

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3648454号  
(P3648454)

(45) 発行日 平成17年5月18日(2005.5.18)

(24) 登録日 平成17年2月18日(2005.2.18)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

GO 1 L 1/24  
GO 2 B 6/00

GO 1 L 1/24 A  
GO 2 B 6/00 306

請求項の数 15 (全 17 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2000-581427 (P2000-581427)</p> <p>(86) (22) 出願日 平成11年11月11日 (1999.11.11)</p> <p>(65) 公表番号 特表2002-529728 (P2002-529728A)</p> <p>(43) 公表日 平成14年9月10日 (2002.9.10)</p> <p>(86) 国際出願番号 PCT/GB1999/003760</p> <p>(87) 国際公開番号 W02000/028294</p> <p>(87) 国際公開日 平成12年5月18日 (2000.5.18)</p> <p>審査請求日 平成15年1月22日 (2003.1.22)</p> <p>(31) 優先権主張番号 9824756.2</p> <p>(32) 優先日 平成10年11月11日 (1998.11.11)</p> <p>(33) 優先権主張国 英国 (GB)</p>	<p>(73) 特許権者 500087969 ヨーロッパ コミュニティー レプレゼ ンティッド バイ ザ コミッション オ ブ ザ ヨーロピアン コミュニティーズ EUROPEAN COMMUNITY Represented by the Commission of the E uropean Communities ルクセンブルク国 エル-2920 ルク センブルク リュ アルシード デ ガス ペリイ (番地なし)</p> <p>(74) 代理人 100086380 弁理士 吉田 稔</p> <p>(74) 代理人 100103078 弁理士 田中 達也</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバ・ブラッグ・グレーティングを備えたひずみセンサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1および第2ファイバ・ブラッグ・グレーティングと、前記グレーティングを直列に接続するある長さの接続長部を有する光ファイバとを備え、各グレーティングが実質的にまっすぐであり、前記2つのグレーティングが非平行であり、かつ異なる公称ブラッグ波長を持ち、光ファイバの前記接続長部に曲げを有している、ひずみセンサにおいて、

前記接続長部の一部分にテーパが付けられ、前記テーパ付き部分が縮小断面積を有する細長いくびれ部分を含み、かつ

前記曲げが前記くびれ部分に形成されることを特徴とするひずみセンサ。

【請求項 2】

前記接続長部が単一モード光ファイバで形成され、前記縮小断面積が前記単一モード・ファイバの非テーパ付き部分の公称断面積の半分未満である、請求項1に記載のひずみセンサ。

【請求項 3】

前記接続長部がクラッド材で包囲されたコアを有する光ファイバで形成され、前記クラッド材がある屈折率を有し、前記センサがさらに前記クラッド材の屈折率より低い屈折率を有する第1媒体の第1本体をさらに含み、前記第1本体が前記テーパ付き部分の表面を収容しかつそれと接触する、請求項1または2に記載のひずみセンサ。

【請求項 4】

前記第1本体が前記テーパ付き部分の表面を覆う被覆を含む、請求項3に記載のひずみ

センサ。

【請求項 5】

前記テーパ付き部分および前記ファイバ・ブラッグ・グレーティングを封止する第 2 媒体の第 2 本体を含み、前記第 2 媒体が前記第 1 本体によって前記テーパ付き部分の表面から分離される、請求項 3 または 4 に記載のひずみセンサ。

【請求項 6】

前記ファイバ・ブラッグ・グレーティングおよび接続長部を収容する封止本体と、前記封止本体内に捕獲され前記テーパ付き部分を包囲するガスのポケットとを含む、請求項 1 または 2 に記載のひずみセンサ。

【請求項 7】

前記テーパ付き部分を包囲し、それに沿って伸長し、ガス・ポケットを含む管状スリーブを含む、請求項 6 に記載のひずみセンサ。

【請求項 8】

前記第 1 および第 2 ファイバ・ブラッグ・グレーティングならびに前記接続長部が連続光ファイバで形成される、請求項 1 ないし 7 のいずれか 1 つに記載のひずみセンサ。

【請求項 9】

前記連続光ファイバが単一モード・ファイバである、請求項 8 に記載のひずみセンサ。

【請求項 10】

前記 2 つのファイバ・ブラッグ・グレーティングが実質的に共平面であり、ひずみローゼットの少なくとも一部分を形成するように構成される、請求項 1 ないし 9 のいずれか 1 つに記載のひずみセンサ。

【請求項 11】

シリコン・ゴムがくびれ部分の表面と接触するように、前記くびれ部分を被覆または封止するシリコン・ゴムの本体と、シリコン・ゴムの前記本体および前記ファイバ・ブラッグ・グレーティングを封止する実質的に剛性材料の本体とを含む、請求項 1 ないし 10 のいずれか 1 つに記載のひずみセンサ。

【請求項 12】

実質的に平行に配置された 2 つの実質的に剛性の板を含み、前記ファイバ・ブラッグ・グレーティングおよび接続長部が前記板の間に板と平行に配置され、前記ファイバ・ブラッグ・グレーティングが各々板に堅固に接着される、請求項 1 ないし 11 のいずれか 1 つに記載のひずみセンサ。

【請求項 13】

前記板が、前記ファイバ・ブラッグ・グレーティングの公称直径に実質的に等しい距離だけ分離される、請求項 12 に記載のひずみセンサ。

【請求項 14】

前記くびれ部分が前記板に堅固に接着されない、請求項 12 または 13 に記載のひずみセンサ。

【請求項 15】

請求項 1 ないし 14 項のいずれか 1 つに記載のひずみセンサと、  
グレーティングに光を入力するために配置された光源と、  
前記グレーティングによって反射された光または前記グレーティングを透過した光を検出するように配置された光検出器と、を含み、  
前記光源および光検出器が、ブラッグ波長の指標を提供するように作動可能である、検出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

本発明はひずみセンサに関し、特に光ファイバ・ブラッグ・グレーティングをひずみ検出素子として組み込んだ多素子ひずみセンサに関する。

【0002】

ひずみローゼットは周知の多素子ひずみセンサであり、機械的試験に幅広く使用されて

10

20

30

40

50

いる。ひずみローゼットは一般的に、共通基板上に装着された2つまたは3つの非共線ひずみ計を含む。ひずみ計は一般的に相互に $45^\circ$ または $60^\circ$ に配置され、それぞれ矩形またはデルタ・ローゼットを形成する。

【0003】

ひずみローゼットは表面に装着するか、または構造物内に埋め込み、ひずみ場 (strain field) に関する様々な情報を提供するために使用することができる。例えば、ひずみローゼットは、主軸に沿ったひずみ成分およびそれに直角なひずみ成分を測定するため、および主軸の方向が未知である場合にはそれを決定するために、使用することができる。

【0004】

従来、ひずみローゼットは一般的に、それらのひずみ検出素子として3つの電気ひずみ計 (例えば抵抗ひずみ計) を使用してきた。周知の矩形ひずみローゼットを図1に図式的に示す。これは、相互に $45^\circ$ に配置された3つの抵抗ひずみ計S1、S2、S3を含む。ひずみ計は、取扱いを容易にするため、およびそれらの相互の方向付けを維持するために、実質的に平面の共通基板上に装着される。最適結果のために、個々のひずみ計は一箇所にできるだけ近接して配置される。各センサに別個の電気接続が必要である。

10

【0005】

ファイバ・ブラッグ・グレーティングはよく知られており、電気センサの代替物として温度センサまたはひずみ計として使用することができ、多数の利点を提供する。ファイバ・ブラッグ・グレーティング (FBG) および検出素子としてのその使用は、Dunphyらの「Optical Fibre Bragg Grating Sensors: A Candidate for Smart Structure Applications」の10章のFibre Optic Smart Structures (Eric Udd編集、1995年、John Wiley & Sons, Inc. 出版、ISBN 0-471-55448-0) に記載されている。

20

【0006】

典型的なFBGを図2(a)に図式的に示す。FBGは、コア21がコアよる低い屈折率を有するクラッド材22によって取り囲まれている、ある長さの光ファイバで形成される。光ファイバは一般的に単一モード・ファイバ (モノ・モード) であり、コアの直径は、選択された光源に対して、光がコアに沿って単一モードだけで伝搬できるように十分に小さい。単一モードは、実質的にコア/クラッド境界によって誘導される。グレーティングの「線」11は、コアの屈折率 $N_c$ の一連の規則的な間隔の摂動である。グレーティングはファイバの長さLに沿って伸長し、ここでLは一般的に1mmから20mmの範囲であり、FBGの長手軸Zに沿ったコアの屈折率の変動を、図2(b)に示す。FBGを生成するために、様々な技術を使用することができる。これらの技術の1つでは、位相マスクでファイバをマスクングし、それを強い紫外光にさらすことによって、コアに屈折率の摂動を形成する。別の技術では、2つの交差する半値UVレーザ・ビームによって生じる干渉パターンにファイバをさらすことによって、屈折率の摂動を形成する。屈折率の摂動の間隔Xは、2つの半値ビームが交差する角度によって決定される。これらの技術によって生成されるコア屈折率の摂動は一般的に、1000分の1またはそれ以下という程度である。

30

40

【0007】

FBGを生成するために使用される光ファイバは一般的に、クラッドの外側に保護被覆を有する。ファイバをUV光にさらしてグレーティングを形成する前に、保護被覆を除去する。露光後、ファイバのむき出し部分を再被覆して、その耐久性を回復する。

【0008】

FBGに入力信号として広いスペクトルの光が入力されると、大部分の波長はグレーティング領域を通過し、透過出力信号82を形成する。しかし、周期的な屈折率の摂動は、入力信号のうち波長  $\lambda$  つまりブラッグ波長を有する成分の強いブラッグ反射を生じる。ここで、

50

$$b = 2 \times N_c$$

である。したがって、回転可能な検出器を使用して、反射信号のピークまたは透過信号のトラフを見つけることができる。したがってピークまたはトラフを発生する波長は、グレーティングの線間隔  $\lambda$  の指標になる。

#### 【 0 0 0 9 】

F B G は長手方向のひずみを加えられると、間隔  $\lambda$  が変化し、したがってブラッグ波長にずれが発生する。適正な概算で、ブラッグ波長は、長手軸に沿ったひずみに比例する。好都合なことに、グレーティング・センサは本質的に、長手軸に整列しないひずみ場の効果を拒絶する傾向がある。

#### 【 0 0 1 0 】

好都合なことに、ひずみはブラッグ波長を測定することによって決定されるので、測定値は、入力光の強度のゆらぎによって影響されない。

#### 【 0 0 1 1 】

ファイバ・ブラッグ・グレーティングは、光ファイバ・センサに関連付けられるその他の利点を提供する。例えば、それは電磁干渉が起こりにくく、軽量かつ小型であり、高い温度耐性および放射耐性を示し、厳しい環境でも耐久性がある。

#### 【 0 0 1 2 】

3つの分離した F B G をひずみ検出素子として使用する光ファイバひずみローゼットは周知であり、そこでは各 F B G が、他の F B G のものとは別個の、それ自体の入力および出力ファイバを有する。検出領域は適切に小型であるかもしれないが（つまり F B G は一箇所に近接して配置される）、3組の関連ファイバは不都合である。

#### 【 0 0 1 3 】

各々の F B G アレイを1つずつ個別に接続するのではなく、その代わりに、それらの公称ブラッグ波長が十分に異なることを前提として、それらを直列に接続することが知られている。1つのそのような構成を、図3に図式的に示す。ここでは、光源70が信号を出力し、その一部分80が、双方向カプラCを介して、一列のファイバ・ブラッグ・フレ1A、1B、1Cに入力される。3つのF B Gはそれぞれ異なる公称ブラッグ波長BA、BB、およびBCを有し、カプラに戻る反射信号81は基本的に、これらの3つの波長の光だけで構成される。反射信号81の一部分は、カプラCを介して光検出器71に入力される。この例では、光源70は広帯域光源であり、光検出器71は回転可能な狭帯域検出器である。したがって、検出器が波長の範囲全体を走査すると、3つのブラッグ波長に対応する強度のピークが検出され、したがって各F B Gが経験したひずみを決定することができる。こうして、図3では、ファイバ・ブラッグ・グレーティングは多重化される。

#### 【 0 0 1 4 】

代替構成で、回転可能な狭帯域光源を広帯域光検出器と共同して使用して、ブラッグ波長を測定することができることは、理解されるであろう。

#### 【 0 0 1 5 】

直列に接続されたファイバ・ブラッグ・グレーティングを組み込んだひずみローゼットは周知であり、一例を図4に図式的に示す。ここで、ひずみローゼットの光ファイバ構成要素は、第1ファイバ・ブラッグ・グレーティング1Aに接続された入力部分50を含む単一の連続ファイバから形成される。第1ファイバ・ブラッグ・グレーティングは接続ループ6によって第2 F B G 1Bに接続され、これが今度は第2ループ6によって第3 F B G 1Cに接続される。F B Gは公称軸に対して0°、45°、および90°に配置され、ローゼットは薄膜の封止材9に封止される。光ファイバの厚さは、図では、分かりやすくするために誇張されている。

#### 【 0 0 1 6 】

3つのF B Gは一箇所に近接して配置され、小型の検出部を形成するが、ローゼットの全体的なサイズは、ループ状に形成されたファイバ6のために、結果的にかなり大きくなる。ローゼットの全体的なサイズを最小限にするために、ループをできるだけ小さくすることが望ましいが、最小曲げ半径は、有意の曲げ損失を避けるのに十分な大きさでなけれ

10

20

30

40

50

ばならない。最高200 $\mu$ mまでのクラッド径を有する典型的な光ファイバの場合、損失の無い最小曲げ半径は約1cmである。こうして、この大きい最小曲げ半径のために、多重化FBGセンサを必要な形態に構成すると、結果的に大きく扱いにくい装置になる。

【0017】

多重化FBGから形成されるデルタ・ローゼットもまた周知であり、例えばApplied Optics誌1997年12月20日付第36巻第36号PP9437-9447のS. Magneらの「State of Strain Evaluation With Fibre Bragg Grating Rosettes」に記載されている。これらのデルタ・ローゼットの1つの例を図5に図式的に示す。3つのFBGつまり1A、1B、1Cが、接続ファイバ6の長さ形成された2つのループLによって直列に接続され、FBGは相互に60°に配置される。再び、接続ループLの最小サイズはファイバの最小曲げ半径によって決定され、結果的に約8cmのサイズを有するローゼットになる。

10

【0018】

こうして、FBGの相互配置はローゼットの設計および機能によって決定され、ファイバ6の接続部分は、大まかに1つのFBGの端から別のFBGの「入力」端につながなければならない。光ファイバの接続部分は、かなりの損失を導入することなく1cm未満の半径に曲げることができないという事実は、従来、接続部分の構成に対する重大な制約であり、これは次に、数センチメートル平方より小さい実用的FBGひずみローゼットの製造が不可能であることを意味してきた。

20

【0019】

明らかに、特にセンサが構造物内に埋め込まれる適用分野のために、FBGひずみローゼットを含む、より小型の多素子ひずみセンサを製造することが望ましい。例えば、より小型の装置は、構造物の強度を犠牲にすることなく、組み込むことができる。

【0020】

本発明の第一態様にしたがって、

第1および第2ファイバ・ブラッグ・グレーティングと、前記グレーティングを直列に接続するある長さの接続長部を有する光ファイバとを含み、各グレーティングが実質的にまっすぐであり、前記2つのグレーティングが非平行であり、異なる公称ブラッグ波長を持ち、前記接続長部の光ファイバが曲げを有している、ひずみセンサにおいて、

30

前記接続長部の一部分にテーパが付けられ、前記テーパ付き部分が縮小断面積を有する細長くびれ部分を含み、かつ

前記曲げが前記くびれ部分に形成されることを特徴とするひずみセンサを提供する。

【0021】

こうして、FBGは多重化され、実質的にまっすぐであるので、それぞれの長手軸に沿ったひずみの成分のみに応答する。それらはひずみの様々な成分に応答するように非平行に配置され、ひずみローゼットの一部として、例えば実質的に共通平面内に相互に60°、45°、または90°の角度で配置することができる。

【0022】

従来のFBGひずみセンサとは異なり、接続長部の光ファイバはテーパ付き部分を含む。光ファイバにテーパを付けるのは周知の工程であり、一般的にファイバの一部を火炎で加熱し、次いでその部分を引き延ばすか引っ張って、縮小断面積のテーパくびれまたは頸部を形成することを含む。一般的に、テーパくびれは実質的に均等な断面積で細長く伸び、断面積の減少が発生するファイバの領域はテーパ遷移部分として知られる。つまり、テーパ付き部分は一般的に2つのテーパ遷移部分およびテーパくびれ部分を含み、テーパ遷移部分はテーパくびれをファイバの非テーパ付き部分に接続する。

40

【0023】

本発明は、テーパくびれ部分が非テーパ付きファイバより小さい半径で損失なく曲げることができる、という事実を利用する。こうして、1つのグレーティングから他のグレーティングへの接続長部のファイバの経路選択を、実質的にテーパくびれ部分に形成された

50

曲げによって達成することができ、最小曲げ半径の低下により、経路選択に対する制約が少くなる。

【0024】

要するに、接続長部にテーパ付き部分を使用し、テーパくびれに10mm未満の半径の曲げを形成することによって、1つのFBGから次のFBGへの接続長部の経路をより直接にすることができ、装置のサイズを縮小することが可能になる。

【0025】

一般的に、テーパくびれ部分の断面積が小さければ小さいほど、最小許容曲率半径が小さくなり、したがって接続をより直接的にすることができる。しかし、希望する波長の光を装置に沿って伝搬することを可能にするためには、テーパくびれ部分の断面を十分に大きくしなければならない。

10

【0026】

ひずみセンサを含む検出装置は、グレーティングから反射してファイバの入力長を戻す光を検出するように配置された光検出器を使用することができ、または代替的に、グレーティングを透過し、第2FBGの端に接続されたファイバの出力長に沿って出力される光を測定するように配置することができる。

【0027】

ひずみセンサは、第1および第2FBGと直列に接続された追加FBGを含むことができ、各接続長部のファイバにテーパ付き部分を組み込むことができる。

【0028】

くびれ部分の最小許容曲げ半径は曲げ部分の断面積によって異なり、例えば20ミクロン以下のテーパくびれ直径の場合、最小曲げ半径はわずか1mmにすることができる。

20

【0029】

本発明は、小型であると共に最小限の数のファイバ・リードを有する光ファイバひずみローゼット(光ファイバ・センサの利点を兼ね備えた)の構造を可能にする。

【0030】

好都合なことに、接続長部は単一モード光ファイバで形成することができ、くびれの縮小断面積は、非テーパ付き単一モード・ファイバの公称断面積の半分未満にすることができる。

【0031】

接続長部の両端は、単一モードファイバの非テーパ付部分を含むことができ、上述の通り、単一モード(モノ・モードとしても知られる)ファイバは、コアより低い屈折率を有するクラッド材のシースによって包囲されたコアを含む。コアは一般的に、基本モードだけが非テーパ付きファイバを伝搬できるように十分に小さい直径の円形である。この基本モードは、コアとクラッドの境界によって非テーパ付きファイバ内を誘導される。コア径は一般的に15ミクロンより小さいが、他のサイズも知られている。くびれ部分の断面積を少なくとも2分の1に縮小すると、基本モードは実際にはテーパくびれのコア材とクラッド材の界面によって閉じ込めて誘導することが、もうできなくなる。この状況では、基本モードは、テーパくびれを伝搬していくときに、クラッド材の外部境界(一般的に封止材もしくは注封材または空気との界面)によって誘導され、コアはもはや役割を果たさなくなる。最初、基本モードは、ファイバのコアによって誘導され、ファイバの非テーパ付き部分に沿って伝搬する。テーパ遷移領域に入ると、それは徐々に減少するコアの断面積に遭遇する。コアが小さすぎて基本モードを誘導できない地点に達し、次いで基本モードは「包囲突破(break out)」して、クラッドの外部境界によって誘導される。つまり伝搬する光の場が今やくびれの断面全体に及ぶ。

30

【0032】

隔離された単一モード・ファイバの十分にテーパを付けた領域は、以前にはコアとクラッドの境界によって弱く閉じ込められていた基本モードが、テーパ付き領域ではクラッドと空気の境界によって強く閉じ込められるので、非テーパ付きファイバより曲げ損失を受けにくいことが知られている。例えば、Electronics Letters誌19

40

50

91年12月5日付第27巻第25号PP2334-2335のOakleyらの論文「Miniature High Performance Loop Reflector」に、非テーパ付きファイバが10ミクロンのコア径と、125ミクロンのクラッド径と、1250ナノメートルの遮断波長とを有しており、当初30ミクロンと報告されたテーパくびれのクラッド径で、単一モード・ファイバのテーパ付きくびれ領域に、測定可能な損失（つまり、この例の場合には0.05dB未満）を導入することなく、直径1.5mmの曲げを形成することができることが報告されている。テーパくびれの真のクラッド径は、後日発表された訂正で報告された通り、実際は15ミクロンであった。対照的に、低損失と両立する非テーパ付きファイバの最小曲げ直径は、約4cmであった。

【0033】

本発明の実施形態で、テーパ遷移領域で入力ファイバ・コアからの入力基本モード場の分離を十分に保証するように光ファイバを引き伸ばすことによって、テーパくびれ部分に、無視できる追加損失で、急な曲げを組み込むことができることが突き止められた。一般的に、テーパくびれの直径が小さければ小さいほど、許容できない損失を導入することなく、きつい曲げを達成することができる。好都合なことに、テーパくびれ部分は50ミクロン未満の直径を持つことができる。

【0034】

好ましくは、テーパくびれ部分は30ミクロンまたはそれ以下の「直径」を持つことができる。一般的に、テーパくびれの直径が小さければ小さいほど、許容できない損失を導入することなく、よりきつい曲げを達成することができる。しかし、最小直径は、くびれで誘導しようとする光の波長によって決定される。

【0035】

単一モード・ファイバのテーパ付き領域を接続長部として使用して、接続長部はFBGの間を、2mmまたはそれ以下の半径のくびれの曲げによってつなぐことができ、したがって、装置の全体的サイズを、従来の構成に比較して著しく縮小することができる。

【0036】

好都合なことに、接続長部は、クラッド材によって包囲されたコアを有する光ファイバから形成することができ、クラッド材はある屈折率を有し、テーパ部分はクラッド材の屈折率より低い屈折率を有する第1媒体の第1本体（body）内に収容することができ、この第1本体はテーパ付部分の表面に直接接触する。

【0037】

そのような媒体にテーパ付き部分を収容することにより、くびれにおける光の強い誘導が維持され、相当の損失を生じることなく、急な曲げを形成することが可能になる。収容はくびれ部分を妨害や汚染からも保護し、また第1本体を収容する第2ボディへの適正な接着を達成することができる。

【0038】

第1本体は、テーパ付き部分の表面を覆うコーティングとすることができる。

【0039】

第1本体は、くびれ部分全体に沿って伸長することができ、テーパ遷移部分を完全または部分的に覆うか、被覆するか、または封止することができる。

【0040】

第1本体は、透明なシリコン・ゴムの本体であることが好ましい。この材料はくびれに強い光誘導を維持するのに充分低い屈折率を持ち、結果的に、曲げたくびれに余分な損失を生じない。シリコン・ゴムはくびれ部分を保護し、曲げたくびれに著しいひずみを伝達させない。したがって可撓性シリコン・ゴムは、センサが監視しているひずみのために、曲げたテーパくびれ部分の損失が受け入れられないほど増加するのを防止する。

【0041】

ひずみセンサはさらに、第1媒体と同一または異なる第2媒体の第2本体に収容（封止）することができる。第2媒体は、ブラッグ・グレーティングにひずみを伝達することができる、エポキシ樹脂などの実質的に剛性材料の本体であることが好ましい。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 2 】

接続長部のくびれ部分で光のいっそう強い誘導を達成するため、本発明の特定の実施形態では、ファイバ・ブラッグ・グレーティングおよび接続長部を収容する封止体内に、テーパくびれ部分を包囲するガス層またはガス・ポケットを捕獲する。ポケットは、テーパ付き部分を完全に包囲するように伸長することができる。光はくびれ部分のクラッド材とガスとの界面によって強く誘導され、無損失曲げを形成することができる。ガスは例えば空気とすることができ、かつ/またはポケットが本質的に真空を内包するように低圧とすることができる。

## 【 0 0 4 3 】

テーパ部分の周囲にガス・ポケットを捕獲し易くするために、センサは、テーパ付き部分を包囲しそれに沿って伸長する管状スリーブを含むことができる。スリーブは、F B G および/または接続長部の非テーパ付き部分まで伸長し、それと緩い封着を形成することができ、装置が封止（注封）される構成で、スリーブは封止材がテーパくびれ部分に接触するのを防止することができる。

10

## 【 0 0 4 4 】

代替実施形態では、テーパ付き部分の周囲の注封材に気泡が形成される。

## 【 0 0 4 5 】

損失を最小にするために、第1および第2 F B G ならびに接続長部は、連続した単一の光ファイバで形成することができ、これは単一モード・ファイバとすることができ、

## 【 0 0 4 6 】

センサは、くびれ部分を被覆または封止し、したがってくびれ部分の表面と接触するシリコン・ゴム（透明）の本体を含み、剛性材料の本体がシリコン・ゴムの本体およびフバグレーティングの両方を封止することが好ましい。したがって、剛性材料はブラッグ・グレーティングの表面と接触するが、テーパくびれ部分の表面からはシリコン・ゴムによって分離される。

20

## 【 0 0 4 7 】

センサ（つまり剛性封止体）に加えられたひずみは、こうしてファイバ・ブラッグ・グレーティングに伝達することができるが、シリコン・ゴムの可撓性封止/被覆体のため、曲げくびれ部分には伝達されない。

## 【 0 0 4 8 】

センサは2つの剛板を含み、その間にF B G および接続長部をサンドイッチ状に挟み込むことが好ましい。F B G だけを板に接着し、テーパくびれ部分は支承しないことが望ましい。こうして、板に加えられたひずみはF B G に伝達することができるが、曲げられたテーパ付接続長部には伝達できない。こうして、ひずみがセンサに加えられたときに、曲げまたは各曲げにおける損失の増加を防止するか、または少なくとも微小にすることができる。

30

## 【 0 0 4 9 】

板はF B G と密着し、つまり、板の間隔は基本的にちょうどF B G の直径であることが好ましい。次いで、少量の接着剤を使用してF B G を板に接着することができる。板が最小可能な距離（F B G の直径によって設定される）だけ分離される場合でも、縮小された直径を有するテーパくびれ部分は板によって捕獲されず、空中で支承されずに残され、光誘導を向上することができる。こうして、センサは積層構造を持つことができる。

40

## 【 0 0 5 0 】

以下、本発明の実施形態を添付の図面に基づいて説明する。

## 【 0 0 5 1 】

今、図6を参照すると、この例では3つのF B G 1 A、1 B、1 Cが、光ファイバの接続長部 6 a、6 b によって直列に接続される。接続長部は、テーパ部分のくびれ部分に形成された10 mm未満の半径の曲げBを組み込む。F B G は公称軸に対し0°、45°および90°に配置されるが、接続長部の急な曲げにより、F B G 間の経路を先行技術の構成より直接的にすることが可能になる。大径のループが不要である。

50



## 【 0 0 5 2 】

図7は、図6の実施形態をさらに詳しく図式的に示す。F B Gおよび接続長部は、損失を最小限にするために、連続した単一長の単一モード・ファイバで構成される（つまり、継手や継ぎ目が無い）。各接続長部は、テーパ遷移部分61およびくびれ部分62から成るテーパ付き部分を含む。くびれ部分の断面積は、単一モードの光がくびれの残留コアによって事実上誘導できないように、十分に縮小されている。コアは、テーパ遷移部分全体にわたって断面積611を縮小する。

## 【 0 0 5 3 】

今、図8を参照すると、この図は本発明の様々な実施形態を図式的に示す。各々の事例で、F B G 1 A、1 B、1 Cを接続する光ファイバの接続長部6はテーパ付き部分を含み、テーパ付き部分のくびれには曲げBが形成され、曲げは10mm未満の最小曲率半径を有する。

10

## 【 0 0 5 4 】

図8aは、矩形のひずみローゼットを示し、3つのF B Gは3つの曲げによって接続される。

## 【 0 0 5 5 】

図8bは、3つのF B Gが2つの曲げによって接続された、いわゆるデルタ・ローゼットを示す。

## 【 0 0 5 6 】

図8cは、単一の曲げBによって接続され、相互に実質的に90°に配置された2つのF B Gを組み込んだひずみセンサの一部を示す。

20

## 【 0 0 5 7 】

図8dは、薄いF B Gが相互の上に90°に交差して配置され、2つの曲げBを組み込んだ接続長部6によって接続された、名目上平面的なひずみセンサを示す。F B Gをこのように重ね合わせることによって、センサのサイズはさらに縮小される。F B Gを含むファイバの直径は小さいので、交差したF B Gを薄膜内に注封して、扱いやすい、事実上二次元のひずみセンサを形成することができる。

## 【 0 0 5 8 】

図8eは、接続長部のくびれに形成された曲げBが、実質的に10mm未満の曲率半径を有する事実上小さいループである実施形態を示す。

30

## 【 0 0 5 9 】

図8f、g、およびhは、本発明を具体化する3素子ひずみローゼットの代替的構成を示す。

## 【 0 0 6 0 】

図9は、本発明を具体化するセンサの一部を詳細に示す。この概略図では、ファイバの直径は解説のために誇張されている。この例では、2つのF B G 1 A、Bおよび接続長部6が、クラッド22によって包囲されたコア21を有する、単一連続長の光ファイバで形成される。第1 F B G 1 Aの一端で、ファイバはテーパ遷移部分61、611全体にわたって、ほぼ一定の断面積のテーパくびれ部分62まで漸減する。くびれ部分の第2端で、ファイバは第2 F B G 1 Bの一端に接続する第2テーパ遷移部分全体にわたってテーパが付けられる。

40

## 【 0 0 6 1 】

こうして、この例では、接続長部は完全にテーパ付き部分61、611、62で構成される。接続長部の境界は、破線D1によって示される。テーパ遷移部分内で、コア21は、それがくびれ部分で光の誘導に有意の役割を果たさなくなる程度まで漸減する。

## 【 0 0 6 2 】

可撓性管状スリーブ7は、テーパ部分の全長にわたって取り囲み、伸長する。空気のポケットまたは層が管7の内側に捕獲され、したがってその全長にわたって、テーパ付き部分が、低屈折率を有するガスによって被覆される。1つのF B Gから次のF B Gまでテーパ付き部分に沿って伝搬する光は、クラッド材と空気の界面によって強く閉じ込められて

50

誘導され、テーパ付き部分をガスによって包囲するように構成するので、テーパくびれ部分のきつい曲げさえも、損失無く形成することができる。

【0063】

この例では、くびれ部分62は管7の内側に接触しないが、他の実施形態では、多少の接触が受け入れられる。

【0064】

図9の実施形態は、管7をテーパ付き部分全体に滑動させ、次いで薄膜の封止材であってクラッド22より低い屈折率を持つように選択された封止材内に装置を封止（注封または収容としても知られる）することによって形成されている。封止材9はF B Gに直接接触するが、テーパ付き部分への接触は管7および捕獲された空気によって防止される。明らかに、硬化前の封止材の粘度が十分に高い場合には、管7は、F B Gに対して適正な封着を形成する必要なく、テーパ部分を包囲する領域から材料を排除することができる。

10

【0065】

今、図10を参照すると、この実施形態では、接続長部およびF B Gはある長さの単一モード光ファイバで形成される。接続長部は、くびれ部分62によって接続される2つのテーパ遷移部分61、611から成るテーパ付き部分の両側の、その両端にあるファイバの2つの非テーパ付き部分63から成る。接続長部をF B Gの間に経路選択するために、くびれ部分62に単一の曲げBが形成され、この曲げは2mm未満の最小半径を有する。

【0066】

くびれ部分62およびテーパ遷移部分の一部は、クラッド材22より低い屈折率を持つ材料30で被覆される。この例では、被覆はテーパ付き部分を完全には覆わず、その表面65の一部分は被覆されない。

20

【0067】

被覆はテーパくびれを保護し、強い光誘導を維持し、曲げ損失を最小にする。

【0068】

センサはまた、適切な材料の層または膜内に注封して、F B Gの相対位置を固定し、取り扱いを容易にすることもできる。

【0069】

図11は、本発明を具体化し、デルタ構成で相互に対して60°に配置された3つのF B Gを備えたひずみローゼットを示す。単一長のファイバ50は、直列に接続されたセンサへの入力リードおよびそこから出力リードとして作用する。F B G間の経路選択は、接続長部のテーパ付きくびれ部分62における2つの曲げBによって達成され、接続長部の全長は、クラッド22より低い屈折率を有する材料30で封止される。この例では、接続長部の封止は、ファイバ・ブラッグ・グレーティング自体の一部分を覆うように伸長する。

30

【0070】

第3ファイバ・ブラッグ・グレーティング1Cの一端に、非反射吸収面が設けられている。この終端面は、入力/出力ファイバ50内を戻る唯一の光が、グレーティングによって反射されるその特性ブラッグ波長の光であることを確実にする。ファイバ・ブラッグ・グレーティング列の一端に非反射終端手段を組み込むことによって、装置のファイバ・リードの数が最小化される。

40

【0071】

センサの光ファイバ構成要素はさらに、適切な材料の薄膜9内に収容される。薄膜材は硬化したときに実質的に剛性であり、ひずみをF B Gに伝達し、クラッド材22のそれより低い屈折率を持つ。

【0072】

図12の実施形態では、材料9の単一の本体が、F B Gおよび接続長部のテーパ付き部分を封止し、それらの表面と直接接触する。

【0073】

今、図13を見ると、この実施形態には、その幅全体にわたって均等な連続長の光ファ

50

イバに沿って2つのF B G 1 a、1 bが直列に形成されている。つまり、それは別個のクラッドを持たない。破線D 1によって境界づけられることが示される接続長部は、テーパ遷移部6 1およびくびれ部6 2から成るテーパ付き部分を含む。くびれ部分は半径1 mmの曲げBを含み、ループとして形成される。テーパ付き部分全体は、注封材9の内側に補足されたガスのポケット内に封止される。ガス・ポケットは、注封工程中に封止材9がテーパ部分と接触するのを防止する閉囲構造7 1によって閉囲される。

【0074】

図14は、光ファイバの入力部分5 0および出力部分5 2を含む、本発明によるひずみローゼットを示す。光ファイバは単一モード・ファイバであり、ファイバのテーパ付部分のくびれ部分6 2にF B G 1 a、1 b、1 cが形成される。さらに、くびれ部分はF B G

10

【0075】

図15は、実質的にまっすぐなファイバ・ブラッグ・グレーティング1 a、1 bが相互に対して角度で配置され、材料9の薄膜内に收容された、さらなる実施形態を示す。F B Gは連続長の光ファイバに形成され、破線D 1によって境界づけられる接続長部は、1 cmもの最小半径を有する曲線状に配置された非テーパ付き部分6 3を含む。D 2によって境界づけられる接続長部のテーパ付き部分は、くびれ部6 2に2つの急な曲げBを組み込み、F B G間の接続長部の経路選択は、実質的に曲げBによって達成される。接続長部のテーパ付き部分6 1、6 2全体が、封止材9に形成された気泡内に閉囲される。

20

【0076】

図16は、本発明の実施形態による矩形の3素子ひずみローゼットを示す。第1および第2 F B G 1 a、1 bは、2つのテーパ付き部分6 1と6 2の間の非テーパ付き部分6 3を含む接続長部によって接続される。非テーパ付き部分6 3は実質的にまっすぐであり、曲げはテーパくびれ部分6 2に形成され、テーパ遷移部分は、硬化したときに実質的に可撓性であって構成光ファイバより低い屈折率を持つ材料9 1で封止される。第2接続長部は第2および第3 F B Gを接続し、これも可撓性材料9 1で封止される。装置の周囲に実質的に剛性の薄膜9が形成され、F B Gおよび可撓性の封止部分9 1の外部表面と直接接触する。実質的に剛性の材料9はひずみをF B Gに伝達することができ、可撓性部分9 1

30

【0077】

この例では、可撓性材料は透明なシリコン・ゴムである。この材料で曲げを封止すると、結果的に追加損失が生じない。

【0078】

図17は、3つのF B Gが材料の薄膜9に收容され、接続長部のくびれ部分が、薄膜に形成されたアパーチャまたは空隙1 0 1内に配置された、さらなる実施形態を示す。これらの空隙は、封止工程中にテーパくびれ部分から薄膜材料を排除することによって形成することができ、あるいは代替的に、封止材が硬化した後でそれをエッチングで除去することによって形成することができる。適切な材料のさらなる薄膜を薄膜9の両側に接着することができ、こうして空隙1 0 1内にガスを捕獲することができる。これは、くびれ部分の表面がガスに接触するように配置することによって、テーパくびれ部分の曲げに光の強い誘導が維持される装置を製造する便利な方法である。

40

【0079】

図17の装置はほぼ方形であり、2 cmの側辺を有する。

【0080】

図18は、さらなる実施形態の略側面図を示す。この例では、2つのファイバ・ブラッグ・グレーティング1 a、1 b、1 cが2つの平行な剛板P T、P Bの間にサンドイッチ状に挟み込まれる。頂板P Tと底板P Bの間隔は、それらがF B Gと密に接触するような状態

50

である（間隔は非テーパ付ファイバの直径に等しい）。F B G は各々板に接着され、板のひずみは F B G に伝達することができる。テーパくぼみ部分 6 2 は縮小直径を有し、したがって板と接触しない。テーパくびれ部分はシリコン・ゴムやエポキシ樹脂で封止されないが、板の間の空間の空気によって包囲される。板のひずみをテーパくびれ部分に直接伝達することはできない。テーパくびれ部分は 90° の曲げを組み込み、第 1 および第 3 F B G 1 a、1 c のこのテーパ遷移部分の「正面」を向いた表面 6 1 f を図で見ることができる。

【0081】

本発明によるセンサは、表面取付けセンサとして、または例えば炭素繊維強化複合材またはセメント・ベースの材料などの複合材料で形成される構造物または構成部品に埋め込むセンサとして、使用することができる。

10

【0082】

後者の適用例では、完成したセンサまたはローゼットを、埋込み工程中の保護および強化のために封止する必要がある。特に、保護被膜を除去して本質的に脆弱であり、テーパ付けまたは引張り工程によって直径が著しく縮小された曲げテーパくびれ部分については、これは不可欠である。テーパくびれ部分の曲げもまた、制御されない歪みにさらされると損失が非常に高くなり、テーパ遷移領域の歪みには特に敏感である。さらに、包囲材料が十分に低い屈折率を持たない場合、曲げられたくびれ部の導波能力の部分的または完全な低下により、光は失われる。

【0083】

表面取付けの場合でさえも、ローゼットを簡便かつ安全に取り扱い、試験表面に当てることができるようにするために、封止が必要である。

20

【0084】

こうして、本発明の実施形態では、ローゼットは、光ファイバのクラッドを形成する材料より実質的に低い屈折率を有するエポキシ等の成形材で封止することができる。

【0085】

ローゼットはエポキシ等の成形材料で封止することができ、曲げられるくびれ領域は、光ファイバのクラッドを形成する材料より実質的に低い屈折率を有するエポキシによって包囲され、包囲するエポキシは成形中に塗布するか、または代替的に、封止前に被覆することができる。

30

【0086】

代替的に、ローゼットはエポキシ等の成形材料で封止することができ、曲げられるテーパ付き部分は、曲げられたくびれ部が管壁に多少接触することは受け入れられるが実質的に接触しないように、薄い可撓管内に収容される。

【0087】

エポキシの代替例として、シリコン・ゴムを例えば注封材、成形材、または封止材として、あるいは被覆材として使用することができる。

【0088】

その他の適切な材料も当然使用することができ、特定の実施形態では、例えば曲げられたテーパ付き部分には第 1 材料を被覆し、センサは第 2 材料で封止するなど、多数の異なる材料を使用することができる。

40

【0089】

この明細書（この用語は請求の範囲を含む）で開示し、かつ／または図面に示した各特徴は、開示および／または図示したその他の特徴とは独立して本発明に組み込むことができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 周知の電気ひずみローゼットの概略図である。

【図 2 a】 周知のファイバ・ブラッグ・グレーティングの概略図である。

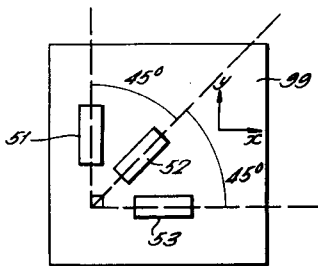
【図 2 b】 図 2 a の F B G に沿ったコア屈折率の変動を示すグラフである。

【図 3】 多重化 F B G を含む検出装置の概略図である。

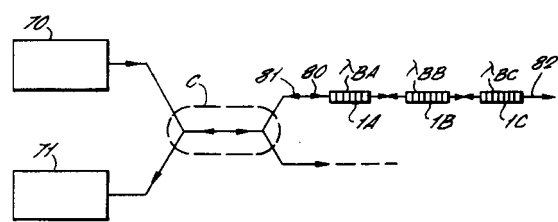
50

- 【図4】 F B Gを組み込んだ周知のひずみローゼットの概略図である。
- 【図5】 F B Gを使用した別の周知のひずみローゼットの概略図である。
- 【図6】 本発明の一実施形態の概略図である。
- 【図7】 図6の実施形態のより詳細な概略図である。
- 【図8】 本発明の様々な実施形態の概略図である。
- 【図9】 本発明を具体化するひずみセンサの一部分の概略図である。
- 【図10】 さらなる実施形態の一部分の概略図である。
- 【図11】 本発明を具体化するひずみローゼットの概略図である。
- 【図12】 本発明を具体化する別のひずみローゼットの概略図である。
- 【図13】 さらなる実施形態の概略図である。
- 【図14】 別の実施形態の概略図である。
- 【図15】 本発明を具体化するひずみセンサの概略図である。
- 【図16】 本発明を具体化するひずみローゼットの概略図である。
- 【図17】 本発明のさらなる実施形態によるひずみローゼットの概略図である。
- 【図18】 さらなる実施形態によるひずみセンサの略側面図である。

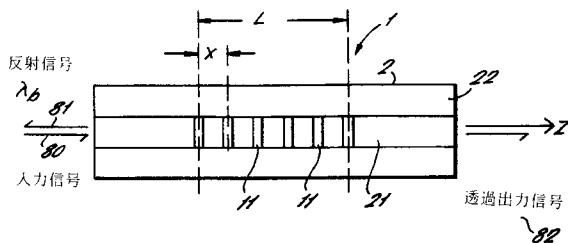
【図1】



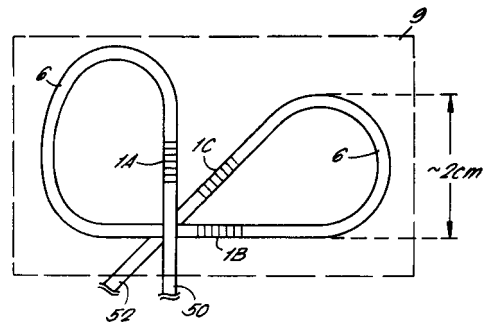
【図3】



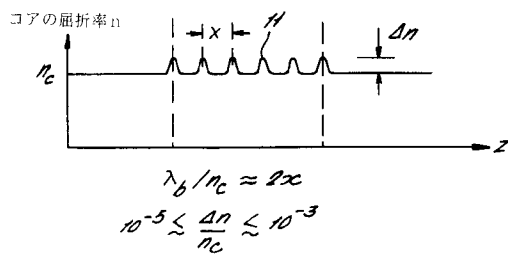
【図2 a】



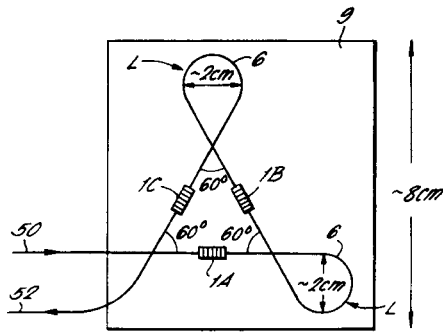
【図4】



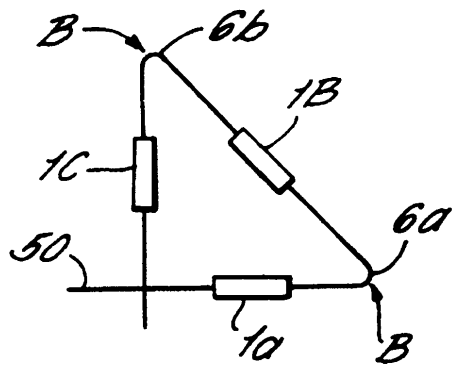
【図2 b】



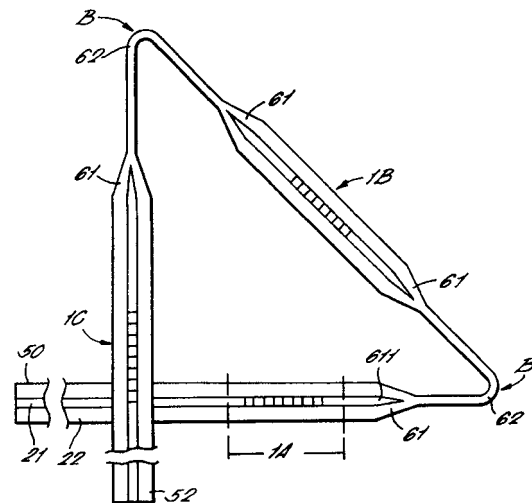
【 図 5 】



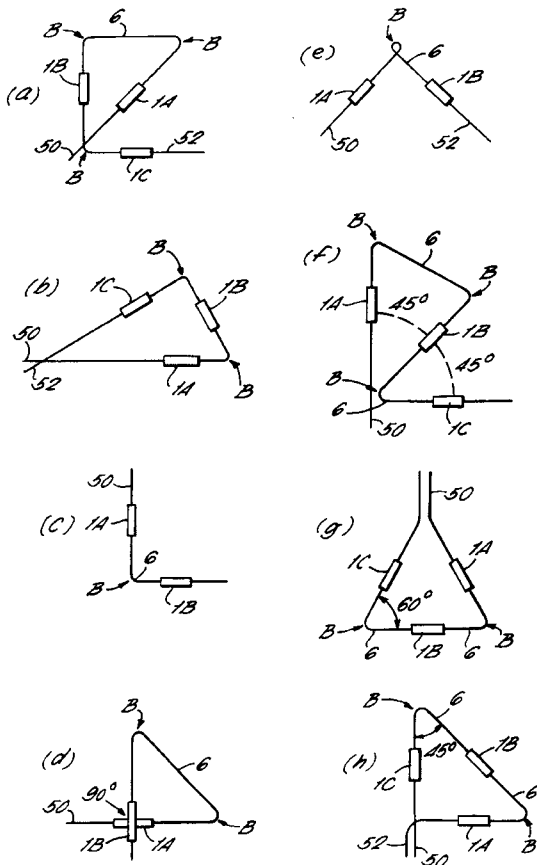
【 図 6 】



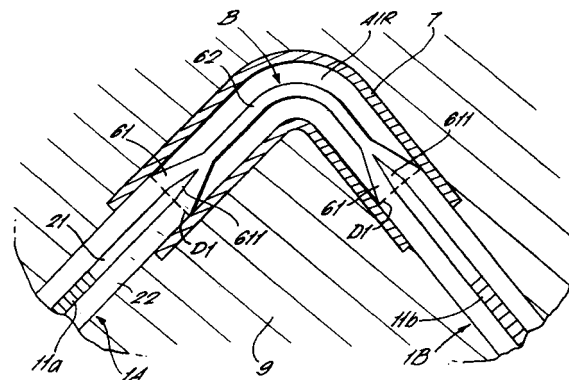
【 図 7 】



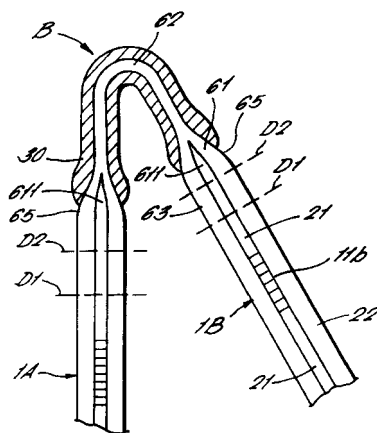
【 図 8 】



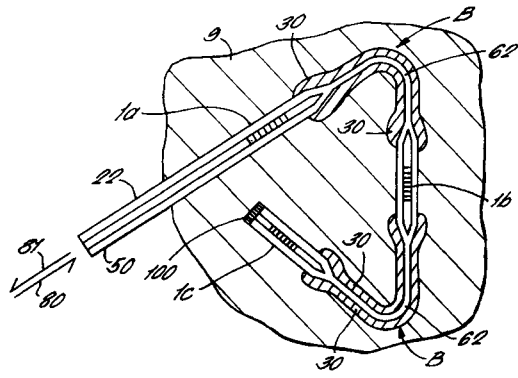
【 図 9 】



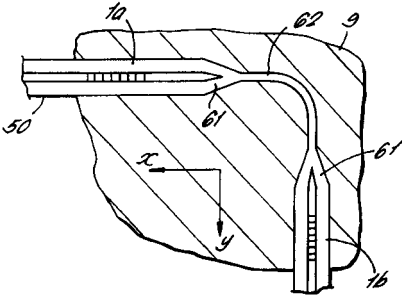
【 図 10 】



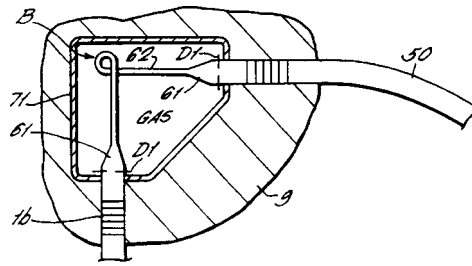
【 図 1 1 】



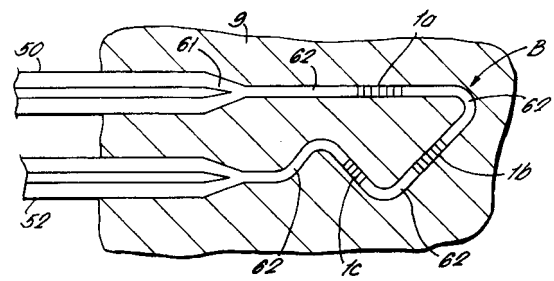
【 図 1 2 】



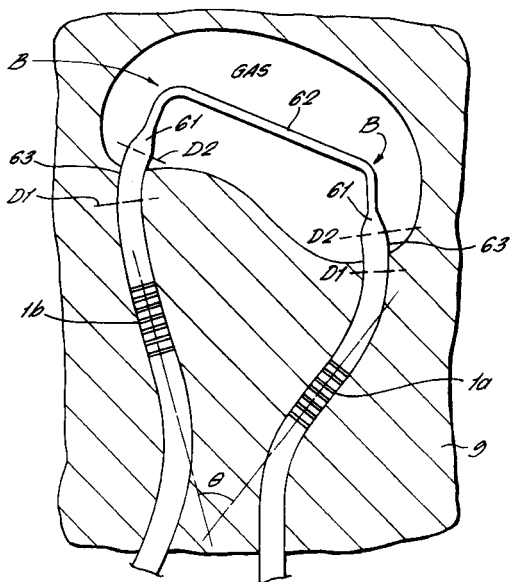
【 図 1 3 】



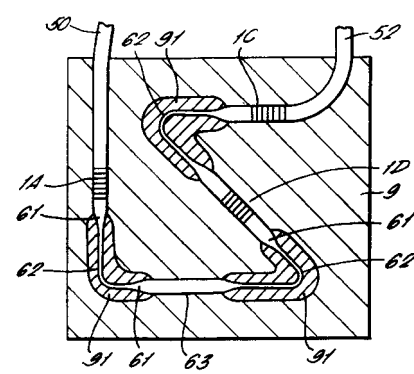
【 図 1 4 】



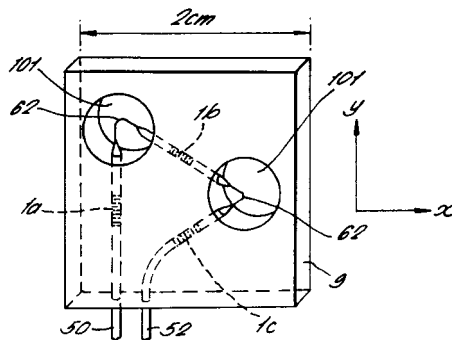
【 図 1 5 】



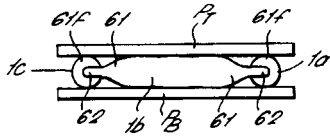
【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



【 図 18 】





## フロントページの続き

(74)代理人 100105832

弁理士 福元 義和

(72)発明者 ケニー、ロバート、パトリック

イタリア、I - 21020 イスブラ、チー . エー . チェントロ コムーネ ディ リチェルカ、  
イエッセイエッセ イスティテュート - ティピ210

(72)発明者 ウェラン、モーリス、パトリック

イタリア、I - 21020 イスブラ、チー . エー . チェントロ コムーネ ディ リチェルカ、  
イエッセイエッセ イスティテュート - ティピ210

(72)発明者 ルチア、アルフレド、カルロ

イタリア、I - 21020 イスブラ、チー . エー . チェントロ コムーネ ディ リチェルカ、  
イエッセイエッセ イスティテュート - ティピ210

審査官 松浦 久夫

(56)参考文献 特表平10 - 501339 (JP, A)

特開平08 - 304857 (JP, A)

特開平08 - 219825 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

G01L 1/24

G01L 1/00

G01D 5/26

G01B 11/16