fig. 8** einen Längsschnitt durch eine achte Ausführungsform eines Sensors mit einer Kappe als Abdeckung;

[0036] **Fig. 9** einen Längsschnitt durch eine neunte Ausführungsform eines Sensors mit einer Vergußmasse als Abdeckung;

[0037] **Fig. 10** einen Längsschnitt durch eine zehnte Ausführungsform eines Sensors mit mehreren Mikroresonatoren in einem Hohlleiter;

[0038] **Fig. 11** einen Längsschnitt durch eine elfte Ausführungsform eines Sensors mit mehreren Mikroresonatoren unterschiedlichen Durchmessers;

[0039] **Fig. 12** einen Längsschnitt durch eine schematische Darstellung von Komponenten einer Meßvorrichtung mit einem Sensor nach **Fig. 1**;

[0040] **Fig. 13** einen Längsschnitt durch eine zwölfte Ausführungsform eines Sensors in Form einer Meßspitze;

[0041] **Fig. 13a** eine vergrößerte Ansicht des Bereichs A aus **Fig. 13**;

[0042] **Fig. 13b** eine Ansicht des Querschnittes entlang der Linie B..B aus **Fig. 13a**;

[0043] **Fig. 14** eine stirnseitige Ansicht einer ersten Ausführungsform eines Sockels des Sensors aus **Fig. 13**;

[0044] **Fig. 15** eine stirnseitige Ansicht einer zweiten Ausführungsform eines Sockels des Sensors aus **Fig. 13**;

[0045] **Fig. 16** einen Querschnitt durch die Spitze einer dreizehnten Ausführungsform eines Sensors;

[0046] **Fig. 17** einen Querschnitt durch die Spitze einer vierzehnten Ausführungsform eines Sensors;

[0047] **Fig. 18** einen Querschnitt durch die Spitze einer fünfzehnten Ausführungsform eines Sensors;

[0048] **Fig. 19** eine schematische Darstellung von Komponenten einer zweiten Ausführungsform einer Meßvorrichtung mit dem Sensor aus **Fig. 13**.

[0049] **Fig. 1** zeigt in einer Längsschnitt-Ansicht das Ende eines Lichtwellenleiters **10** mit einem daran angekoppelten, sphärischen optischen Resonator **12**. Der an den Lichtwellen-Leiter angekoppelte Resonator **12** bildet einen Sensor, mit dem physikalische Größen, wie die Temperatur erfaßt werden können. Der Lichtleiter dient hierbei zur Verbindung des Sensors mit einer Steuerungs- und Auswerteeinheit, wie im Hinblick auf **Fig. 12** erläutert wird.

[0050] Bei dem Lichtleiter **10** handelt es sich um eine handelsübliche Lichtleiter-Faser, bspw. eine Multimodenfaser mit einem lichtleitenden Kern **14** und einem transparenten Mantel **16**. Der Lichtleiter

10 ist von rundem Querschnitt. Er kann zusätzlich einen äußeren Schutzmantel (nicht dargestellt) als mechanischen Schutz aufweisen. Der Lichtleiter **10** kann einen beliebigen Durchmesser aufweisen. Im dargestellten Beispiel beträgt der Durchmesser des Kerns **14** ca. 100 µm.

[0051] Der optische Resonator **12** ist im dargestellten Beispiel als sphärischer Mikropartikel aus einem transparenten, homogenen Material hergestellt. Die optischen Resonatoren können aber auch aus einem Kern und einer oder mehreren Schichten mit unterschiedlichem Brechungsindex bestehen. Der Kern kann hohl, evakuiert oder gasgefüllt sein. Er weist einen Durchmesser von im dargestellten Beispiel 60 µm auf.

[0052] Der Resonator **12** ist innerhalb einer kegelförmigen Aussparung **18** im lichtleitenden Kern **14** des Lichtleiters **10** angeordnet. Die kegelförmige Aussparung **18** bildet am freien Ende des Lichtleiters **10** eine runde Öffnung in der Stirnseite **20**. Der Resonator **12** ist vollständig innerhalb der Aussparung **18** aufgenommen und liegt an den Kegelflächen an. Es bildet sich so eine im wesentlichen ringförmige Kontaktzone des Kerns **14** mit dem Resonator **12**. Durch die Klemmwirkung aufgrund der Kegelform und durch Adhäsionskräfte, die zwischen dem Mikropartikel und dem umgebenden Kern **14** des Lichtleiters **10** wirksam sind und die bei derartig kleinen Körpern eine erhebliche Rolle spielen, ist der Resonator **12** in der Aussparung **18** mechanisch fixiert. Eine zusätzliche Fixierung, bspw. durch Klebstoff, ist nicht notwendig.

[0053] Die Aussparung **18** kann bspw. durch Beschuß mit Ionen oder durch Abschmelzen oder Abdampfen mit Laser erzeugt werden. Weiter kommt eine Herstellung der Aussparung durch thermoplastische Verformung oder mechanische Entfernung in Frage. Die Aussparung kann auch direkt bei der Herstellung der Glasfaser erzeugt werden.

[0054] Im dargestellten Beispiel beträgt der Öffnungswinkel des Kegels ca. 40°. Je geringer dieser Winkel gewählt wird, desto stärker ergibt sich eine Einklemm-Wirkung. Eine stärkere Einklemm-Wirkung wird bei kleineren Winkeln erzielt. Bevorzugt werden hierfür Öffnungswinkel von weniger als 30°, besonders bevorzugt sogar 15° oder weniger. Es ist aber zu beachten, daß im Bereich derartig kleiner Körper Adhäsionskräfte ebenfalls eine Rolle spielen.

[0055] Vom Winkel ist auch der Durchmesser des ringförmigen Bereichs abhängig, in dem der Resonator **12** mit dem Lichtleiter **10** in Kontakt steht. Es wird bevorzugt, daß dieser Durchmesser (d.h. der Abstand zweier gegenüberliegender Berührungsstellen) größer ist als der halbe Durchmesser des Resonators **12**.

[0056] Der Resonator **12** kann dann von vorne in die Öffnung eingedrückt werden, bis er ausreichend fixiert ist.

[0057] Der Resonator **12** ist durch das Anliegen an dem Material des Kerns **14** mit dem Lichtleiter **10**

auch optisch gekoppelt. Licht, das durch den Lichtleiter **10** geleitet wird, wird im Bereich der Berührungsstellen in den Resonator **12** eingekoppelt. Die Geometrie bestimmt hierbei den Kopplungsgrad, wobei die Modenanpassung zu berücksichtigen ist. Ein hoher Kopplungsgrad ist zwar von Vorteil, aber keine zwingende Voraussetzung. Aufgrund der optischen Eigenschaften des Resonators **12** (Brechungsindex) kommt es zu einer vielfachen Totalreflexion an der Oberfläche und so zur Ausbildung eines Überlagerungsmusters. Bei phasenrichtiger Überlagerung der Wellenzüge kommt es zu einer Überhöhung der elektromagnetischen Feldamplitude, bezeichnet als optische Resonanz. Wie in der DE 199 60 370 C2 beschrieben, die hinsichtlich der Aussagen zur Herstellung, Form und Abmessung des Mikropartikels sowie bezüglich des verwendeten Meßprinzips hier vollständig einbezogen werden soll, kann dieser Effekt für die Temperaturmessung ausgenutzt werden.

[0058] Eine entsprechende Meßvorrichtung **120** ist in symbolischer Form in **Fig. 12** dargestellt. Eine Lichtquelle **122** – im dargestellten Beispiel eine durchstimmbare Laserdiode – liefert Laserlicht einer bestimmten, einstellbaren Wellenlänge, das über einen Richtungskoppler **129** in den Lichtleiter **124** eingekoppelt wird und sich in diesem Lichtleiter in einer ersten Ausbreitungsrichtung bis zu seiner Spitze **126** ausbreitet.

[0059] Die in **Fig. 12** dargestellte Spitze **126** des Lichtleiters weist einen Resonator auf und entspricht der ersten Ausführungsform eines Sensors (**Fig. 1**). Das Licht wird in den Resonator eingekoppelt. Der Lichtleiter **10** dient gleichzeitig auch zur Auskopplung von Licht aus dem optischen Resonator **12**, das dann in entgegengesetzter Ausbreitungsrichtung zu einer Auswerteeinheit **128** geleitet wird. Hierbei wird mit Hilfe des Richtungskopplers **129** sichergestellt, daß nur das im Lichtleiter **124** zurückgeleitete Licht auf die Auswerteeinheit **128** gelangt.

[0060] Die Messung kann nun wie in der DE 199 60 370 C2 beschrieben erfolgen, indem von der Laserdiode **122** Licht einer gewissen Spektralbreite, die mindestens dem Modenabstand des Resonators entspricht, eingekoppelt und das ausgekoppelte Licht mittels eines frequenzselektiven Auswertemittels wie eines optischen Spektrometers betrachtet wird.

[0061] Alternativ ist es auch möglich, eine durchstimmbare Laserdiode **122** zu verwenden. Die Messung erfolgt dann dadurch, daß die Frequenz des durchstimmbaren Lasers verändert wird und synchron dazu die Amplitude des aus der Faser in die Detektoreinheit **128** zurück transportierten Lichtes gemessen wird. Als Detektor wird vorzugsweise ein Halbleiterlichtdetektor (Fotodiode etc.) verwendet. Im Resonanzfall steigt die Amplitude des aus der Faser zurück in die Detektoreinheit gelangenden Lichtes stark an. Da die Frequenz des Lasers bekannt ist, bei der diese Resonanz gemessen wird, kann daraus die Temperatur bestimmt werden. Die Zuordnung von Resonanzfrequenz zum jeweiligen Temperatur-Meß-

wert erfolgt über eine analytische Betrachtung oder, bevorzugt, anhand einer vorherigen Kalibrierung.

[0062] Nachfolgend werden anhand der **Fig. 2** bis **11** weitere, alternative Ausführungsformen eines Lichtleiters mit einem oder mehreren daran angekopplelten optischen Resonatoren zur Verwendung in einer Meßvorrichtung gemäß **Fig. 12** beschrieben. Hierbei ist der optische Resonator **12** jeweils als sphärischer Resonator dargestellt. Alternativ kann der Resonator **12** auch andere Formen, z.B. ellipsoide, annehmen, bei denen die Ausbildung optischer Resonanz möglich ist. Sämtliche der in den **Fig. 1** bis **11** dargestellten Ausführungsformen verwenden nur einen Lichtleiter sowohl zur Ein- als auch zur Auskopplung von Licht in den bzw. aus dem optischen Resonator.

[0063] Bei der zweiten Ausführungsform gemäß **Fig. 2** wird dieselbe Multimodenfaser **10** wie in **Fig. 1** verwendet. Der Resonator **12** weist hier einen etwas größeren Durchmesser von ca. 90 µm auf. Der Lichtleiter **10a** weist eine Aussparung **18a** mit einem im vorderen Bereich zylindrischen Abschnitt und im hinteren Bereich kegelförmigen Abschnitt auf.

[0064] Die erste und die zweite Ausführungsform stimmen darin überein, daß eine gute Kopplung zwischen der Lichtleiter-Faser und dem optischen Resonator auf einer ringförmigen Fläche erfolgt. In die kegelförmige Aussparung **18** bzw. den hinteren, kegelförmigen Bereich der Aussparung **18a** können Mikroresonatoren unterschiedlicher Größe eingesetzt werden, die dann stets in Kontakt mit der Kegelfläche sind. Ist die Aussparung ganz (nicht gezeigt) oder teilweise zylinderförmig (wie in **Fig. 2**), kann durch Verwendung eines Resonators passender Größe ein gewünschter Abstand zwischen dem lichtleitenden Kern **14** und dem Mikroresonator eingehalten werden.

[0065] In den **Fig. 3** bis **9** sind Sensoren mit Kopplung jeweils eines Resonators **12** mit optischen Hohlleitern gezeigt. Die Hohlleiter weisen runden Querschnitt auf. Die Lichtleitung erfolgt innerhalb eines röhrenförmigen Lichtleiters. Um den Lichtleiter ist ein transparenter Mantel angeordnet sowie ggfs. eine weitere, mechanische Schutzhülle, die hier nicht dargestellt sind. Optische Hohlleiter sind mit Innendurchmessern von 50 bis 250 µm handelsüblich.

[0066] Bei dem in **Fig. 3** dargestellten Sensor **30** ist der kugelförmige Mikroresonator **12** in den Innenraum eines Hohlleiters **34** eingeschoben. Der Resonator **12** ist klemmend im Inneren des Lichtleiters **34** aufgenommen und steht über eine ringförmige Mantellinie in Kontakt mit dem Lichtleiter-Material **32**. Besonders bei klemmender Aufnahme eines Resonators in einem Hohlleiter ist die Verwendung eines ellipsoiden Resonators (nicht dargestellt) vorteilhaft. Hier kann die Ausdehnung in Längsrichtung des Hohlleiters größer sein als in Querschnittsrichtung. Eine Veränderung der Abmessungen des Resonators kann dann bspw. vor allem die Längsachse betreffen, so daß die Kontaktlinie und die klemmende

Aufnahme zwischen Hohlleiter und Resonator weitgehend unverändert bleibt.

[0067] Der Sensor **30** kann durch Einschieben des auf den Innendurchmesser des Lichtleiters **34** abgestimmten Resonators von der vorderen Öffnung her hergestellt werden. Der Resonator **12** ist vollständig im Innenraum aufgenommen. Optische Ein- und Auskopplung erfolgt entlang der gesamten Kontaktlinie. Bei der in **Fig. 3** gezeigten Ausführungsform, bei der der Durchmesser des Resonators **12** im wesentlichen mit dem Innendurchmesser des Lichtleiters **34** übereinstimmt, kommt es zu einer exakt tangentialen Lichteinkopplung.

[0068] Bei der in **Fig. 4** gezeigten vierten Ausführungsform handelt es sich wie in **Fig. 3** um die Kopplung eines Resonators **12** an einen Hohlleiter **44**. Der Hohlleiter **44** zeigt in diesem Fall einen stufenförmigen Ansatz **46**. Dieser Ansatz **46** kann als echte Stufe (nicht dargestellt) oder, wie in **Fig. 4** gezeigt, als Teil einer Kegelfläche ausgebildet sein. Durch den stufenförmigen Ansatz ist die axiale Position des Resonators **12** festgelegt und gleichzeitig eine automatische Zentrierung erreicht. Die Einkopplung kann über den Ansatz **46** oder über den dünnen zylindrischen Teil des Hohlleiters **44** erfolgen. Damit ergibt sich eine hohe Flexibilität in der Anpassung der Hohlleitermoden und der Resonatormoden.

[0069] Die fünfte und sechste Ausführungsform gemäß **Fig. 5** und **Fig. 6** entspricht jeweils der dritten und vierten Ausführungsform mit dem Unterschied, daß am Ende des jeweiligen Hohlleiters ein Längsschlitz **52**, **62** vorgesehen ist. Auf diese Weise wird die Elastizität des Hohlleiters an der Spitze erhöht, so daß eine Anpassung des Durchmessers an den Resonatoraußendurchmesser beim Eindringen möglich ist. Die dann entstehenden elastischen Kräfte sorgen gleichzeitig für eine Fixierung des Resonators **12** im Bereich der Spitze.

[0070] In **Fig. 7** ist ein Sensor **70** dargestellt, bei dem sich der lichtführende Mantel **72** des Hohlleiters zur Spitze in einem Bereich **74** verjüngt. Durch diese Verjüngung wird eine bessere räumliche Überlagerung der Resonatormoden mit den Hohlleitermoden sichergestellt.

[0071] In den **Fig. 8** und **9** sind eine achte und eine neunte Ausführungsform **80**, **90** von Sensoren dargestellt. Es handelt sich um Hohlleiter mit daran angekoppltem Resonatorkörper. Bei der achten Ausführungsform wird zur Isolation eine Kappe **82** auf den Hohlleiter geschoben und dort in geeigneter Weise fixiert. Bei der neunten Ausführungsform wird der Hohlleiter mit dem eingebrachten Mikroresonator mit einer Vergußmasse **92** vergossen. Dieser Verschuß kann mit einem aushärtenden Kleber oder Kunststoff oder sonstigen Materialien erfolgen.

[0072] Die jeweiligen Merkmale der verschiedenen vorgenannten Ausführungsformen (Längsbohrung bzw. Hohlleiter, Zylinder- bzw. Kegelform, Schlitz, Abstufung, Verjüngung, Kappe, Vergießen) können selbstverständlich für eine konkrete Anwendung be-

liebig kombiniert werden. Insofern sind die in den Fig. 1 bis 9 gezeigten Sensoren lediglich als beispielhafte Kombinationen dieser Merkmale anzusehen.

[0073] Die Fig. 10 und 11 zeigen eine zehnte und eine elfte Ausführungsform **100**, **110** von Sensoren. Bei den Sensoren **110** sind mehrere Resonatoren **12a**, **12b**, **12c**, **12d**, **12e** vorgesehen, von denen jeweils mehrere an denselben Lichtleiter angekoppelt sind.

[0074] Bei der zehnten Ausführungsform sind analog zur Aufnahme eines Resonators bei der dritten Ausführungsform in einem Hohlleiter **102** mehrere im Abstand angeordnete Resonatoren **12a**, **12b**, **12c** vorgesehen, von denen hier drei dargestellt sind. Diese sind mit Distanzstücken **104a**, **104b**, **104c** auf einer bestimmten Entfernung voneinander gehalten. Alternativ können sie auch durch Reibungs- und/oder Adhäsionskräfte an dem jeweiligen Ort fixiert sein. Die Resonatoren **12a**, **12b**, **12c** sind entsprechend der Kopplung beim dritten Ausführungsbeispiel gemeinsam an den Lichtleiter **102** angekoppelt.

[0075] Im dargestellten Beispiel sind die Resonatoren **12a**, **12b**, **12c** so ausgeführt, daß sie bei unterschiedlichen Frequenzen des eingekoppelten Lichts in Resonanz geraten. Dies kann durch Verwendung von Materialien mit unterschiedlichem Brechungsindex erreicht werden oder durch ellipsoide Resonatoren (nicht dargestellt), bei denen eine Achse dem Innendurchmesser des Lichtleiters **102** entspricht und die andere in Längsrichtung verlaufende Achse unterschiedlich groß ist, so daß die jeweils gewünschten, voneinander abweichenden Resonanzfrequenzen entstehen.

[0076] Fig. 11 zeigt den Sensor **110** gemäß der elften Ausführungsform, bei dem unterschiedlich große Resonatoren **12d**, **12e** an denselben, im vorliegenden Beispiel mehrfach gestuften Hohlleiter **112** angekoppelt sind. Die Resonatoren **12d**, **12e** weisen unterschiedliche Resonanzfrequenzen auf. Sie können aus demselben Material bestehen.

[0077] Die Verwendung von mehreren Resonatoren beim zehnten und elften Ausführungsbeispiel kann verschiedene Vorteile haben. Einerseits kann so bei einmaligem Positionieren des Sensors **100** die Temperatur an verschiedenen Orten, nämlich im Bereich der jeweiligen Resonatoren **12a**, **12b**, **12c** gemessen werden. Zum anderen kann mit einem Sensor, der über unterschiedliche Resonatoren verfügt, der Temperatur-Meßbereich erweitert bzw. die Genauigkeit der Messung erhöht werden. Dies kann bspw. das Resonator-Material betreffen. Die thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Polymeren und Glas bspw. unterscheiden sich um eine Größenordnung. Bei gleichzeitiger Verwendung von Resonatoren beider Materialien kann bspw. durch einen Glas-Resonator ein breiter Meßbereich erreicht werden, aber innerhalb eines bestimmten Bereichs davon eine hohe Genauigkeit durch einen geeigneten Polymer-Resonator erzielt werden.

[0078] In Fig. 13 ist eine zwölfte Ausführungsform

130 eines Sensors gezeigt. Es handelt sich um eine Vorrichtung zur Kopplung eines optischen Mikroresonators **12** mit zwei handelsüblichen Lichtleiter-Fasern.

[0079] Der gesamte Meßaufbau ist in Fig. 19 dargestellt. Auch hier wird wie in der DE 199 60 370 C2 beschrieben eine physikalische Größe am Ort des Resonators – hier die Temperatur – gemessen, indem das Licht einer Laserdiode **192** über einen ersten Lichtleiter **194** zum Sensor **130** geleitet und dort in einen Mikroresonator eingekoppelt wird. Das aus dem Mikroresonator ausgekoppelte Licht wird über einen zweiten Lichtleiter **195** zur Meßvorrichtung zurückgeleitet und auf eine Auswerteeinheit **198** gegeben. Die Auswertung erfolgt wie vorstehend im Hinblick auf Fig. 12 erläutert. Die Meßvorrichtung **190** unterscheidet sich von der Meßvorrichtung **120** aus Fig. 12 dadurch, daß zur Ankopplung des Sensors **130** an die Meßvorrichtung zwei Lichtleiter verwendet werden.

[0080] Der in Fig. 13 dargestellte Sensor **130** weist einen Sockel **131** und eine keilförmige Meßspitze **132** auf. Die Meßspitze **132** ist gebildet durch zwei Stege **133a**, **133b**, die zur Spitze hin aufeinander zulaufen. Im in Fig. 13a vergrößert dargestellten Bereich des Endes der Meßspitze **132** ist der optische Resonator **12** zwischen den Stegen **133a**, **133b** angeordnet, wobei er beidseitig an den Stegen anliegt und durch Klemm- und Adhäsionskräfte dort gehalten ist.

[0081] Wie im Querschnitt von Fig. 13b erkennbar ist, weisen die Stege **133a**, **133b** Streifen **134a**, **134b** aus Lichtleiter-Material auf. Die Streifen **134a**, **134b** verlaufen mittig auf der Innenseite entlang der gesamten Länge der Stege **133a**, **133b**. Sie liegen wie in Fig. 13b gezeigt am Resonator **12** tangential an.

[0082] Wie weiter aus Fig. 13b ersichtlich, weist die Meßspitze **132** weiter eine Grundplatte **135** und eine Deckplatte **136** auf, die den Bereich zwischen den Stegen **133a**, **133b** nach oben und unten abschließen. Die Grundplatte **135** weist hierbei im Bereich des Endes der Spitze zwei Schlitze **138** auf. So wird die Elastizität der Seitenstege erhöht und diese können auseinanderfedern, um den Mikroresonator zwischen sich aufzunehmen. Durch die elastischen Kräfte wird eine gute Fixierung des Resonators **12** erzielt.

[0083] Die keilförmige Ausführung des Sensors **130** erlaubt den Übergang von der Größe der optischen Resonatoren, deren Abmessung typischerweise in der Größenordnung von weniger als 100 µm liegen, auf den Abstand zweier nebeneinanderliegender handelsüblicher Glasfasern, deren Kernabstand in der Größenordnung von einem halben Millimeter liegt. Der Keilwinkel ist so gewählt, daß der Resonator **12** zwischen den Seitenstegen **133a**, **133b** eingedrückt und dort durch Reibungs- und Adhäsionskräfte fixiert werden kann. Durch die keilförmige Ausführung ist es möglich, verschiedene Resonatorgrößen zu verwenden. Ggfs. können auch mehrere Resonatoren unterschiedlichen Durchmessers an unterschiedlichen Stellen zwischen den Stegen **133a**, **133b** angeordnet werden.

[0084] Die Meßspitze **132** kann bspw. mit Hilfe von Verfahren hergestellt werden, wie sie bei der Herstellung von integrierten Schaltungen verwendet werden.

[0085] Der Sockel **131** dient zum Anschluß der Lichtleiter. Hier sind verschiedene Ausführungen möglich. **Fig. 14** zeigt den Sockel **131** in einer stirnseitigen Ansicht mit zwei Öffnungen **142a**, **142b** zum Einstecken herkömmlicher Lichtleiter-Fasern. Die Löcher **142a**, **142b** sind in den quaderförmigen Sockel **131** gebohrt. Die Lichtleiter-Streifen **134a**, **134b** sind durch Kanäle **144a**, **144b** bis zu den Einstecklöchern **142a**, **142b** geführt, so daß in die Öffnungen **142a**, **142b** eingesteckte Lichtleiter-Fasern optisch daran angekoppelt sind.

[0086] **Fig. 15** zeigt eine alternative Ausführungsform eines Sockels **150** der anstatt des Sockels **131** verwendet werden kann. Der Sockel **150** ist als Schlitzsockel ausgeführt. Die Lichtleiter-Fasern werden in Schlitz **152a**, **152b** eingedrückt und dort geeignet fixiert, bspw. eingegossen oder eingeklebt.

[0087] In den **Fig. 16 bis 18** sind die dreizehnte, vierzehnte und fünfzehnte Ausführungsform eines Sensors dargestellt. Gezeigt sind jeweils Querschnitts-Darstellungen im Bereich des Resonators **12**. Die jeweiligen Sensoren entsprechen vom Aufbau her der keilförmigen Meßspitze **130** mit Sockel **131** aus **Fig. 13**.

[0088] Die dreizehnte Ausführungsform (**Fig. 16**) entspricht dem in **Fig. 13b** gezeigten Sensor mit Stegen **133a**, **133b**, Deckplatte **136** und Bodenplatte **135**. Hier allerdings liegt der Resonator **12** nicht direkt an den Stegen **133a**, **133b** an, sondern in der Bodenplatte **135** ist eine Führungsnut **160** gebildet. Zur Zentrierung des Mikroresonators, der in die Führungsnut **160** eingelegt wird. Zwischen den Lichtleitern **134a**, **134b** in den Stegen **133a**, **133b** und dem Resonator **12** besteht ein geringfügiger Abstand. Über den Abstand kann der Kopplungsgrad zwischen den Lichtleitern **134a**, **134b** und dem Resonator **12** beeinflußt werden.

[0089] Bei der vierzehnten Ausführungsform (**Fig. 17**) bestehen sowohl die Stege **133a**, **133b** als auch die Grundplatte **135** vollständig aus Lichtleiter-Material, was die Herstellung wesentlich erleichtert. Auch hier sind die Stege im Bereich des Sockels jeweils an einzelne Lichtleiter-Fasern zur Ein- bzw. Auskopplung von Licht angeschlossen. Aufgrund der durchgängigen, lichtleitenden Grundplatte **135** kommt es zwar in geringem Maße zu Übersprechen zwischen Hin- und Rückleiter. Aufgrund der geometrischen Verhältnisse ist dieser Effekt aber begrenzt.

[0090] Auch hier besitzt die Grundplatte **135** eine mittlere Vertiefung zur Zentrierung des Resonators **12**, die ggfs. auch entfallen kann.

[0091] Alternativ zur Ausführung der Stege wie in **Fig. 13b** gezeigt mit Streifen **134a**, **134b** aus Lichtleiter-Material können die Stege **133a**, **133b** wie bei der fünfzehnten Ausführungsform (**Fig. 18**) gezeigt, auch vollständig aus Lichtleiter-Material bestehen. Dies

kann kombiniert werden bspw. mit der Einklemmung des Resonators **12** zwischen den Stegen, wobei Schlitz **138** in Grund- oder Deckplatte vorteilhaft sind. Alternativ kann auch, wie in **Fig. 18** dargestellt, eine Zentrierung des Resonators **12** zwischen den Stegen **133a**, **133b** in einer Führungsnut **180** erfolgen, wobei es dann möglich ist, einen gewissen Abstand zwischen den vollständig aus Lichtleiter-Material bestehenden Stegen **133a**, **133b** und dem Mikroresonator **12** vorzusehen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Messung physikalischer Größen mit

– einer Lichtquelle (**122**) und einem Lichtleiter (**124**), um das Licht der Lichtquelle (**122**) in einen als Mikropartikel ausgebildeten optischen Resonator (**12**) einzukoppeln,

– und Mitteln (**128**) zur Beobachtung von aus dem Resonator (**12**) ausgekoppeltem Licht, **dadurch gekennzeichnet, daß**

– der Resonator (**12**) in einer am Lichtleiter (**124**) gebildeten Aussparung (**18**) mindestens teilweise aufgenommen und dort mechanisch gehalten und optisch an den Lichtleiter (**124**) angekoppelt ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der

– die Aussparung (**18**) an einem freien Ende des Lichtleiters (**124**) gebildet ist und eine Öffnung (**20**) zur Stirnseite des Lichtleiters (**124**) aufweist.

3. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der

– nur ein Lichtleiter (**124**) vorhanden ist,

– wobei sich in dem Lichtleiter (**124**) das Licht von der Lichtquelle (**122**) zum Resonator (**12**) in einer ersten Ausbreitungsrichtung ausbreitet, und vom Resonator (**12**) in einer zweiten, entgegengesetzten Ausbreitungsrichtung.

4. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der

– der Resonator (**12**) von dem Lichtleiter (**124**) durch Anliegen an mindestens zwei im Abstand voneinander angeordneten Stellen klemmend gehalten ist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, bei der

– der Lichtleiter (**124**) sich an dem freien Ende, an dem die Aussparung ist, verjüngt.

6. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der

– der Lichtleiter (**124**) ein Hohlleiter ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, bei der

– der Hohlleiter an mindestens einer ersten, nahe dem freien Ende angeordneten Stelle einen größeren Innendurchmesser aufweist als an einer zweiten,

weiter von dem freien Ende entfernten Stelle.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 7, bei der

– der Lichtleiter (124) an dem freien Ende mit einer Kappe (82) abgedeckt ist.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 7, bei der

– der Lichtleiter (124) an dem freien Ende mit einer Vergußmasse (92) verschlossen ist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 9, bei der

– der Lichtleiter (124) an dem freien Ende mindestens einen Längsschlitz (52, 62) aufweist.

11. Vorrichtung zur Messung physikalischer Größen mit

– einer Lichtquelle (192) und mehreren Lichtleitern (194, 195) um Licht der Lichtquelle (192) in einen als Mikropartikel ausgebildeten Resonator (12) einzukoppeln,

– und Mitteln (198) zur Beobachtung von aus dem Resonator (12) ausgekoppeltem Licht, gekennzeichnet durch

– eine keilförmige Meßspitze (132) mit zwei aufeinander zulaufenden Stegen (134a, 134b), zwischen denen in einem vorderen Teil der Meßspitze (132) der Resonator (12) angeordnet ist,

– wobei die Stege (133a, 133b) aus Lichtleiter-Material bestehen oder einen Teil aus Lichtleiter-Material aufweisen und an einem hinteren Ende der Meßspitze (132) an zwei Lichtleiter (194, 195) angekoppelt sind und einer der zwei Lichtleiter (194, 195) mit der Lichtquelle (122) und der andere der zwei Lichtleiter (194, 195) mit den Mitteln (198) verbunden ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, bei der

– das hintere Ende der Meßspitze (132) einen Sockel (131, 150) mit Öffnungen (142a, 142b, 152a, 152b) zur Aufnahme von den zwei Lichtleitern (194, 195) aufweist,

– wobei die in den Öffnungen (142a, 142b, 152a, 152b) aufgenommenen Lichtleiter (194, 195) mit dem Lichtleiter-Material der Stege (133a, 133b) optisch gekoppelt sind.

13. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, bei der die Meßspitze (132)

– eine Grundplatte (135) und/oder eine Deckplatte (136) aufweist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, bei der

– Deckplatte (136) und/oder Grundplatte (135) mindestens in ihrem vorderen Teil einen oder mehrere Längsschlitze (138) aufweisen.

15. sVorrichtung nach Anspruch 13 oder 14, bei der

– Deckplatte (136) und/oder Grundplatte (135) mindestens in ihrem vorderen Teil eine in Längsrichtung verlaufende Führungsnut (160, 180) aufweisen.

16. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der

– mehrere Resonatoren (12a, 12b, 12c, 12d, 12e) vorhanden sind,

– wobei die Resonatoren (12a, 12b, 12c, 12d, 12e) an denselben Lichtleiter (112) oder dieselben Lichtleiter (194, 195) angekoppelt sind.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, bei der

– die Resonatoren (12a, 12b, 12c, 12d, 12e) so ausgebildet sind, daß ihre jeweilige optische Resonanz bei Anregung mit Licht verschiedener Frequenz auftritt.

18. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der

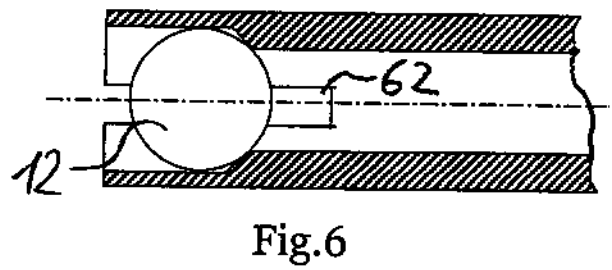
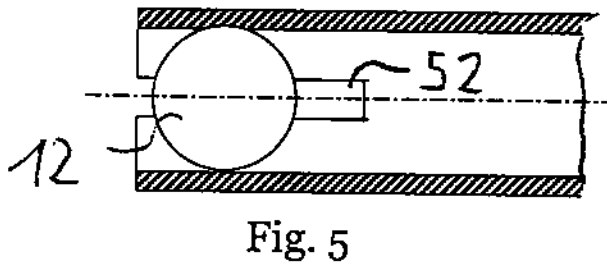
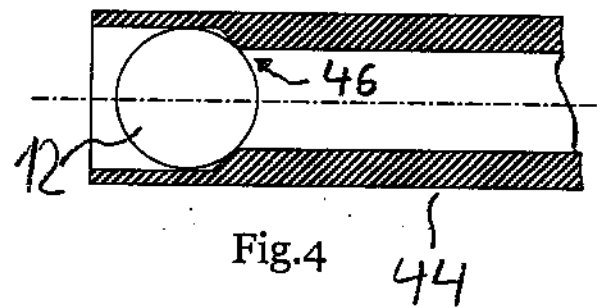
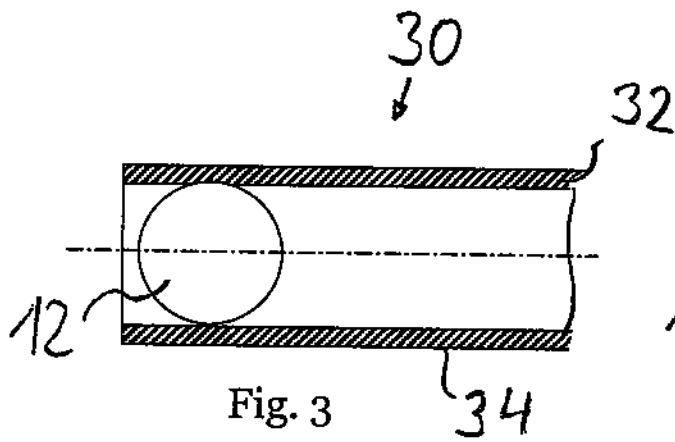
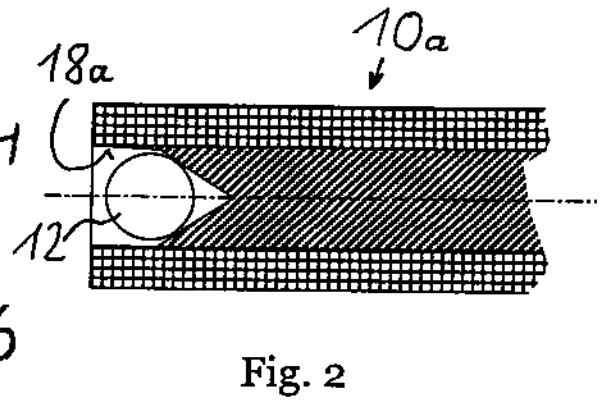
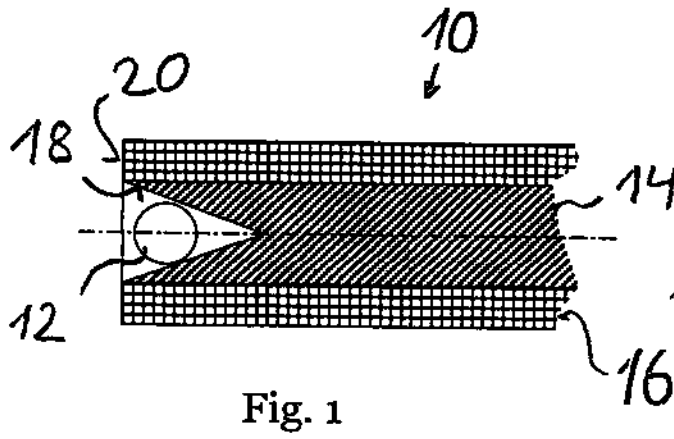
– der oder die Resonatoren (12a, 12b, 12c, 12d, 12e) sphärisch oder als Ellipsoide ausgebildet sind.

19. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der

– die Lichtquelle (128) zur Erzeugung von Licht verschiedener Wellenlängen ansteuerbar ist,

– und die Mittel (128) die Intensität des aus dem Resonator (12) ausgekoppelten Lichts messen.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen



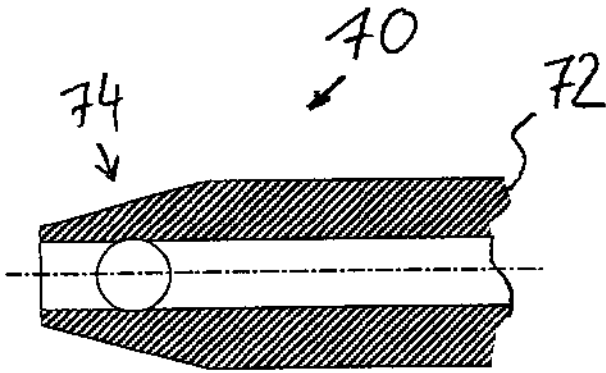


Fig. 7

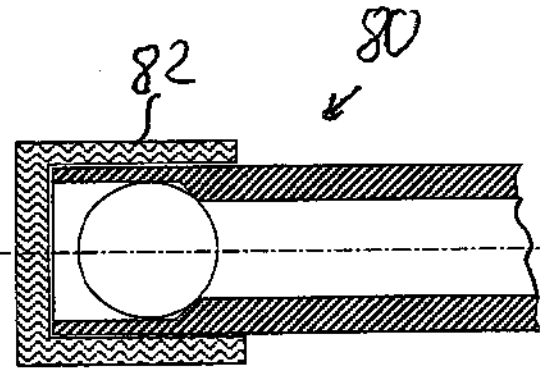


Fig. 8

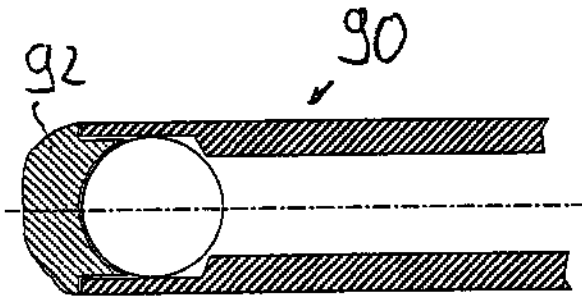


Fig. 9

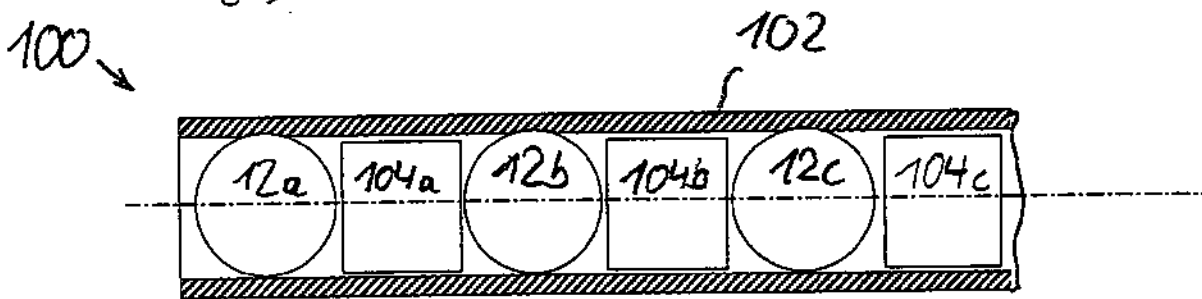


Fig. 10

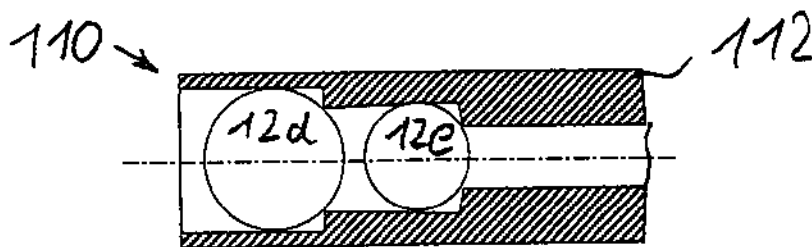


Fig. 11

Fig. 12

