



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 28 149 T2** 2006.03.16

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 943 906 B1**

(51) Int Cl.⁸: **G01L 1/24** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 28 149.7**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 105 085.9**

(96) Europäischer Anmeldetag: **20.03.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **22.09.1999**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **15.12.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **16.03.2006**

(73) Patentinhaber:

**Talltec Technologies Holdings S.A.,
Luxemburg/Luxembourg, LU**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, ES, FR, GB, IT, SE

(74) Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

(72) Erfinder:

Bouamra, Mohamed, 67100 Strasbourg, FR

(54) Bezeichnung: **Faseroptischer Kraftsensor, seine Herstellung und zugehörige Detektionseinrichtung**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Lichtleitfaser-Sensor, der die Wirkung der Mikrokrümmungen einer Faser zum Messen einer Belastung verwendet, sowie ein Verfahren zur Herstellung eines derartigen Sensors. Die Erfindung betrifft auch eine Erfassungsvorrichtung, die diesen Sensor verwendet.

[0002] Die Erfassungstechniken mit Lichtleitfasern bieten bezüglich der üblichen Techniken eine große Anzahl von Vorteilen, unter denen die Kompatibilität mit den Kommunikationssystemen, die Unempfindlichkeit gegen elektromagnetische Phänomene und allgemein die Fähigkeit, in einer rauen Umgebung zu funktionieren, angeführt werden können.

[0003] Unter den verschiedenen existierenden Lichtleitfaser-Sensoren sind Sensoren bekannt, bei denen sich eine Änderung der zu messenden Größe in einer Modulation der Intensität des von der Lichtleitfaser übertragenen Lichts, d. h. einer Modifikation der Dämpfung dieser Faser, ausdrückt. Eine Art Sensor, der zu dieser Kategorie gehört, ist der Sensor mit Mikrokrümmungen, bei dem die Dämpfung der Lichtleitfaser durch eine lokale Modifikation des Krümmungswinkels der Faser unter der Wirkung des Aufbringens einer Kraft oder eines Drucks auf den Sensor hervorgerufen wird.

[0004] Die Funktion dieser Sensoren ist im Allgemeinen zufriedenstellend, wenn diese an ebenen Substraten befestigt sind. Dagegen treten Schwierigkeiten auf, sobald die Oberfläche des Substrats, auf das der Sensor gelegt ist, nicht mehr vollkommen eben ist. Mechanische Beanspruchungen, die mit der Krümmung des Substrats verbunden sind, auf dem der Sensor ruht, erscheinen dann in der Faser. Diese Beanspruchungen führen zu lokalen Modifikationen des Krümmungsradius der Fasern, einer Änderung des Wicklungsschritts der Faser oder durchaus auch der Periode des Gitters von Mikrokrümmungen. Die Erfassungsempfindlichkeit ist somit nicht mehr auf der ganzen Oberfläche des Sensors homogen, was zu einer deutlichen Änderung der Messgenauigkeit führt.

[0005] Aus dem Dokument EP-A1-562 891 ist ein Lichtleitfaser-Drucksensor gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1 bekannt.

[0006] Die vorliegende Erfindung hat das Ziel, die vorstehenden Probleme und Nachteile zu beseitigen, indem sie einen Lichtleitfaser-Sensor vorschlägt, der die Wirkung der Mikrokrümmungen einer Faser zum Messen einer Belastung verwendet, wobei das Gitter von Mikrokrümmungen unabhängig von der Geometrie des Substrats, auf das dieser Sensor gelegt ist, einen konstanten Abstand bewahrt. Dazu hat die vor-

liegende Erfindung als Gegenstand einen Lichtleitfaser-Sensor für die Messung einer Belastung, die auf ein Substrat ausgeübt wird, wobei dieser Sensor einen Träger umfasst, der eine Multimoden-Lichtleitfaser trägt, in der die Dämpfung des übertragenen Lichts durch eine lokale Modifikation des Krümmungswinkels oder der Mikrokrümmung der Faser unter der Wirkung der ausgeübten Belastung hervorgerufen wird, wobei der Träger Zonen mit stärkeren und schwächeren Beanspruchungen aufweist und gebogen ist, um sich an das gekrümmte Substrat, auf das er gelegt ist, anzupassen, dadurch gekennzeichnet, dass der die Lichtleitfaser tragende Träger ein periodisches Gitter aus Perforationen aufweist, in die die Lichtleitfaser eingefädelt ist, wobei die Periode und das zyklische Verhältnis der Mikrokrümmungen der Faser, das als das Verhältnis der Längen der Lichtleitfaser, die zwei aufeinander folgenden Mikrokrümmungen entsprechen, definiert ist, konstant bleiben, wobei die Perforationen in den Zonen stärkerer Beanspruchungen des Trägers in bevorzugten Richtungen, die zur Krümmungsebene dieses Trägers senkrecht sind, ausgebildet sind, wobei die Krümmungsebene die Ebene bezeichnet, die durch den Krümmungsradius beschrieben ist, längs dessen der die Lichtleitfaser tragende Träger gekrümmt ist, und die Perforationen in den Zonen mit schwächeren Beanspruchungen des Trägers in nicht bevorzugten Richtungen ausgebildet sind.

[0007] Durch diese Eigenschaften schafft die vorliegende Erfindung einen Lichtleitfaser-Belastungssensor, dessen Leistungen von der Geometrie des Trägers, der die Faser trägt, unabhängig sind. Der Träger kann eine offene Oberfläche, die beispielsweise Falten, Hohlräume oder Höcker aufweist, oder auch eine geschlossene, entlang verschiedener Ebenen gekrümmte Oberfläche mit zylindrischem Querschnitt oder beliebiger Form sein. Dieses Ergebnis wird dadurch erreicht, dass angenommen wird, dass jede gekrümmte Oberfläche durch eine Folge von kleinen ebenen Oberflächenelementen angenähert werden kann, deren Abmessungen ganze Vielfache der Periode des Gitters von Perforationen sind, die im Träger ausgebildet sind. Die Lichtleitfaser entzieht sich folglich jeglicher mechanischer Beanspruchung, die durch die Krümmung des Trägers induziert wird, und das Gitter von Mikrokrümmungen der Faser bewahrt einen konstanten Abstand. Die Erfassungsempfindlichkeit bleibt folglich auf der ganzen Oberfläche des Sensors homogen, was einen ungerichteten Sensor schafft und zu einer großen Messgenauigkeit führt.

[0008] Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung ist die Periode des Gitters von Perforationen so gewählt, dass die Kopplung zwischen im Kern der Faser geführten Moden und nach außen gestrahlten Moden der Faser begünstigt wird.

[0009] Die vorliegende Erfindung betrifft auch ein

Verfahren zur Herstellung des obigen Sensors, dadurch gekennzeichnet, dass auf dem die Lichtleitfaser tragenden Träger ein periodisches Gitter von Perforationen ausgebildet wird, in das die Lichtleitfaser eingefädelt ist, wobei die Periode und das zyklische Verhältnis der Mikrokrümmungen der Faser konstant bleiben, wobei die Perforationen in den Zonen mit stärkeren Beanspruchungen des Trägers in bevorzugten Richtungen ausgebildet sind, die durch den Schnitt des Trägers mit der Ebene, die den Krümmungsradius enthält und zur Krümmungsebene dieses Trägers senkrecht ist, definiert sind, und wobei die Perforationen in den Zonen mit schwächeren Beanspruchungen des Trägers in nicht bevorzugten Richtungen ausgebildet sind.

[0010] Gemäß einem nochmals weiteren Aspekt betrifft die Erfindung eine Belastungserfassungsvorrichtung mit dem obigen Lichtleitfaser-Sensor, einer Lichtquelle, um in die Lichtleitfaser eine Lichtwelle zu schicken, und einer Photoerfassungsvorrichtung, die die Lieferung von Informationen bezüglich der von der Faser übertragenen Lichtintensität ermöglicht.

[0011] Gemäß einer ersten Ausführungsvariante der Erfindung ist der die Faser tragende Träger ein Hohlrohr, das gebogen ist, um sich einem gekrümmten Träger anzupassen, und die Perforationen, in die die Faser eingefädelt ist, sind in nicht bevorzugten Richtungen in den Zonen mit schwächeren Beanspruchungen des Rohrs ausgebildet, die sich beiderseits der axialen Symmetrieebene des Rohrs in der Nähe der neutralen Achse von diesem erstrecken.

[0012] Gemäß einer zweiten Ausführungsvariante der Erfindung ist der die Lichtleitfaser tragende Träger ein Hohlrohr, in dessen Inneres ein Zylinder eingesetzt ist, um ein Vollrohr zu bilden, wobei das Gitter von Perforationen wie vorstehend ausgebildet ist.

[0013] Gemäß noch einer weiteren Variante ist der die Lichtleitfaser tragende Träger ein dünnes Band, auf dem das Gitter von Perforationen in nicht bevorzugten Richtungen ausgebildet ist, wobei dieses Band longitudinal zwischen zwei Zylinderabschnitte eingefügt ist, um ein Vollrohr zu bilden.

[0014] Gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung sind der Träger und die Lichtleitfaser, die er trägt, in eine Hülle zum mechanischen Schutz eingehüllt, die zum Übertragen der zu messenden Belastung auf den erfindungsgemäßen Sensor dient und diesem die gesuchte Form verleiht.

[0015] Weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung zeigen sich deutlicher bei der Lektüre der folgenden detaillierten Beschreibung eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Lichtleitfaser-Kraftsensors, wobei dieses Beispiel nur zur Information und nicht zur Begrenzung in Verbindung

mit den beigefügten Zeichnungen gegeben wird, in denen:

[0016] [Fig. 1](#) eine perspektivische Prinzipansicht eines Trägers mit beliebiger Form ist, auf dem ein Gitter von Perforationen gemäß der Erfindung ausgebildet ist, in welche eine Lichtleitfaser eingefädelt ist;

[0017] [Fig. 2](#) eine perspektivische Ansicht eines gebogenen Rohrs ist, an dem die Linien mit starken und schwächeren Beanspruchungen dargestellt sind;

[0018] [Fig. 3](#) eine perspektivische Ansicht eines in einem Hohlrohr ausgebildeten Trägers ist, an dem ein erfindungsgemäßes Gitter von Perforationen ausgebildet ist, in die eine Lichtleitfaser eingefädelt ist;

[0019] [Fig. 4](#) eine axiale Schnittansicht des Hohlrohrs von [Fig. 3](#) ist,

[0020] [Fig. 5](#) eine perspektivische Ansicht eines in einem dünnen Band ausgebildeten Trägers ist, der longitudinal zwischen zwei Zylinderabschnitte eingefügt ist, um ein Vollrohr zu bilden;

[0021] [Fig. 6](#) eine schematische Ansicht einer Belastungserfassungsvorrichtung ist, die den erfindungsgemäßen Lichtleitfaser-Sensor im Übertragungsmodus verwendet;

[0022] [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) schematische Ansichten einer Belastungserfassungsvorrichtung sind, die den erfindungsgemäßen Lichtleitfaser-Sensor im Reflexionsmodus verwendet;

[0023] [Fig. 9](#) eine schematische Ansicht einer Belastungserfassungsvorrichtung ist, die den erfindungsgemäßen Lichtleitfaser-Sensor im Reflexions/Übertragungs-Modus verwendet;

[0024] [Fig. 10](#), [Fig. 11](#) und [Fig. 12](#) schematische Ansichten einer Belastungserfassungsvorrichtung sind, die eine Vielzahl von erfindungsgemäßen Lichtleitfaser-Sensoren, die in einem Gitter zusammengefügt sind, verwendet; und

[0025] [Fig. 13](#) und [Fig. 14](#) schematische Ansichten einer Belastungserfassungsvorrichtung sind, die den erfindungsgemäßen Lichtleitfaser-Sensor über eine Referenz-Lichtleitfaser verwenden.

[0026] [Fig. 1](#) ist eine perspektivische Prinzipansicht eines Trägers mit beliebiger geometrischer Form, der auf ein Substrat (nicht dargestellt) mit komplementärer Form aufgebracht werden soll. Dieser Träger, der in seiner Gesamtheit mit dem allgemeinen Bezugszeichen **1** bezeichnet ist, umfasst beispielsweise zwei Flügel, wie **2**, die im Wesentlichen eben und horizontal sind und durch einen Kanal **4**, dessen Flanken wie **6** im Wesentlichen ein V bilden, miteinander

verbunden sind. Die stärksten mechanischen Beanspruchungen konzentrieren sich im Träger **1** auf der Höhe der Zonen der Verbindung der Flügel **2** mit den Flanken **6** und der Verbindung der zwei Flanken **6** am Boden des Kanals **4**. Die Linien stärkerer Beanspruchungen sind in [Fig. 1](#) durch eine Reihe von Doppelpfeilen wie **8** dargestellt, die sich im Wesentlichen quer zum Träger **1** erstrecken. Ebenso stellen die Doppelpfeile wie **10**, die sich longitudinal zum Träger **1** erstrecken, die Linien schwächerer Beanspruchungen dieses Trägers **1** dar. Es ist zu bemerken, dass die Richtungen von starken und schwächeren Beanspruchungen im Träger **1** in den Zonen starker Beanspruchungen im Allgemeinen zueinander senkrecht sind.

[0027] Im Folgenden wird angenommen, dass die Baugruppe, die von jedem Flügel **2** und der Flanke **6** des Kanals **4**, mit der dieser Flügel verbunden ist, gebildet ist, in erster Näherung durch ein kreisförmiges geometrisches Profil dargestellt werden kann, dessen Krümmungsradius in den Fig. mit R bezeichnet ist. Dann wird im Träger **1** ein Gitter von Perforationen wie **12** ausgebildet, in die eine Lichtleitfaser **14** eingefädelt wird. Die Lichtleitfaser **14** wird nacheinander in jede Perforation **12** in der Weise einer Weberei eingefädelt, wobei sie abwechselnd über, dann unter der Oberfläche des Trägers **1** verläuft. Somit wird lokal in der Lichtleitfaser **14** eine Folge von Krümmungen oder Mikrokrümmungen wie **16** gebildet, von welchen die Modifikation des Krümmungswinkels unter der Wirkung einer Kraft oder eines Drucks, die/der auf den Träger **1** aufgebracht wird, in an sich bekannter Weise eine Modifikation der Dämpfung der Lichtleitfaser **14** hervorruft.

[0028] Gemäß einem ersten bedeutenden Merkmal der Erfindung wird das Gitter von Perforationen **12** so ausgebildet, dass die Periode der Mikrokrümmungen **16** konstant ist und zu einem ebenfalls konstanten zyklischen Verhältnis l_1/l_2 der Mikrokrümmungen **16** von vorzugsweise gleich 1 führt. Unter dem zyklischen Verhältnis der Mikrokrümmungen **16** wird das Verhältnis der Längen l_1 und l_2 der Lichtleitfaser **14** entsprechend zwei aufeinander folgenden Mikrokrümmungen **16** (siehe auch [Fig. 4](#)) verstanden.

[0029] In den ebenen Teilen der Flügel **2** und der Flanken **6** des Trägers **1** fern von den Zonen starker mechanischer Beanspruchungen kann das Gitter von Perforationen **12** beliebigen, nicht bevorzugten Richtungen folgen. Dagegen und gemäß dem weiteren bedeutenden Merkmal der Erfindung werden die Perforationen **12** in den Zonen starker Beanspruchungen des Trägers **1** entlang Linien wie **18**, die in [Fig. 1](#) in strichpunktierten Linien dargestellt sind, ausgebildet, wobei diese Linien **18** durch den Schnitt des Trägers **1** mit der Ebene, die den Krümmungsradius R enthält und die zur Krümmungsebene des Trägers **1** senkrecht ist, definiert sind. Durch diese besonders

vorteilhafte Anordnung der Erfindung entziehen sich die Mikrokrümmungen **16** der Lichtleitfaser **14** jeglicher mechanischer Beanspruchung, die durch die Krümmung des Trägers **1** induziert wird, welcher gebogen ist, damit er sich an das Profil des Substrats anpassen kann, auf das er gelegt werden soll. Das zyklische Verhältnis der Mikrokrümmungen **16** wird an jedem Punkt bewahrt, was es ermöglicht zu garantieren, dass die Empfindlichkeit des so gebildeten Sensors auf seiner ganzen Oberfläche homogen bleibt, und folglich eine große Messgenauigkeit zu erreichen.

[0030] Die Periodizität des Gitters von Perforationen **12** wird vorzugsweise so gewählt, dass die Kopplungen zwischen geführten Moden und abgestrahlten Moden in der Lichtleitfaser **14** begünstigt werden. Das zyklische Verhältnis der Mikrokrümmungen **16** wird an die Periode der Störung angepasst. Die elastischen Eigenschaften des Trägers **1** werden an die Stärke der aufgebrachten Beanspruchungen angepasst. Der Träger **1** muss sich unter der Wirkung der aufgebrachten Beanspruchung verformen können, ohne zum Bruch der Lichtleitfaser **14** zu führen, und eine schnelle Rückkehr in seine anfängliche Gleichgewichtsform aufweisen. Der Träger **1** und die Lichtleitfaser **14**, die er trägt, werden in einer Hülle zum mechanischen Schutz (nicht dargestellt) eingehüllt, deren Elastizitätseigenschaften an diejenigen des Trägers **1** angepasst sind. Diese Schutzhülle dient zum Übertragen der zu messenden Belastung auf den Sensor und dazu, diesem die gesuchte Form zu verleihen.

[0031] Im ganzen Folgenden sind die Elemente, die mit den vorher beschriebenen Elementen übereinstimmen, mit denselben Bezugszeichen bezeichnet.

[0032] [Fig. 2](#) ist eine perspektivische Ansicht eines Hohlrohrs, das mit dem Bezugszeichen **20** bezeichnet ist und das entlang eines Krümmungsradius R gebogen ist. In diesem Rohr **20**, das ein Beispiel für einen Träger darstellt, der eine geschlossene Oberfläche aufweist, erscheinen die höchsten mechanischen Beanspruchungen, die durch eine Reihe von Doppelpfeilen **8** dargestellt sind, entlang von zwei Längskanten, einer unteren **22** bzw. einer oberen **24**, die sich in der axialen Symmetrieebene des Rohrs **20** erstrecken. Ebenso stellen die Doppelpfeile **10**, die sich tangential zum Durchmesser **26** des Rohrs **20** erstrecken, die Richtungen schwächerer Beanspruchungen im Rohr **20** dar. Es ist erneut zu bemerken, dass, wie im vorangehenden Fall, die Richtungen stärkerer und schwächerer Beanspruchungen in den Zonen starker Beanspruchungen im Wesentlichen zueinander senkrecht sind.

[0033] Unter Berücksichtigung des Vorangehenden und wie in [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) dargestellt, wird im Hohlrohr **20** ein Gitter von Perforationen **12** so ausgebil-

det, dass die Periode der Mikrokrümmungen **16** der Lichtleitfaser **14** konstant bleibt und zu einem ebenfalls konstanten zyklischen Verhältnis l_1/l_2 der Mikrokrümmungen **16**, das vorzugsweise gleich 1 ist, führt. Außerdem muss bemerkt werden, dass immer in Übereinstimmung mit der Erfindung die Perforationen **12** in nicht bevorzugten Richtungen entlang der Linien **18** ausgebildet werden, die sich beiderseits der axialen Symmetrieebene des Rohrs **20** im Abstand von den Längskanten **22** und **24** des Rohrs **20** erstrecken, entlang derer sich die höchsten mechanischen Beanspruchungen konzentrieren. Die Mikrokrümmungen **16** der Lichtleitfaser **14** sind somit in den Zonen schwächerer Beanspruchungen des Rohrs **20** angeordnet, so dass ihr zyklisches Verhältnis l_1/l_2 bewahrt wird, wenn das Rohr **20** gebogen wird, um sich an einen gekrümmten Träger anzupassen, was eine homogene Empfindlichkeit des Sensors auf seiner ganzen Oberfläche garantiert.

[0034] Gemäß einer zweiten Ausführungsvariante der Erfindung (nicht dargestellt) ist der die Lichtleitfaser tragende Träger ein Hohlrohr analog zum vorstehend beschriebenen, in dessen Inneres ein Zylinder eingesetzt ist, um ein Vollrohr zu bilden. Das Gitter von Perforationen ist wie vorstehend in nicht bevorzugten Richtungen ausgebildet, die sich beiderseits der axialen Symmetrieebene des Hohlrohrs im Abstand von den Kanten des Rohrs erstrecken, entlang derer sich die höchsten mechanischen Beanspruchungen konzentrieren.

[0035] Gemäß noch einer weiteren Ausführungsvariante, die in [Fig. 5](#) dargestellt ist, ist der die Lichtleitfaser tragende Träger ein dünnes Band **28**, auf dem das Gitter von Perforationen **12** in nicht bevorzugten Richtungen ausgebildet wird, wobei dieses Band **28** anschließend longitudinal zwischen zwei Zylinderabschnitte eingefügt wird, um ein Vollrohr **30** zu bilden. Das Gitter von Perforationen **12** wird erneut so ausgebildet, dass die Periode der Mikrokrümmungen **16** auf der ganzen Länge des Bandes **28** konstant ist und zu einem ebenfalls konstanten zyklischen Verhältnis l_1/l_2 der Mikrokrümmungen **16** führt, das vorzugsweise gleich 1 ist. Da die Mikrokrümmungen **16** nahe der neutralen Achse liegen, wo die mechanischen Beanspruchungen, die durch die Biegung des so gebildeten Vollrohrs **30** erzeugt werden, minimal sind, wird ihr zyklisches Verhältnis l_1/l_2 hier auch bewahrt.

[0036] Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren werden die Gitter von Perforationen **12** durch Wasserstrahl-schneiden, vorzugsweise mittels einer programmierbaren Wasserstrahl-Schneidmaschine, ausgebildet. Diese Technik ermöglicht es, eine zufriedenstellende Auflösung und Reproduzierbarkeit zu erreichen. Außerdem ermöglicht es die Verwendung einer derartigen programmierbaren Maschine, sich leicht an die Herstellung von Trägern mit beliebigen

Formen auf Anfrage anzupassen, was es ermöglicht, die Herstellungskosten der Sensoren beträchtlich zu vermindern. Außerdem können die Linien **18**, entlang derer die Perforationen **12** ausgebildet werden, programmiert werden, was eine große Verwendungsflexibilität verleiht, die Möglichkeit bietet, die Erfindung an veränderliche Profile von Trägern anzupassen, und es ermöglicht, erhebliche Einsparungen an den Herstellungskosten zu verwirklichen.

[0037] In allem folgenden wird die Baugruppe, die aus dem Träger **1** oder den Rohren **20** und **30** und der Lichtleitfaser **14**, die sie tragen, gebildet ist, gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung als Sensor **32** bezeichnet.

[0038] Diese Sensoren **32** können nach Wahl im Übertragungsmodus, im Reflexionsmodus oder im gemischten Übertragungs/Reflexions-Modus arbeiten. Sie sind in eine Belastungserfassungsvorrichtung **34** integriert, die insbesondere eine Lichtquelle **36**, um eine Lichtwelle in die Lichtleitfaser **14** zu schicken, und eine Photoerfassungsvorrichtung **38**, die es ermöglicht, eine Information bezüglich der von der Faser **14** übertragenen Lichtintensität zu liefern, umfasst.

[0039] Gemäß dem gewählten Funktionsmodus können zwei Arten von Lichtquellen **36** gewählt werden. Es kann sich um eine Leuchtdiode (LED) mit geringer räumlicher und zeitlicher Kohärenz handeln. Diese Art Lichtquelle **36** ist besonders gut an die Verwendung von Multimoden-Lichtleitfasern **14** angepasst, die große Kerndurchmesser und numerische Aperturen aufweisen, die die Einleitung von angepassten optischen Leistungen gestatten. Ein breites Strahlungsdiagramm und eine große aktive Oberfläche sind die weiteren Vorteile dieser Art von Lichtquellen **36**, die mehrere Sensoren **32** gleichzeitig versorgen können. Ein weiterer großer Vorteil sind die sehr niedrigen Kosten dieser Quellen.

[0040] Eine weitere Art Lichtquelle **36** betrifft die Multimoden-Laserdioden. Diese sind Quellen, die üblicherweise in den optischen Lesern wie den Audio-kompaktdisk-Lesern, den CD-ROM-Lesern oder anderen verwendet werden und die deshalb derzeit mit niedrigem Preis vertrieben werden. Diese Laserdioden liefern eine große optische Emissionsleistung und sind mit Photodioden für die Steuerung dieser Leistung ausgestattet. Diese Photodioden können verwendet werden, um rückreflektierte Signale zu messen, was es ermöglicht, die Konfiguration der Belastungserfassungsvorrichtung **34** zu vereinfachen, ihren Platzbedarf zu verringern und ihre Herstellungskosten zu vermindern. Um mehrere Lichtleitfasern **14** gleichzeitig mit derselben Quelle **36** koppeln zu können, ist es erforderlich, eine Strahlaufweitungsvorrichtung einzufügen, die beispielsweise aus Mikrolinsen besteht.

[0041] Die verwendete Lichtleitfaser **14** weist vorzugsweise ein Indexprofil mit parabolischem Gradienten auf. Bei dieser Art Faser hängt nämlich die Verteilung der Moden, die sich dort ausbreiten, viel weniger vom Einleitungswinkel der Lichtwellen ab als im Fall von Fasern mit Indexsprung. Die Gesamtheit der Moden wird somit auf einer geringen Faserlänge angeregt. Das Erhalten dieser modalen Gleichgewichtsverteilung wird auch durch die Tatsache sichergestellt, dass für diese Fasern eine einzige Störungswellenlänge existiert, die es ermöglicht, alle Moden miteinander zu koppeln. Dies stellt eine bessere Garantie der Reproduzierbarkeit des Ansprechens des Sensors **32** sicher. Eine Faser mit Indexsprung kann trotzdem verwendet werden, unter dem Vorbehalt, dass die Störungswellenlänge so gewählt wird, dass eine Kopplung zwischen geführten Moden und Strahlungsmoden erzeugt wird.

[0042] Die Photoerfassungsvorrichtung **38** ist von der Art der Zellen, die üblicherweise in den Fernsteuervorrichtungen verwendet werden. Die Oberfläche des Detektors **38** muss ausreichend groß sein, um die Gesamtheit des optischen Strahls erfassen zu können.

[0043] Die in [Fig. 6](#) dargestellte Belastungserfassungsvorrichtung **34** verwendet den erfindungsgemäßen Sensor **32** im Übertragungsmodus. Die Vorrichtung **34** umfasst dazu ein erstes Lichtleitfaser-Segment **14a**, um das optische Signal von der Lichtquelle **36** zum Sensor **32** zu führen, und ein zweites Lichtleitfaser-Segment **14b**, um das vom Sensor **32** übertragene optische Signal zur Photoerfassungsvorrichtung **38** zu leiten. Wie aus [Fig. 6](#) hervorgeht, kann das Lichtleitfaser-Segment **14b** durch den Sensor **32** zurücklaufen und zweimal die Wirkung der aufgebrachten Beanspruchung erfahren.

[0044] Wenn die Belastungserfassungsvorrichtung **34** im Reflexionsmodus arbeitet ([Fig. 7](#)), wird eine einzige Faser **14c** als Übertragungsleitung für das optische Signal verwendet. Dazu ermöglicht eine Strahlteiler Vorrichtung oder ein Koppler **40**, das optische Signal in der Richtung des Sensors **32** in die Faser **14c** zu schicken, dann beim Rückweg dieses Signal zur Photoerfassungsvorrichtung **38** zu leiten, nachdem es durch eine Reflexionsvorrichtung **42** wie beispielsweise einen Reflexionsspiegel am Ende der Faser **14c** zurückreflektiert wurde. Der Koppler **40** kann entweder aus einer Strahlteilerplatte oder einem Lichtleitfaser-Koppler gebildet sein. Es ist folglich bevorzugt, eine schwach kohärente und kostengünstige Quelle wie eine Leuchtdiode zu verwenden. Gemäß einer in [Fig. 8](#) dargestellten Variante wird eine Laser- oder Superleuchtdiode **44** als Lichtquelle verwendet. Wie vorstehend beschrieben, umfassen diese Dioden **44** Photoerfassungszellen, um die Intensität des ausgesandten optischen Strahls zu stabilisieren. Diese Photoerfassungszellen können so-

mit verwendet werden, um das zurückreflektierte optische Signal zu erfassen, was es ermöglicht, sich vom Koppler **40** zu befreien.

[0045] In [Fig. 9](#) ist eine Belastungserfassungsvorrichtung **34** dargestellt, die im gemischten Übertragungs/Reflexions-Modus arbeitet. Diese Vorrichtung **34** umfasst eine Lichtquelle **36** und zwei Photoerfassungsvorrichtungen **38** und **38a**, von denen eine das zurückreflektierte optische Signal und die andere das übertragene optische Signal misst. Auf dem Weg von der Quelle **36** zur Reflexionsvorrichtung **42** erfährt das optische Signal eine erste Rückreflexion sowie Strahlungsverluste auf der Höhe des Sensors **32**. Am Ende der Lichtleitfaser **14c** angekommen, zerlegt sich das Signal in zwei Teile: einen ersten, zum Sensor **32** zurückreflektierten Teil und einen zweiten, direkt zur Photoerfassungsvorrichtung **38a** übertragenen Teil. Auf dem Rückweg erfährt das optische Signal erneut eine Rückreflexion und Strahlungsverluste im Sensor **32**.

[0046] Es ist möglich, mehrere erfindungsgemäße Sensoren **32**, die gemäß den vorher beschriebenen Modi arbeiten, entweder in Reihe oder parallel zu verbinden.

[0047] In [Fig. 10](#) ist eine Konfiguration mit mehreren ununterscheidbaren Sensoren **32** mit einer einzigen Lichtquelle **36** und einer einzigen Photoerfassungsvorrichtung **38** dargestellt.

[0048] In [Fig. 11](#) ist eine Konfiguration mit mehreren unterscheidbaren Sensoren **32** mit einer einzigen Lichtquelle **36** und mehreren Photoerfassungsvorrichtungen **38** dargestellt.

[0049] In [Fig. 12](#) ist eine Konfiguration mit mehreren ununterscheidbaren Sensoren **32** mit einer einzigen Lichtquelle **36** und einer einzigen Photoerfassungsvorrichtung **38** und einem optischen Schalter **46** dargestellt. Dieser Schalter **46** wendet Planarbeugungsoptiktechniken an und kann somit leicht auf Kunststoffmaterialien mittels einer Matritze vervielfältigt werden.

[0050] Die Reaktion des erfindungsgemäßen Sensors **32** hängt von einer bestimmten Anzahl von Parametern ab, unter denen die Geometrie des Substrats, auf dem der Sensor **32** abgeschieden wird, die Umgebungstemperatur, die die Sendeeigenschaften der Lichtquelle **36** verändern kann, und die Alterung der Bestandteile angeführt werden können. Um diese Nachteile zu beseitigen, wird vorgeschlagen ([Fig. 13](#)), eine Referenz-Lichtleitfaser **48** zu verwenden, die keiner zu messenden Belastung, keiner zu messenden Kraft oder keinem zu messenden Druck ausgesetzt wird. Indem angenommen wird, dass die in der Referenzfaser **48** induzierten Verluste für diejenigen repräsentativ sind, die vom Sensor **32** er-

zeugt werden, ist es möglich, sich von diesen unerwünschten Effekten zu befreien, indem beispielsweise das Verhältnis der Referenz- und der Messsignale mittels eines Radiometers **50** angewendet wird. Es ist auch möglich (Fig. 14), eine Rückkopplung auf die Lichtquelle **36** durchzuführen, um ihren Polarisationsstrom zu steuern und ihre Leistung auf einem konstanten Pegel zu halten, der im Voraus mittels einer Stabilisierungsvorrichtung **52** definiert wird.

[0051] Eine Voreichung des Sensors **32** ist notwendig. Diese Prozedur setzt voraus, dass die Reaktion des Sensors **32** im Bereich von zu messenden Belastungen linear ist, und besteht darin:

- einerseits bei Fehlen einer mechanischen Beanspruchung eine Änderung des Polarisationsstroms der Lichtquelle **36** zu befehlen, der ausreichend gering ist, um eine zu der Sendeleistung proportionale Veränderung erhalten zu können. Die erfasste Leistungsänderung wird anschließend mit der Änderung verglichen, die ein Eichsensor unter den gleichen Bedingungen erzeugt hätte. Dann kann die Verstärkung des Verstärkers in dieser Weise eingestellt werden, um die Empfindlichkeit des Sensors **32** zu regeln;
- andererseits den Ausgangspegel immer bei Fehlen einer Beanspruchung mittels einer einstellbaren Offset-Spannung auf einen für alle Sensoren **32** gleichen, vorgegebenen Wert zu regeln.

Patentansprüche

1. Lichtleitfaser-Sensor für die Messung einer Belastung, die auf ein Substrat ausgeübt wird, mit einem Träger (**1**), der eine Multimoden-Lichtleitfaser (**14**) trägt, in der die Dämpfung des übertragenen Lichts durch eine lokale Modifikation des Krümmungswinkels oder der Mikrokrümmung (**16**) der Faser (**14**) unter der Wirkung der ausgeübten Belastung hervorgerufen wird, wobei der Träger (**1**) Zonen mit stärkeren und schwächeren Beanspruchungen aufweist und gebogen ist, um sich an das gekrümmte Substrat, auf das er gelegt ist, anzupassen, wobei in dem Sensor der die Lichtleitfaser (**14**) tragende Träger (**1**) ein periodisches Gitter aus Perforationen (**12**) aufweist, in die die Lichtleitfaser (**14**) eingefädelt ist, wobei die Periode und das zyklische Verhältnis (I_1/I_2) der Mikrokrümmungen (**16**) der Faser (**14**), das als das Verhältnis der Längen (I_1 und I_2) der Lichtleitfaser (**14**), die zwei aufeinander folgenden Mikrokrümmungen (**16**) entsprechen, definiert ist, konstant bleiben, wobei die Perforationen (**12**) in den Zonen stärkerer Beanspruchungen des Trägers (**1**) in bevorzugten Richtungen, die zur Krümmungsebene dieses Trägers (**1**) senkrecht sind, ausgebildet sind, wobei die Krümmungsebene die Ebene bezeichnet, die durch den Krümmungsradius (R) beschrieben ist, längs dessen der die Lichtleitfaser (**14**) tragende Träger (**1**) gekrümmt ist, wobei die Perforationen (**12**) in den Zonen mit schwächeren Beanspruchungen des Trägers

(**1**) in nicht bevorzugten Richtungen ausgebildet sind.

2. Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Gitterperiode der Perforationen (**12**) in der Weise gewählt ist, dass die Kopplungen zwischen geführten Moden im Kern der Faser (**14**), d. h. der Lichtstrahlen, die sich im Kern der Faser (**14**) durch aufeinander folgende Reflektionen ausbreiten, und nach außen gestrahlte Moden der Faser (**14**), d. h. der Lichtstrahlen, die vom Kern der Faser (**14**) abgegeben werden und sich in Richtung der Hülle der Faser ausbreiten, begünstigt werden, derart, dass für eine Faser mit Indexsprung eine Kopplung zwischen geführten Moden und abgestrahlten Moden beobachtet wird, falls:

$$2\pi / T = 1/\rho^2 k n_1 + 2\sqrt{\frac{\Delta}{\rho}}$$

wobei

T die Gitterperiode der Perforationen ist,

ρ der Radius des Kerns der Faser ist,

$k = 2\pi/\lambda$ die Ausbreitungskonstante der Lichtmoden ist, wobei λ die Wellenlänge der Lichtmoden ist,

n_1 der optische Index des Kerns der Faser ist und

$\Delta = n_1 - n_2/n_1$ die relative Differenz der Indizes der Materialien des Kerns n_1 , und der Hülle, n_2 der Lichtleitfaser ist,

und derart, dass für eine Faser mit Indexgradienten eine Kopplung zwischen geführten Moden und abgestrahlten Moden beobachtet wird, falls:

$$T = \rho\pi\sqrt{\frac{2}{\Delta}}$$

3. Sensor nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der die Lichtleitfaser (**14**) tragende Träger ein Hohlrohr (**20**) ist und dass die Perforationen (**12**) in den Zonen mit schwächeren Beanspruchungen, die sich beiderseits der axialen Symmetrieebene des Rohrs (**20**), die die durch die longitudinale Symmetrieachse dieses Rohrs verlaufende Ebene ist, erstrecken, in nicht bevorzugten Richtungen ausgebildet sind.

4. Sensor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass in das Hohlrohr (**20**) ein Zylinder eingeführt ist, um ein Vollrohr zu bilden.

5. Sensor nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der die Lichtleitfaser (**14**) tragende Träger ein dünnes Band (**28**) ist, in dem das Gitter aus Perforationen (**12**) in nicht bevorzugten Richtungen ausgebildet ist, wobei dieses Band (**28**) longitudinal zwischen zwei Zylinderabschnitten eingefügt ist, derart, dass ein Vollrohr (**30**) gebildet wird.

6. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das zykli-

sche Verhältnis (I_1/I_2) der Mikrokrümmungen (16) der Lichtleitfaser (14) gleich 1 ist.

7. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtleitfaser (14) ein Indexprofil mit parabolischem Gradienten aufweist.

8. Sensor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtleitfaser (14) eine Faser mit Indexsprung ist.

9. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Träger (1) und die Lichtleitfaser (14), die er trägt, in eine Hülle für mechanischen Schutz eingehüllt sind, deren Elastizitätseigenschaften an jene des Trägers (1) angepasst sind, wobei diese Hülle dazu dient, die zu messende Belastung an den Sensor zu übertragen und ihm die gesuchte Form zu verleihen.

10. Verfahren für die Herstellung eines Lichtleitfaser-Sensors nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass auf dem die Lichtleitfaser (14) tragenden Träger (1, 20, 28) ein periodisches Gitter von Perforationen (12) ausgebildet wird, in die die Lichtleitfaser (14) eingefädelt ist, wobei diese Perforationen (12) in den Zonen mit stärkeren Beanspruchungen des Trägers (1) in bevorzugten Richtungen, die zur Krümmungsebene dieses Trägers (1) senkrecht sind, ausgebildet sind, wobei die Krümmungsebene die Ebene bezeichnet, die durch den Krümmungsradius (R) beschrieben ist, längs dessen der die Lichtleitfaser (14) tragende Träger (1) gekrümmt ist, und wobei die Perforationen (12) in den Zonen mit schwächeren Beanspruchungen des Trägers (1) in nicht bevorzugten Richtungen ausgebildet sind.

11. Belastungserfassungsvorrichtung, dadurch gekennzeichnet, dass sie einen Lichtleitfaser-Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 9, eine Lichtquelle (36), um in die Lichtleitfaser (14) eine Lichtwelle zu schicken, und eine Photoerfassungsvorrichtung (38), die die Lieferung von Informationen bezüglich der von der Faser (14) übertragenen Lichtintensität ermöglicht, umfasst.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Referenz-Lichtleitfaser (48) verwendet, die keiner zu messenden Belastung, keiner zu messenden Kraft und keinem zu messenden Druck unterworfen ist, verwendet.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass sie ein Radiometer umfasst.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Rückkopplung auf die Lichtquelle (36) umfasst, derart, dass der Polarisati-

onsstrom der Lichtquelle gesteuert wird und ihre Leistung auf einem konstanten Pegel, der im Voraus mittels einer Stabilisierungsvorrichtung (52) definiert wird, gehalten wird.

15. Verfahren zum Eichen einer Belastungserfassungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass es die Schritte umfasst, die darin bestehen:

- bei Fehlen einer mechanischen Beanspruchung eine Änderung des Polarisationsstroms der Lichtquelle (36) zu befehlen, der ausreichend gering ist, um eine zu der Sendeleistung proportionale Veränderung zu erhalten, wobei diese Leistungsänderung anschließend mit der Änderung verglichen wird, die durch den Eichsensor unter den gleichen Bedingungen erzeugt wird, und
- den Ausgangspegel der Sensoren bei Fehlen einer Beanspruchung mittels einer einstellbaren Offset-Spannung stets auf den gleichen vorgegebenen Wert zu regeln.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

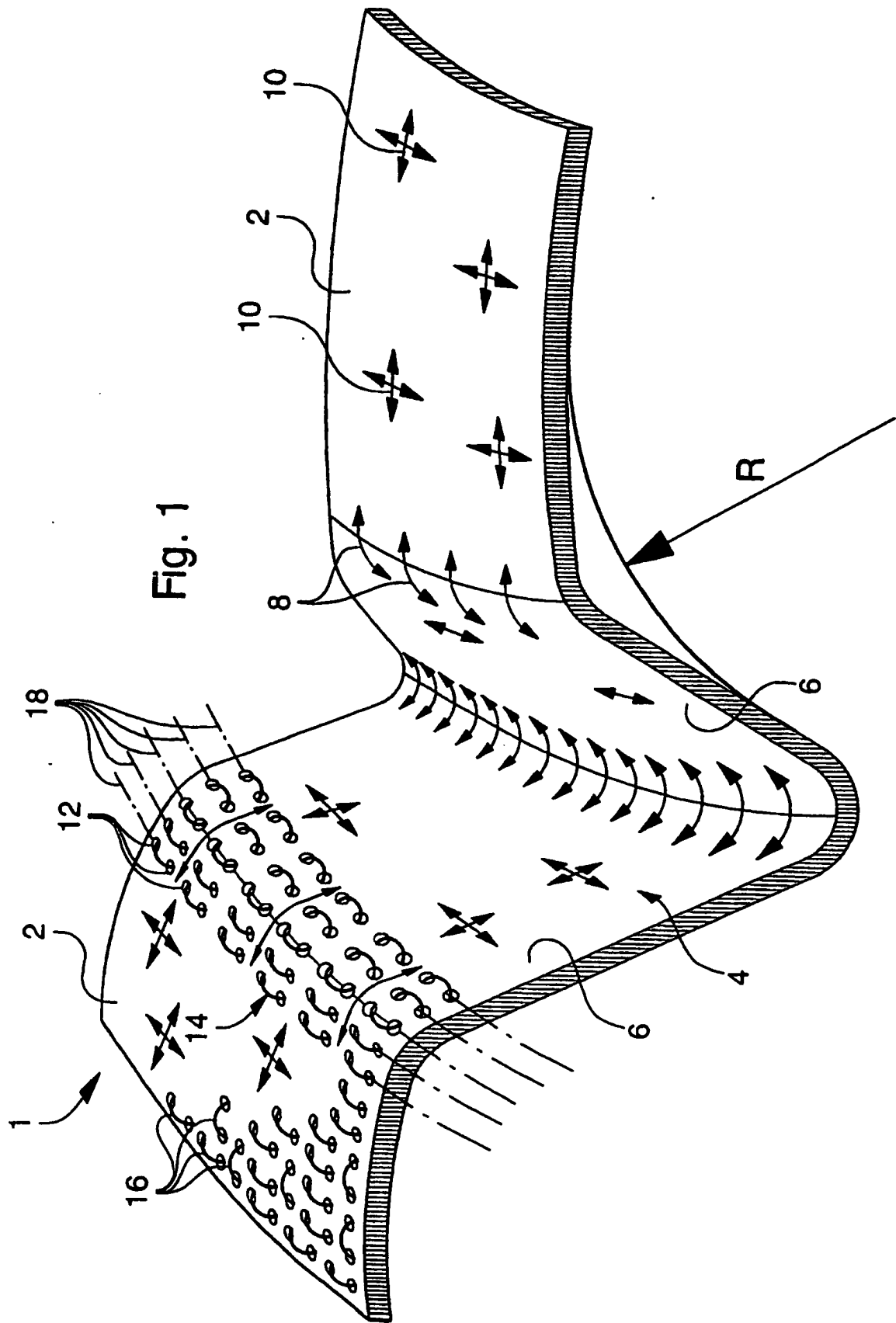


Fig. 2

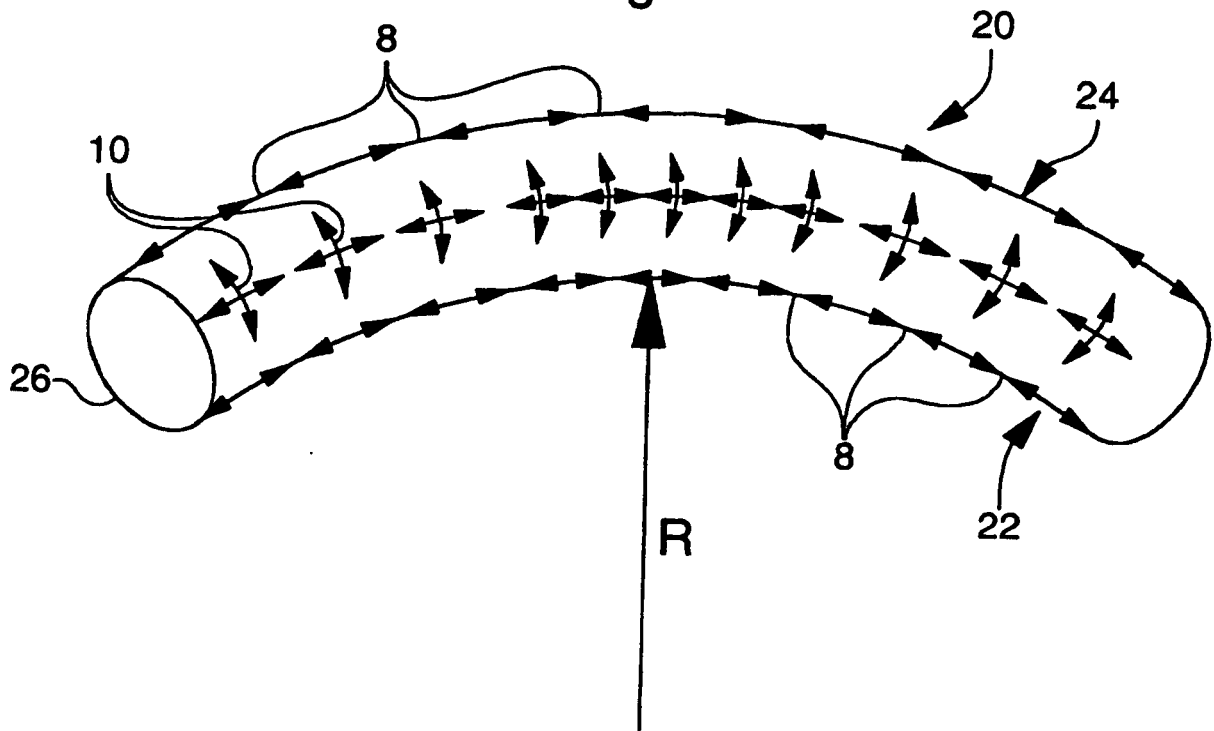


Fig. 3

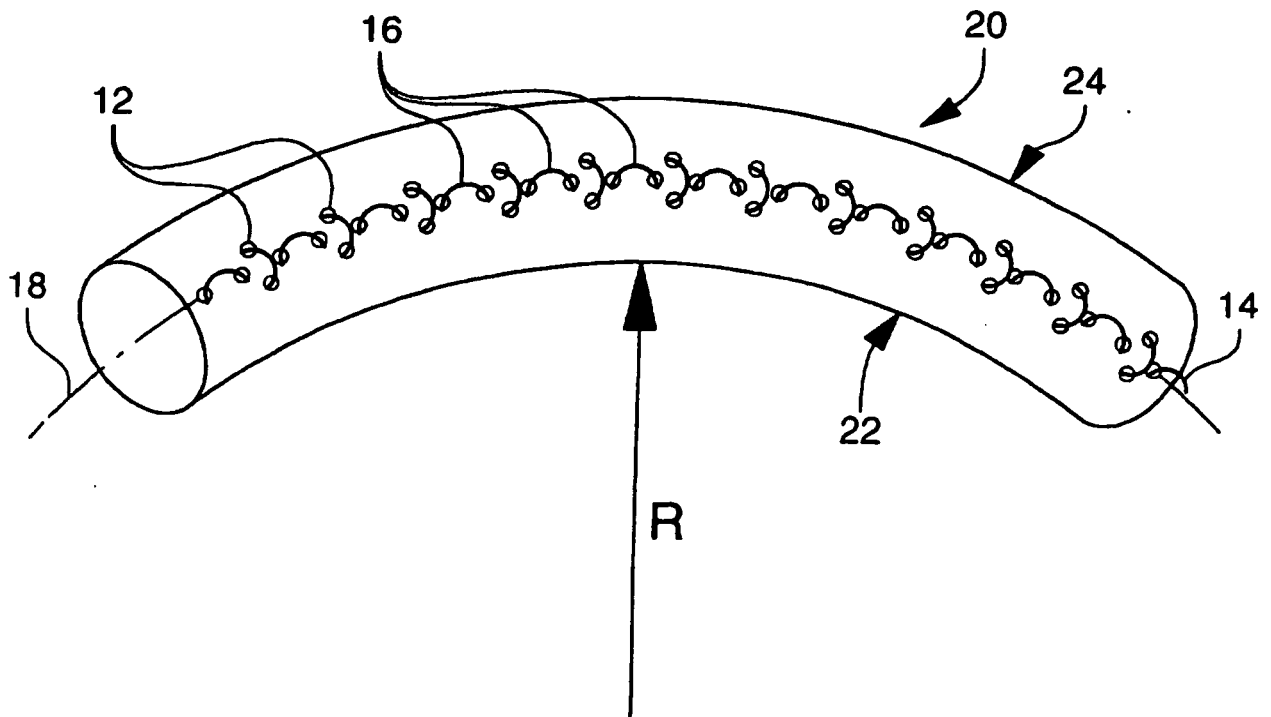


Fig. 4

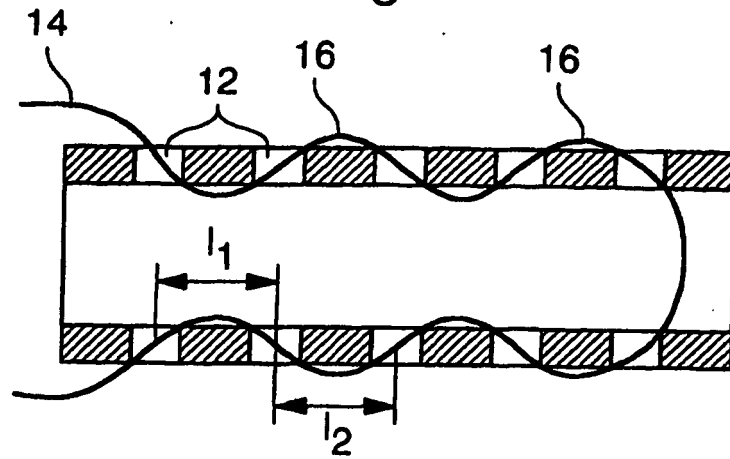


Fig. 5

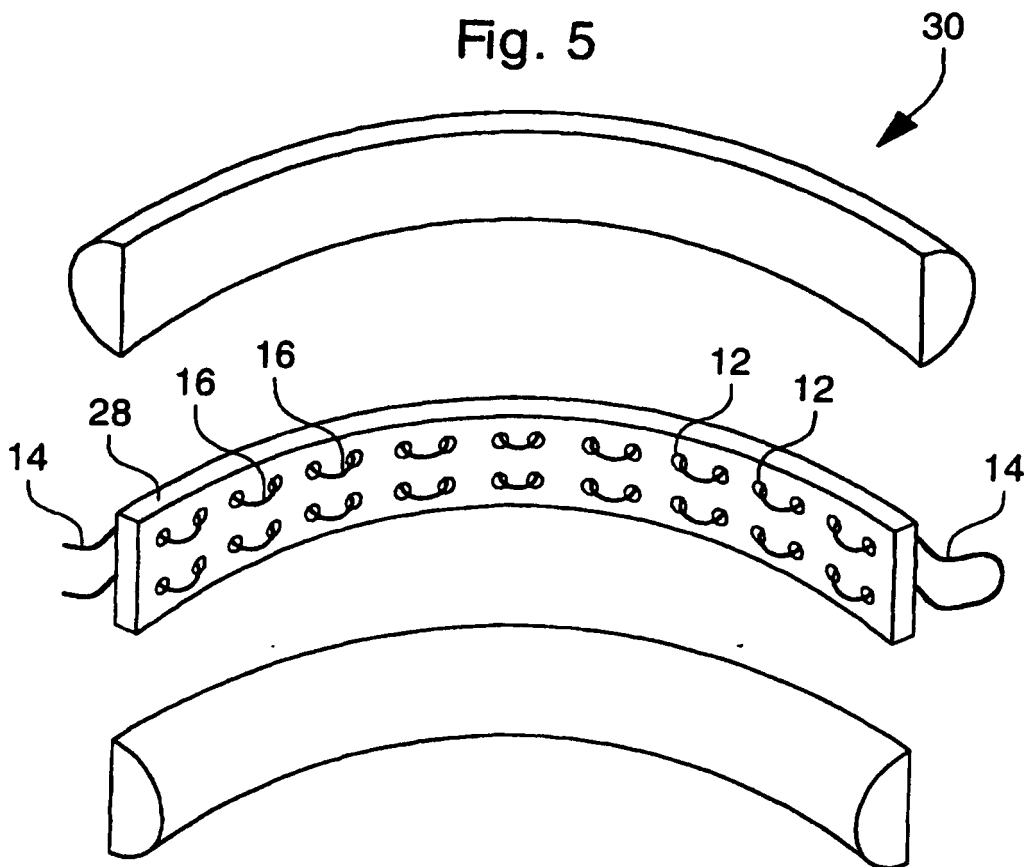


Fig. 6

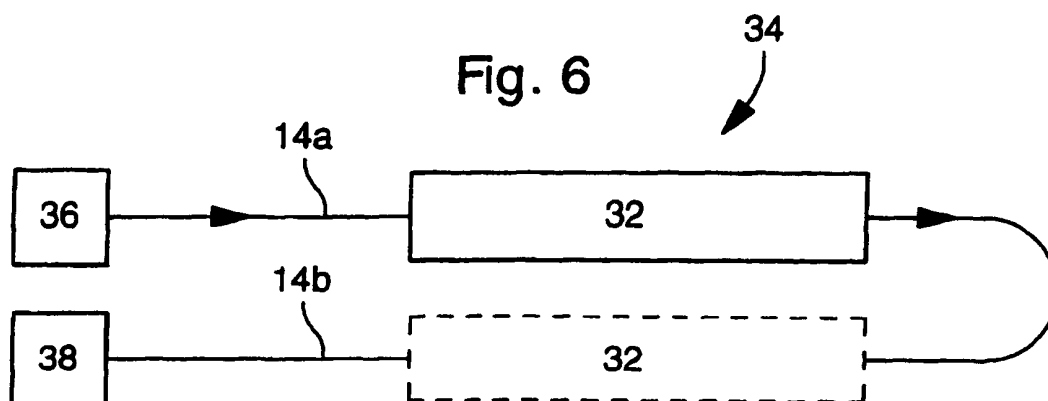


Fig. 7

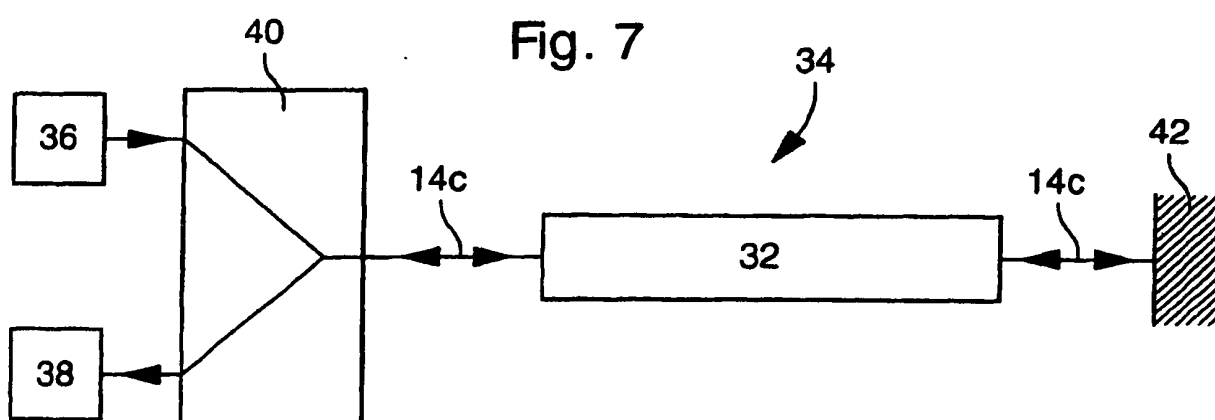


Fig. 8

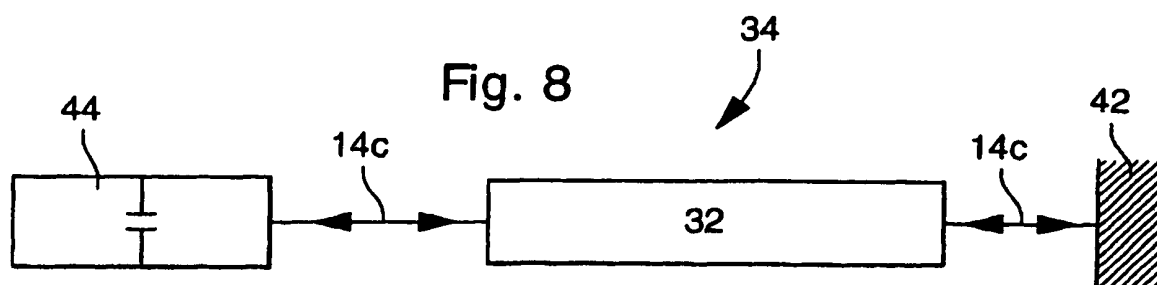


Fig. 9

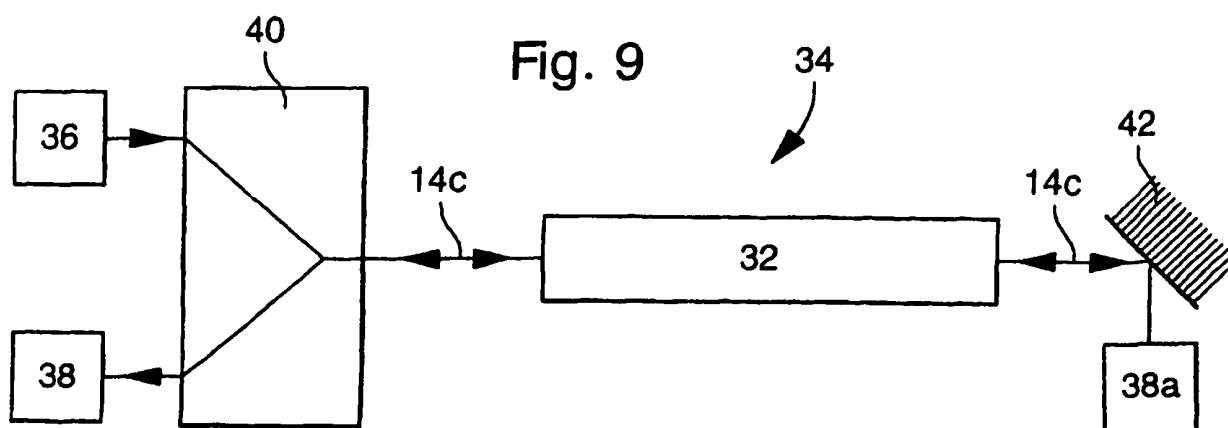


Fig. 10

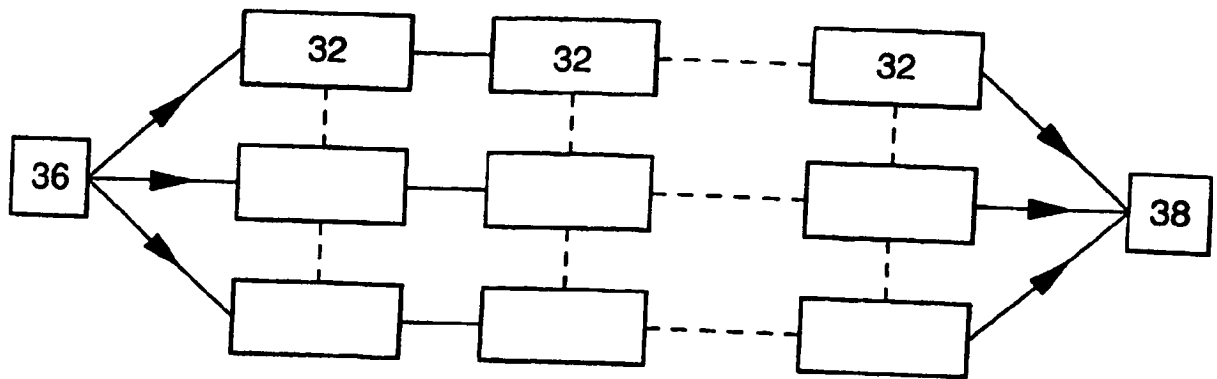


Fig. 11

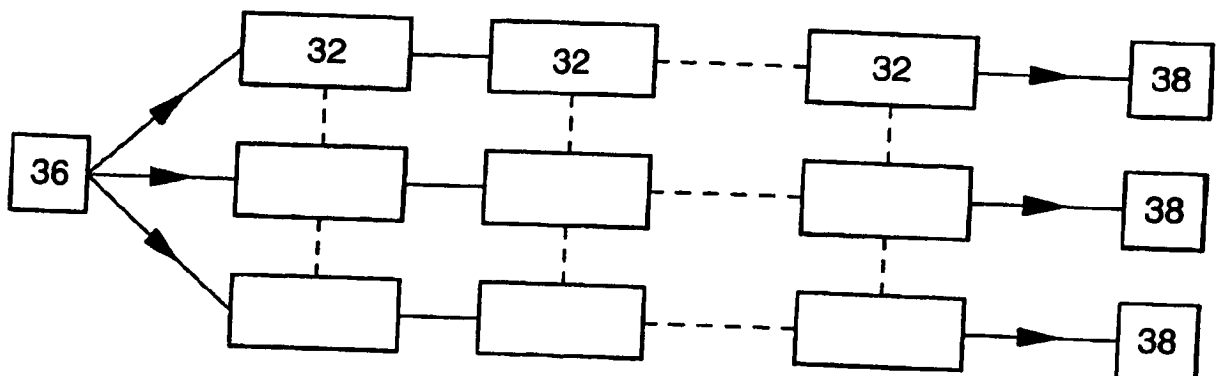


Fig. 12

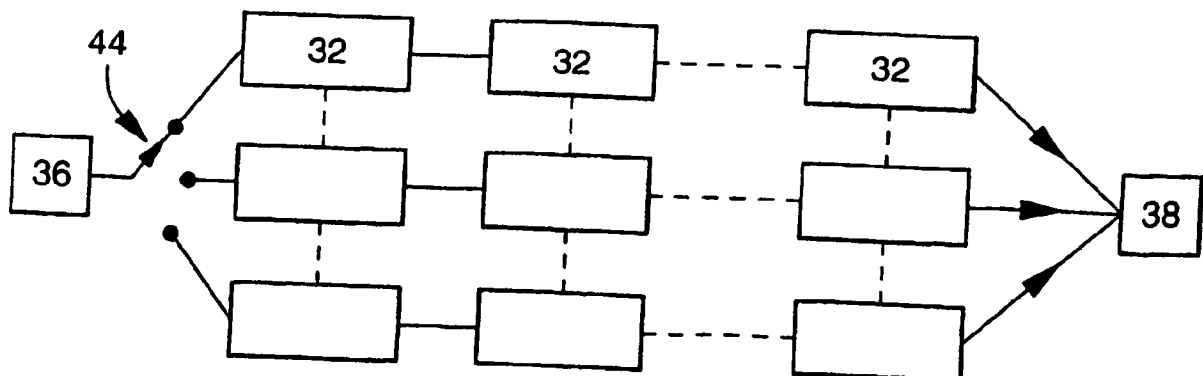


Fig. 13

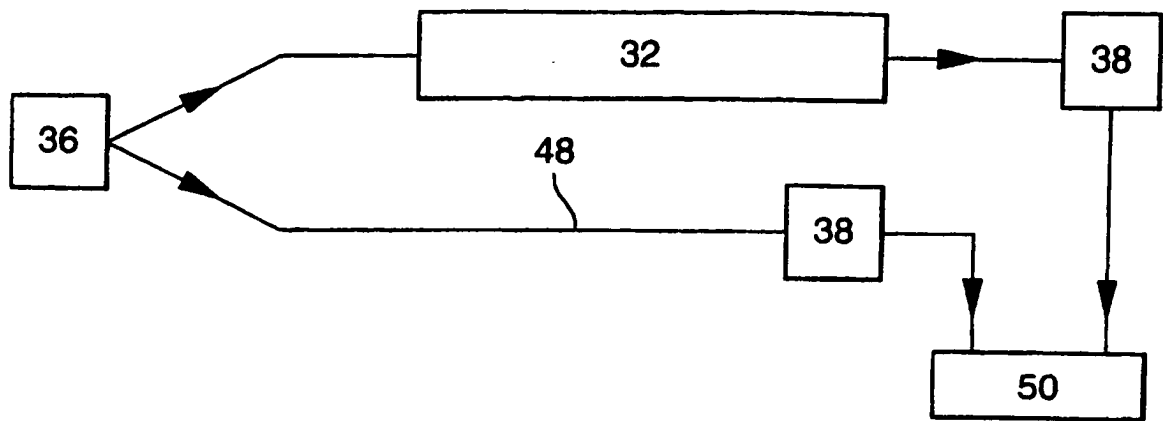


Fig. 14

