

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4994244号
(P4994244)

(45) 発行日 平成24年8月8日(2012.8.8)

(24) 登録日 平成24年5月18日(2012.5.18)

(51) Int.Cl.	F 1
GO 1 L 1/24	(2006.01) GO 1 L 1/24 Z
GO 1 L 9/00	(2006.01) GO 1 L 9/00 B
GO 1 L 11/02	(2006.01) GO 1 L 11/02
HO 1 L 29/84	(2006.01) HO 1 L 29/84 Z

請求項の数 15 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2007-547119 (P2007-547119)
(86) (22) 出願日	平成17年12月12日 (2005.12.12)
(65) 公表番号	特表2008-524606 (P2008-524606A)
(43) 公表日	平成20年7月10日 (2008.7.10)
(86) 国際出願番号	PCT/CA2005/001883
(87) 国際公開番号	W02006/066393
(87) 国際公開日	平成18年6月29日 (2006.6.29)
審査請求日	平成20年12月12日 (2008.12.12)
(31) 優先権主張番号	60/637,755
(32) 優先日	平成16年12月22日 (2004.12.22)
(33) 優先権主張国	米国(US)
(31) 優先権主張番号	11/138,423
(32) 優先日	平成17年5月27日 (2005.5.27)
(33) 優先権主張国	米国(US)

(73) 特許権者	507090579 オプセンス インコーポレイテッド カナダ ジー1エヌ 4エヌ6 ケベック ケベック シリル デュクエ 2014 スウィート 125
(74) 代理人	100082005 弁理士 熊倉 裕男
(74) 代理人	100067013 弁理士 大塚 文昭
(74) 代理人	100086771 弁理士 西島 幸喜
(74) 代理人	100109070 弁理士 須田 洋之

前置審査

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 カテーテル用の光ファイバ圧力センサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光ファイバと接続した時に圧力センサとして用いるためのファブリ・ペロー圧力チップであって、

第1の表面を有する凹部空洞を含み、熱膨張係数(CTE)を有する本体と、前記凹部空洞を覆って前記本体に固定され、かつ内部表面及び外部表面を有し、該第1の表面及び内部表面が、ある一定の距離だけ分離されてファブリ・ペロー共振器を形成し、温度変化による機械的応力に影響するような隔膜の変形を補償するために、該本体の前記CTEと異なる熱膨張係数を有する材料の層を更に含む隔膜と、

を含み、

前記本体は、前記第1の表面に対向して設けられ、前記光ファイバ末端を受容し前記光ファイバを固定するためのファイバ受容空洞を有している、ことを特徴とするチップ。

【請求項 2】

前記本体は、前記第1の表面を含むホウケイ酸ガラス部分を含むことを特徴とする請求項1に記載のファブリ・ペロー圧力チップ。

【請求項 3】

前記本体は、前記第1の表面を形成する凹部空洞を含むことを特徴とする請求項1に記載のファブリ・ペロー圧力チップ。

【請求項 4】

10

20

前記第1の表面は、半反射層を含むことを特徴とする請求項1に記載のファブリ・ペロー圧力チップ。

【請求項5】

光源と前記ファブリ・ペロー共振器の間で光を中継するための光ファイバを更に有することを特徴とする請求項1に記載のファブリ・ペロー圧力チップ。

【請求項6】

光ファイバと接続した時に圧力センサとして用いるためのファブリ・ペロー圧力チップであって、

第1の表面を含み、かつ熱膨張係数(CTE)を有する本体と、

前記第1の表面を覆って前記本体に固定され、かつ内部表面及び外部表面を有し、該第1の表面及び内部表面が、ある一定の距離だけ分離されてファブリ・ペロー共振器を形成し、温度変化による機械的応力に影響するような隔膜の変形を補償するために、該本体の前記CTEと異なる熱膨張係数を有する材料の層を更に含む隔膜と、

を含むことを特徴とするファブリ・ペロー圧力チップ。

【請求項7】

前記材料の層の熱膨張係数は、前記本体のCTEよりも低く、

前記材料の層は、前記外部表面の中心部分及び前記内部表面の周縁部分の一方に配置されている、

ことを特徴とする請求項6に記載のファブリ・ペロー圧力チップ。

【請求項8】

前記材料の層の熱膨張係数は、前記本体のCTEよりも高く、

前記材料の層は、前記外部表面の周縁部分及び前記内部表面の中心部分の一方に配置されている、

ことを特徴とする請求項7に記載のファブリ・ペロー圧力チップ。

【請求項9】

光ファイバと接続した時に圧力センサとして用いるためのファブリ・ペロー圧力チップであって、

第1の表面を含み、かつ第1の熱膨張係数(第1CTE)を有する本体と、

前記第1の表面を覆って前記本体に固定され、かつ内部表面及び外部表面を有し、該第1の表面及び内部表面が、ある一定の距離だけ分離されてファブリ・ペロー共振器を形成する隔膜と、

を含み、

前記隔膜は、前記第1CTEと異なる第2の熱膨張係数(第2CTE)を有し、前記隔膜は、前記内部表面及び前記外部表面のうちの一方の上に、前記第1及び第2CTEと異なる第3の熱膨張係数(第3CTE)を有する材料の層を有しており、温度に起因する前記隔膜の望ましくない変形を補償するために、前記材料の層の熱膨張が、前記本体と前記隔膜との間の熱膨張係数の不一致に起因して前記隔膜内に誘発される機械的応力を打ち消すような機械的応力を前記隔膜に引き起こすように、前記第3CTEが選択されたものであり、ここで、前記材料の層は、前記隔膜の中心部分及び周縁部分のうちの一方に配置されている、

ことを特徴とするファブリ・ペロー圧力チップ。

【請求項10】

前記第2CTEは前記第1CTEよりも小さく、前記第3CTEは前記第1CTEよりも小さく、そして、前記材料の層は、前記外部表面の中心部分及び内部表面の周縁部分うちの一方に配置されていることを特徴とする、請求項9に記載のファブリ・ペロー圧力チップ。

【請求項11】

前記本体はホウケイ酸ガラスからなり、前記層はSiO₂からなることを特徴とする請求項10に記載のファブリ・ペロー圧力チップ。

【請求項12】

10

20

30

40

50

前記第2CTEは前記第1CTEよりも小さく、前記第3CTEは前記第1CTEよりも大きく、そして、前記材料の層は、前記外部表面の周縁部分及び前記内部表面の中心部分のうちの一方に配置されていることを特徴とする請求項9に記載のファブリ・ペロー圧力チップ。

【請求項13】

前記本体はホウケイ酸ガラスからなり、前記層はアルミニウムからなることを特徴とする請求項12に記載のファブリ・ペロー圧力チップ。

【請求項14】

前記本体は、光信号を前記ファブリ・ペロー共振器に中継するための光ファイバの末端を収容し、そこに固定するためのファイバ収容空洞を有していることを特徴とする請求項9に記載のファブリ・ペロー圧力チップ。 10

【請求項15】

光源とファブリ・ペロー共振器との間で光を中継するための光ファイバをさらに有し、前記光ファイバの末端は前記ファイバ収容空洞に挿入され、その内部に接着されて固定されることによって、ファブリ・ペロー圧力センサを提供するものである、請求項14に記載のファブリ・ペロー圧力チップ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、生体内測定のための圧力センサに関し、より詳細には、カテーテル先端光ファイバ圧力センサに関する。 20

【背景技術】

【0002】

カテーテルの利用は、いくつかの診断及び治療手順で急激に増大しており、侵襲性が少ない診断及び治療がもたらされる。内部組織又は流体の圧力測定が必要である場合が多い。カテーテルの大きさを低減することができる事が常に最重要事項であり、従って、圧力センサは、できるだけ小さくすべきである。圧力センサに対する他の重要な特徴は、忠実性及び安定性である。

【0003】

カテーテルと組み合わせて用いられる最初の侵襲性圧力センサの中には、外部的であつて1986年にWalla Heに付与された米国特許第4,576,181号に説明するような流体を充填した管類により体内圧力に接続されたものがあった。しかし、この方法は、圧力測定の忠実性に強く影響を及ぼす管類の移動に対するその極端な感受性に悩まされている。更に、管類が適切に圧力の動力学を伝えるためには、管類は、比較的大きい必要があるが、これは、実際のカテーテルデザインとの適合性があまりよくない。 30

【0004】

この重要な問題は、1981年にMizuno他に付与された米国特許第4,274,423号、及び1988年にMiller他に付与された米国特許第4,771,782号に教示されたようなカテーテル先端圧力センサで解決された。これらのセンサは、カテーテル又は患者の移動に対する感受性に悩まされないように、かなり小さなカテーテルに嵌め込むように作ることができる。他方、これらの利用は、MRI又は電気手術が存在する場合のような電磁ノイズが存在しない領域に限定されている。これらの電気センサの別の欠点は、圧力チップを囲む媒体の伝導性が変化することによって生じる水分ドリフトに対するその感受性である。 40

【0005】

光ファイバセンサには、これらの問題を解決する可能性がある。Matsumoto他著「光ファイバカテーテル先端圧力変換器の開発」、「Journal of Medical Engineering & Technology」、第2巻、第5号(1978年)に説明するような一部の初期デザインは、様々な機構により誘発される光強度の変動に基づくものであった。これらのセンサは、あらゆる種類の環境の影響のためにゆら 50

ぎが生じ易いことが公知である。

【0006】

ここ数年で、感知素子としてファブリ・ペロー共振器を用いることに基づく光ファイバセンサの数が増大している。ファブリ・ペローセンサは、それが様々なパラメータを測定することができるような様々な方式で構成することができる。更に、微小機械加工技術により低価格で小型のファブリ・ペローセンサを作ることも可能である（MEMS）。

【0007】

ファブリ・ペロー共振器に問い合わせするための様々な技術が提案されている。米国特許第5,392,117号、米国特許出願第10/829,980号及び米国特許出願第60/610,950号は、ファブリ・ペロー共振器の長さ、すなわち、2つの鏡が分離されている距離を正確に測定する機能を有するこのような問い合わせ技術の良い例である。これらの問い合わせ方法は、非常に正確で信頼性があり、従って、このような問い合わせ技術と組み合わせて用いられるファブリ・ペロー圧力センサの最終的な精度及び再現性は、センサ自体の品質に強く依存することになることに言及する価値がある。

10

【0008】

そこで、ファブリ・ペローに基づく圧力センサは、カテーテル先端圧力測定に対する要求に最も適合する可能性があると考えられる。1987年にSasaki他に付与された米国特許第4,678,904号は、一部の非常に興味深い特性を有するファブリ・ペローセンサを生成する1つの方法を教示している。これは、良好な再現性を達成しながら相当な低価格で生産することができるが、光ファイバの先端にチップを取り付けることを依然として考慮する必要がある。例えば、半田ガラスを用いて圧力チップを結合すると、工程が非常に高価になり、医学的用途に適合しないレベルまで価格が上昇する。圧力チップは、ポリマーを用いて光ファイバの先端に結合することができるが、この状況下での光ファイバの先端は、チップを受け取るために処理が必要なために、費用は依然として高いままである。ファイバにチップを良好に取り付けるためには、ファイバは、圧力チップに管を加えたものに同等の大きさまで拡大することが必要である。付加的な費用だけでなく、ファブリ・ペロー共振器の近くにポリマーを用いると、このデザインは、接着剤が膨潤するために水分に誘発されるドリフトが起こりやすくなる。

20

【0009】

チップレベルのパッケージ化という概念を実行することによって先のデザインが改良された。Gander他著「空気力学用途における埋め込み型微小機械加工光ファイバファブリ・ペロー圧力センサ」、「IEEE Sensors Journal」、第3巻、第1号（2003年）は、光ファイバを収容するための開口部を含み、従って、付加的な光ファイバ処理の必要性が消失した圧力チップを生成する方法を教示している。他方、このデザインは、どのような状況でも、安定な圧力測定を何も提供しない可能性がある。光ファイバの先端は、ファブリ・ペロー共振器の第1の鏡を構成するので、圧力測定値は、水分、温度、及び取り扱いのために避けることのできない光ファイバのあらゆるピストン運動に依存することになる。

30

【0010】

Tohyama他により示された論文「生物医学用途のための光ファイバ圧力マイクロセンサ」、「Sensors and actuators」、A66（1998年）は、強度に基づく圧力センサを生成する方法を開示するが、これは、光ファイバを収容するために先端レベルに生成された小さなシリコンロートの利用を教示するものである。Kim他著「光ファイバで相互接続した微小機械加工されたファブリ・ペロー共振器圧力変換器」、「SPIE」、第2642巻（1995年）は、同様の概念を教示するが、光学素子として代わりにファブリ・ペロー共振器を用いる。この方法の重要な欠点の1つは、依然として、水分ドリフトに対する感受性である。ポリマーは、湿度が存在すると膨潤することが公知である。膨潤すると、光ファイバを所定位置に保持するためにシリコンロートを満たすポリマーは、圧力チップに対して曲げ力を誘発し、これは、鏡を近接させ、従って、ドリフトを引き起こすことになる。

40

50

【0011】

図1は、圧力を測定するためのファブリ・ペローセンサ10の従来技術の構成を示している。双方向光ファイバ9は、光信号7をファブリ・ペロー圧力チップ21に向けて案内する。圧力チップ21は、ガラス基板1で作られる。1つの第1の部分反射鏡2は、ガラス基板1の上面に実施された凹部空洞5内に置かれる。第2の変形可能鏡3は、ガラス基板1に結合又は溶接される。両方の鏡2、3は、凹部空洞5の深さにより与えられる距離だけ離間して配置され、ファブリ・ペロー共振器6を構成する。第2の鏡3は、印加した圧力の関数として第1の鏡2に向って弓反りになる。次に、FP空洞長さ6は、圧力の明らかな関数である。圧力の関数としての隔膜の撓みは、通常は、 $2 \text{ nm} / \text{mmHg}$ 程度である。カーテル内に一体化するために、圧力チップ21は、光ファイバ9内を進む光信号がファイバからファブリ・ペロー共振器6まで導かれ、光ファイバ9に戻るようにバックエージ化される必要がある。光学レンズ8を用いることを考えることもできるが、これは、依然としていかなる環境寄生効果も圧力測定に有害にならないようにファイバ9をガラス基板に取り付ける方法を解決しない。

【0012】

図2は、光をファブリ・ペロー共振器6に引き入れて引き出すのに光学システムが必要でないように、光ファイバ9を通常200ミクロン未満のファブリ・ペロー共振器6に近接させた別の従来技術を示している。ガラス基板1の後側12に直接接着剤11が存在すると、このデザインは、水分誘発ドリフトに非常に感受性が高くなる。更に、光ファイバ9を管13に挿入すると、生産費用が高くなる。

【0013】

図3Aは、光ファイバ9を圧力チップ21に組み立てる方法がチップレベルで達成される別の従来技術デザインを示している。従って、生産費用は、かなり満足できるものである。シリコンを当業者に公知の方法で優先的にエッチングすることにより、ロート22をシリコン基板内に微小機械加工することができる。(100)方向のシリコン基板を用いると、角度が54度のロートが達成される。光ファイバ9をロート22内に適切に結合するためには、ロートを接着剤23で完全に満たす必要がある。このように広い開口部を有するロートを充填するのに必要な接着剤の量を考えると、接着剤23の水分誘発膨潤は、図3Bに示すように、圧力チップを曲げるのに十分に強い曲げモーメント24を誘発することになり、従って、隔膜25をガラス表面26に向って有意に偏向させ、その結果、圧力ドリフトが起こる。ロートが広く開いているために、ファイバから離れるように圧力チップを引っ張るのに必要な引張力は、有意に減少する。

【0014】

従って、現在のファブリ・ペロー圧力センサの欠点の1つは、その水分に対する感受性である。

【0015】

ファブリ・ペロー圧力センサの別の欠点は、その温度に対する感受性である。医療分野に実用的な用途があるセンサでは、センサを組み立てるのに用いた材料の熱膨張係数の差により生じる熱シフトを補償する方法を提供することが重要である。

【0016】

実際のセンサの別の欠点は、水ベース溶液に浸漬された時のその感受性の変動であり、この現象は、通常は、誤って水分ドリフトに関連付けられる。

【0017】

- 【特許文献1】米国特許第4,576,181号
- 【特許文献2】米国特許第4,274,423号
- 【特許文献3】米国特許第4,771,782号
- 【特許文献4】米国特許第5,392,117号
- 【特許文献5】米国特許出願第10/829,980号
- 【特許文献6】米国特許出願第60/610,950号
- 【特許文献7】米国特許第4,678,904号

10

20

30

40

50

【非特許文献 1】Matsumoto 他著「光ファイバカーテル先端圧力変換器の開発」、「Journal of Medical Engineering & Technology」、第2巻、第5号(1978年)

【非特許文献 2】Gander 他著「空気力学用途における埋め込み型微小機械加工光ファイバアブリ・ペロー圧力センサ」、「IEEE Sensors Journal」、第3巻、第1号(2003年)

【非特許文献 3】Tohyama 他の論文「生物医学用途のための光ファイバ圧力マイクロセンサ」、「Sensors and actuators」、A66(1998年)

【非特許文献 4】Kim 他著「光ファイバで相互接続した微小機械加工されたアブリ・ペロー共振器圧力変換器」、SPIE、第2642巻(1995年)

10

【発明の開示】

【0018】

本発明は、かなり低価格で生成され、測定の忠実性が高くて熱シフトが低く、同時に水分ドリフトが起こりにくい小型の頑強な光ファイバ圧力センサを提供する。小型光ファイバセンサは、光ファイバに結合されたアブリ・ペローチップを含む。本発明は、センサの水分に対する感受性が小さくなるように、光ファイバをアブリ・ペローセンサに結合させるのに必要な接着剤の量を低減する新しいセンサデザインを提供する。更に、本発明は、エッティングに基づく方法及びエキシマレーザを用いることに基づく方法を含むセンサの製造方法も提供する。更に、本発明は、熱変化に対するチップの感受性を低減するチップデザインも提供する。更に、本発明は、明確に定められた厚みを有するセンサ隔膜を設けるチップデザインも提供する。更に、本発明は、チップをエッティングから保護するチップデザインも提供する。

20

【0019】

本発明は、光ファイバと接続した時に圧力センサとして用いるためのアブリ・ペロー圧力チップを提供し、チップは、第1の表面を含む本体と、第1の表面を覆って本体に固定された隔膜とを含み、隔膜は、第2の表面を形成し、第1及び第2の表面は、ある一定の距離だけ分離されてアブリ・ペロー共振器を形成し、本体は、光ファイバの末端を受容して光ファイバをそこに固定する第2の空洞を含み、第2の空洞は、挿入された末端に緊密に適合する形を有し、それによって第2の空洞内に挿入された末端を固定するのに必要な接着剤が少量である。アブリ・ペロー圧力チップは、光源とアブリ・ペロー共振器との間で光を中継するための光ファイバを更に含み、光ファイバの末端は、ファイバアブリ・ペロー圧力センサをもたらすために、チップの第2の空洞に挿入されてその中に接着剤で固定される。

30

【0020】

本発明はまた、光ファイバと接続した時に圧力センサとして用いられるアブリ・ペロー圧力チップを製造する方法も提供する。本方法は、底面及び上面を有し、かつ底面と上面の間で光を中継するようになった基板を準備する段階と、上面に第1の表面を作成する段階と、第2の表面を有する隔膜を上面上に装着し、第1及び第2の表面がある一定の距離だけ分離されてアブリ・ペロー共振器を形成する段階と、光ファイバの末端に緊密に適合する形を有する第2の空洞を底面に作成する段階とを含む。本方法は、ファイバアブリ・ペロー圧力センサを製造するために、チップの第2の空洞に光ファイバの末端を挿入してそれをそこに固定する段階を更に含む。

40

【0021】

本発明はまた、光ファイバと接続した時に圧力センサとして用いられるアブリ・ペロー圧力チップを製造する方法も提供する。本方法は、底面及び上面を有し、かつ底面と上面の間で光を中継するようになった基板を準備する段階と、上面に第1の表面を作成する段階と、第2の表面を有する隔膜を上面上にかつ第1の表面の上に装着することによってアブリ・ペロー本体を設け、第1及び第2の表面がある一定の距離だけ分離されてアブリ・ペロー共振器を形成する段階と、後面及び前面を有し、かつ光ファイバを受け取るための第2の基板を準備する段階と、後面に光ファイバの末端に緊密に適合する形の貫通

50

孔を作成することによってインターフェース本体を設ける段階と、ファブリ・ペロー本体の底面をインターフェース本体の前面に結合する段階とを含む。

【0022】

本発明はまた、光ファイバと接続した時に圧力センサとして用いられるファブリ・ペロー圧力チップを製造する方法も提供する。本方法は、底面及び上面を有し、かつ底面と上面の間で光を中継するようになった基板を準備する段階と、上面に第1の表面を作成する段階と、 SiO_2 層上に第2の表面を形成するシリコン層を有する絶縁体上シリコン（ SOI ）ウェーハをシリコン基板上に設け、第2の表面が第1の表面に向くように SOI ウェーハを上面に固定し、シリコン基板及び SiO_2 を除去し、第1及び第2の表面がある一定の距離だけ分離されてファブリ・ペロー共振器を形成するようにして、基板の上面に装着されたシリコン隔膜を作成する段階とを含む。10

【0023】

本発明はまた、光ファイバと接続した時に圧力センサとして用いられるファブリ・ペロー圧力チップも提供する。チップは、第1の表面を含み、かつ熱膨張係数（CTE）を有する本体と、第1の表面を覆い、かつ本体に固定された隔膜とを含み、隔膜は、内部表面及び外部表面を有し、第1の表面及び内部表面は、ある一定の距離だけ分離されてファブリ・ペロー共振器を形成し、隔膜は、温度変化による隔膜の変形を補償するために本体の熱膨張係数と異なるCTEを有する材料の層を更に含む。

【0024】

本発明はまた、光ファイバと接続した時に圧力センサとして用いられるファブリ・ペロー圧力チップを製造する方法も提供する。本方法は、底面及び上面を有する本体を準備する段階と、上面に第1の表面を作成する段階と、隔膜層を有するウェーハを基板上に設け、かつ第2の表面を形成する上に重なる隔膜層を設けるために隔膜層の少なくとも一部分上に熱膨張率（CTE）を有する材料の層を設け、第2の表面が第1の表面に向くようにウェーハを上面に固定して基板を除去し、第1及び第2の表面がある一定の距離だけ分離されてファブリ・ペロー共振器を形成するようにして、本体の上面に装着された隔膜を作成する段階とを含む。20

【0025】

本発明はまた、光ファイバと接続した時に圧力センサとして用いられるファブリ・ペロー圧力チップを製造する方法も提供する。本方法は、底面及び上面を有する本体を準備する段階と、上面に第1の表面を作成する段階と、第2の表面を形成する隔膜の層を有するウェーハを基板上に設け、第2の表面が第1の表面に向くようにウェーハを上面に固定して基板を除去し、装着された隔膜の少なくとも一部分上に熱膨張係数（CTE）を有する材料の層を設け、第1及び第2の表面がある一定の距離だけ分離されてファブリ・ペロー共振器を形成するようにして、本体の上面に装着された隔膜を作成する段階とを含む。30

【0026】

本発明はまた、光ファイバと接続した時に圧力センサとして用いるためのファブリ・ペロー圧力チップも提供する。チップは、第1の表面を含む本体と、第1の表面を覆って本体に固定された隔膜とを含み、隔膜は、内部表面及び外部表面を有し、第1の表面及び内部表面は、ある一定の距離だけ分離されてファブリ・ペロー共振器を形成し、外部表面は、エッティングに対する保護層を含む。40

【0027】

本発明はまた、光ファイバと接続した時に圧力センサとして用いられるファブリ・ペロー圧力チップを製造する方法も提供する。本方法は、底面及び上面を有する本体を準備する段階と、上面に第1の表面を作成する段階と、第2の表面を形成する隔膜の層を有するウェーハを基板上に設け、第2の表面が第1の表面に向くようにウェーハを上面に固定して基板を除去し、装着された隔膜上に保護材料の層を堆積させ、第1及び第2の表面がある一定の距離だけ分離されてファブリ・ペロー共振器を形成するようにして、本体の上面に装着された隔膜を作成する段階とを含む。

【発明を実施するための最良の形態】

10

20

30

40

50

【0028】

以下の実施形態の説明では、添付の図面への参照は、本発明を実施することができる例を説明するためのものである。開示する本発明の範囲から逸脱することなく他の実施形態を作ることは理解されるであろう。

【0029】

今度は図4を参照すると、本発明の第1の実施形態により、従来技術のデザインよりも水分誘発ドリフトに感受性が低い光ファイバのファブリ・ペロー圧力センサ30が示されている。センサ30は、光ファイバ9に接続された圧力チップ36を含む。圧力チップ36は、ファブリ・ペロー共振器35を形成する隔膜38により覆われた凹部空洞39を含む。非制限的な例として、最初に厚み500ミクロンのガラス基板31に光ファイバ9を厚み300ミクロンまで収容する小さい穴33を掘削する。ガラス基板厚み及び掘削深さの他の組合せを用いることは、当業者には理解される。穴33は、193nmに調整したエキシマレーザで掘削することができる。エキシマレーザを用いて穴を掘削する時の利点は、穴33の壁32が約6度に制限された垂直からの変位を示すことである。穴を満たす接着剤34の量は、従来技術よりも遙かに少なく、従って、水分のために接着剤が膨潤する結果生じる曲げモーメントによりファブリ・ペロー共振器35の変動に及ぼされる影響が有意に減少した。従来技術と比較することにより、大幅にドリフトが減少し、このデザインが医学的用途に完全に適合するようになる。

10

【0030】

ドリフトが少ないことに加えて、圧力チップ36を光ファイバ9から引き離すのに必要な強度は、従来技術のセンサよりも遥かに大きい。それによって構造が患者に対して更に安全になるために、これは、別の重大な利点である。

20

【0031】

光信号がファブリ・ペロー共振器35内に有効に結合され、かつ光ファイバ9に戻るためにには、穴の底面にかなり小奇麗な表面37を有することが必要である。粗い表面37は、光ビームを歪めて、有効な入力及び出力結合を妨げるであろう。しかし、このような完全に平坦な表面を達成するのは困難である。表面の粗さは、光ファイバ及びガラス基板の両方の屈折率に適合する接着剤を用いることによって軽減することができる。両方の屈折率に適切に適合する様々な生体適合性のあるUV接着剤は、様々な製造業者から入手可能である。非制限的な例として、「Dymax 141-M」及び「Dymax 142-M」が適切な接着剤である。

30

【0032】

非制限的な例として、図5に、センサ30の圧力チップ36を作成する方法を示している。厚み500ミクロンのコード7740ガラス基板41を最初に厚み1000オングストロームのクロム42の層で被覆する。このクロム層は、ガラス基板の第1の表面44上にファブリ・ペロー共振器45をエッティングするための遮蔽物として働くことになる。クロム層は、次に、フォトレジスト43でスピンドルコートする。フォトレジストは、次に、ファブリ・ペロー共振器45の直径に適合する遮蔽物と共に露出される。ファブリ・ペロー共振器45の直径は、様々な大きさとすることができますが、直径300ミクロンが、加えた圧力の関数として隔膜を適切に撓ませながら空洞45の大きさを最小にするための良好な妥協点であることが見出されている。フォトレジスト43が露出された状態で、フォトレジストが現像され、それによって、次に、選択した部分のクロムが露出される。露出したクロムは、一部のHCL及び一部のグリセリンから成るクロムエッティング溶液を用いてエッティングして除去される。この時点で、7740ガラス基板41の選択した部分は、望ましい深さまで容易にエッティングして掘り下げられ、ファブリ・ペロー共振器45を形成する。直径300ミクロンのファブリ・ペロー共振器45は、4部の3mlの水及び2gのNH₄Fの混合物に一部の48%HF溶液を加えたものから成る緩衝HF溶液を用いて深さ18ミクロンまでエッティングして掘り下げられる。望ましい深さに達した状態で、基板を除去し、ファブリ・ペロー共振器45の第1の鏡を構成する半反射鏡46で被覆するために脱イオン水に入れて灌ぐ。半反射鏡46は、1/4波長のTa₂O₅のような様々な

40

50

酸化物材料で作ることができる。ここで、ガラス基板41は、エキシマレーザを用いて基板の第2の表面48上に掘削する準備ができる。穴47が掘削された状態で、隔壁38を含むシリコン基板49は、ガラス基板41の第1の表面50上に陽極的に結合される。次に、シリコン基板49は、隔壁38の覆いを外すために薄くする必要があることになる。

【0033】

隔壁38の厚みは、通常は、いわゆるエッチング停止層を用いることによって制御される。最も良く用いられるエッチング停止には、大量にホウ素をドープした(p^{++})エピ層を利用する。 p^{++} 層は、軽くドープされたシリコン基板の表面上に、望ましい隔壁厚みに等しい厚みまで成長する。陽極的に結合された状態で、シリコンの軽くドープされた部分は、機械的研削及びエチレンジアミンピロカテコール(EDP)溶液のような化学的エッチングにより除去することができる。 p^{++} 層に到達すると、エッチング処理の速度を約100分の1まで遅くする。従って、これは、文字通りのエッチング停止工程ではなく、むしろエッチング減速工程である。エッチング減速工程なので、隔壁の厚みは、制御することが幾分困難である。更に、研削した表面が隔壁の表面に同様に100分の1だけ低減されて再生されることになるために、殆ど鏡状表面を得ることができない。更に、内部残留応力が存在する可能性があるために、 p^{++} 層を隔壁として用いることは推奨されない。内部残留応力は、不規則な隔壁表面と相まって隔壁の降伏強度を低減し、従って、隔壁が破断する前の最大圧力を低減することになる。

【0034】

良好に制御された鏡状の隔壁を得るために別の方法は、絶縁体上シリコン(SOI)シリコン基板55を用いる。SOI基板55は、絶縁二酸化珪素層51を仲介として別の厚いシリコン基板52(ハンドル)に熱的に結合された薄いシリコン基板49(デバイス)で作られる。SOIウェーハ55は、様々なデバイス49厚みで市販されている。この場合、二酸化珪素層は、第1のエッチング停止部として働くことになる。非制限的な例として、パイレックス(登録商標)基板41に対して下向きにデバイス層49に陽極的に結合された状態で、その全厚の第1の部分を研削し、続いてEDP溶液を用いて化学的にエッチングすることによってハンドル52を除去することができる。二酸化珪素層51に到達した状態で、少なくとも10000分の1までエッチング処理が減速する。二酸化珪素層51は、HF緩衝溶液を用いて最終的に除去される。この最後の場合には、シリコンは、SiO₂よりも10000倍遅い速度でエッチングされる。その結果、最終的な圧力チップ36は、研磨再生不規則性が1000000分の1を超えるまで低減され、隔壁厚みも完全に制御された鏡状の隔壁表面を含む。

【0035】

当業者には明らかであるように、望ましい特性(例えば、フィニッシュ)を備えたファブリ・ペロー共振器45を得るために、及び隔壁の内部表面と外部表面の間に寄生空洞が形成されないようにするために、反射層を隔壁の内部表面上に堆積させることができる。このような反射層は、例えば、クロム層のような金属層とすることができます。

【0036】

最後の段階として、基板をさいの目に切り、圧力チップ36を選び出す。この時点で、圧力チップ36は、光ファイバ9を受け取る準備ができる。

【0037】

当業者には明らかなように、圧力チップ36のファブリ・ペロー共振器45は、ガラス基板41に凹部空洞39を形成する代わりに、隔壁38内に凹部空洞39を形成することによって得ることができる。

【0038】

図6に代替的な光ファイバファブリ・ペロー圧力センサ60を示している。センサ60は、光ファイバ65に接続された圧力チップ68を含む。厚みが300ミクロンであり、かつ光ファイバ65を受け取るために細いエッチング穴62でエッチングしたシリコン基板61を用いることが、このセンサ60がセンサ30と区別される点である。適切な優先的エッチング及び結晶構造配向のシリコン基板61内に垂直穴62をエッチングすること

10

20

30

30

40

50

は実際に可能である。例えば、(110)配向のシリコン基板61を選択することによって同様の穴62をエッティングすることができる。EDP、KOH、TMAHを用いる優先的化学エッティング又はRIE又はDRIEを用いる乾燥エッティングでは、当業者に公知のように(111)平面によって形成される垂直な壁を作成することができる。エッティング穴62を有するシリコン基板61は、光ファイバ65を収容するための堅固で完全に垂直な壁によりもドリフトが低い可能性があるが、穴62は、センサ30のように、エキシマレーザを用いて非常に良好に掘削することができる。非制限的な例として、これらの圧力チップ68は、最初にファブリ・ペロー共振器45をエッティングし、続いて半反射鏡46を堆積させることによって作成することができる。次に、エッティング穴62を有するシリコン基板61をガラス基板63の後面63に陽極的に結合する。次に、隔膜64をガラス基板63の他の表面に結合することができる。隔膜作成するための図5に示して上述した技術と同様の技術を用いて最終的な隔膜64を得ることができる。

10

【0039】

センサ30及びセンサ60は、熱感受性を受ける場合がある。室温では、シリコン及び「パイレックス 7740」の熱膨張係数(CTE)は、それぞれ、 $2.4 \times 10 - 60$ C-1及び $3.1 \times 10 - 60$ C-1である。温度が上昇すると、シリコン隔膜には、引張力が生じ、従って外向きに移動する。

【0040】

図7には、熱補償によって熱シフトに対する感受性が低い光ファイバのファブリ・ペロー圧力センサ70を示している。熱補償は、CTEが基板74よりも高い材料73を隔膜72の外部表面上に堆積させることによって達成される。補償材料のCTEが高くなると、層を薄くすることができる。非制限的な例として、アルミニウムのかなり薄い層73を堆積させて熱シフトを補償することができる。隔膜の撓みが比較的小さい場合には、曲げ応力が引張応力よりも優位である。その結果、隔膜の外部表面は、下向きに反る場合には、中心76は圧縮されているが隔膜の縁部75の近くは引っ張られている。中心部分が圧縮されているために、高CTE材料を隔膜の全表面に堆積させることは効率的でない。一部の特定のデザインでは、高CTE材料を堆積させると、熱シフトが一層悪化する場合がある。

20

【0041】

隔膜の撓みが比較的小さい場合には(医療用センサでは通常そうであるが)、図8に示すセンサ80は、高CTE補償材料81が隔膜83の厳密に縁部部分に堆積された隔膜83を有する。最適な結果にするために、隔膜83の中心部分82の2/3ほどは、何ら補償材料81を含まない必要がある。補償材料81は、ドーナツ状形状に堆積する必要があり、中心部82は、有効隔膜83の総直径のほぼ2/3倍に等しく、これは、凹部空洞45の直径である。非制限的な例として、直径400ミクロンで厚みが4ミクロンに等しい隔膜に対しては、上述のドーナツ状形状に従ってシリコン隔膜上に堆積した約100ナノメートルの厚みのアルミニウム層81が、十分な熱補償を生じさせることになる。

30

【0042】

センサ80の代替品として、図9に示すファブリ・ペロー圧力センサ90は、内部表面の中心に堆積した高CTE材料91を有する。一実施形態では、層91の直径は、有効隔膜83の総直径の約2/3倍に等しい。センサ80に比較すると、更に薄い高CTE材料を隔膜93の中心部分92上に堆積し、同様の熱補償を得ることができる。隔膜93の内部表面から熱シフトを補償することは、隔膜93の外部表面から補償するよりも効率的である。一方、外部表面から補償すると、厚みを調整することができ、従って、全ての場合で完全に補償することができ、従って、収率を増大させることができる。調整は、僅かに厚い補償材料81の層を堆積し、続いて後エッティングすることによって達成することができる。

40

【0043】

低CTE材料を用いると、熱シフトを補償する効率は落ちるが、シリコン隔膜及び補償材料のCTEの差は $2.4 \times 10 - 60$ C-1未満に限定されているために、低CTE材

50

料は、それでもその目的に用いることができる。上述の教示から、熱補償は、このような低C T E材料を堆積させることによって上述のものと反対の方式で得ることができることは、当業者には理解されるであろう。例えば、低C T E二酸化珪素材料の層を、隔膜の外部表面の中心部分に堆積させることができ、これと反対に、上述の低C T E材料を隔膜の内部表面の縁部に堆積させることができる。

【0044】

場合によっては、センサ30、60、80、及び90は、水性溶液に浸漬されると感受性の変化を受ける場合がある。本発明者は、水溶液に浸漬されるとシリコン隔膜38、64、72、83、93のあらゆる露出部分がエッティングで除去されることに実際に認めた。純水に4~6日間浸漬した後に、約1オングストローム/分の速度でシリコンのエッティングが開始されることが見出された。隔膜厚みが3~4ミクロンであることを考慮すると、感受性は、浸漬のかなり早い段階で大幅に変化する可能性があることが分る。血液に浸漬する時には、血液のpHを考慮すると更に速いエッティング速度を期待することができる。更に、この感受性の変化には、圧力センサが大気圧でゼロ点調整するために見かけのドリフトも伴う。例えば、0.5%の感受性の変化は、圧力センサ精度限界の限界内であるように見えるが、見掛けの圧力シフトは、このような場合には、 $760 \text{ mmHg} \times 0.5\% = 3.8 \text{ mmHg}$ に等しいことになり、上述の必要な精度の範囲外である。

10

【0045】

本発明の別の実施形態は、露出シリコンのエッティングに対する保護をもたらすことにある。非制限的な例として、露出区域を覆うためにクロムの薄い層を堆積させることができると、同じ性能のあらゆる他の材料によりシリコンエッティングが省かれることになることは理解されるものとする。医学的用途では、酸化チタン又は酸化珪素の薄い層を堆積させることができが更に望ましいことになる。シリコンがエッティングされないように保護するのに必要なチタンの厚みは、水又は血液に浸漬される場合には、かなり薄くすることができる。センサの生成を容易にするためには、全隔膜をこのようなチタン層で覆うことが非常に好ましいことになる。チタンは、補償材料を堆積する前に隔膜の外部表面上に堆積させることができる。生体適合性工程に対しては、好ましい方法には、露出シリコン隔膜及び高C T E温度補償材料の両方の上部にチタン層を堆積させる段階が伴う。

20

【0046】

本発明は、その特定的な実施形態によって説明したが、これは、本明細書に定める本発明の精神及び性質から逸脱することなく修正することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0047】

【図1】従来技術に見られるようなファブリ・ペローセンサの概略断面図である。

【図2】従来技術に見られるような光ファイバが組み込まれたファブリ・ペローセンサの概略断面図である。

【図3A】従来技術に見られるような光ファイバが組み込まれた別のファブリ・ペローセンサの概略断面図である。

【図3B】従来技術に見られるような光ファイバが組み込まれた別のファブリ・ペローセンサの概略断面図である。

40

【図4】本発明の第1の実施形態による光ファイバファブリ・ペロー圧力センサの概略断面図である。

【図5】本発明の第2の実施形態により圧力チップを製造する方法を示す一連の概略断面図である。

【図6】本発明の第3の実施形態による光ファイバファブリ・ペロー圧力センサの概略断面図である。

【図7】本発明の第4の実施形態による光ファイバファブリ・ペロー圧力センサの概略断面図である。

【図8】本発明の第5の実施形態による光ファイバファブリ・ペロー圧力センサの概略断面図である。

50

【図9】本発明の第6の実施形態による光ファイバファブリ・ペロー圧力センサの概略断面図である。

【符号の説明】

【0048】

9 光ファイバ

30 ファブリ・ペロー圧力センサ

34 粘着剤

35 ファブリ・ペロー共振器

36 圧力チップ

【図1】

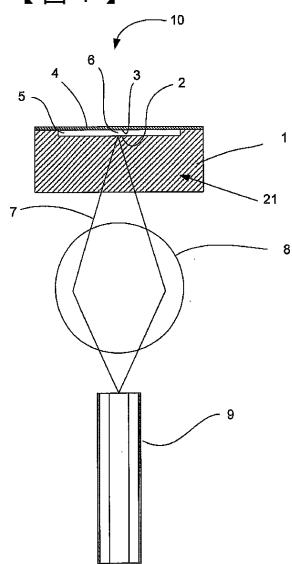


FIG. 1 (PRIOR ART)

【図2】

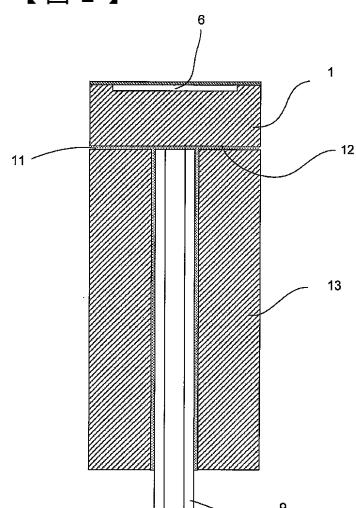


FIG. 2 (PRIOR ART)

【図3A】

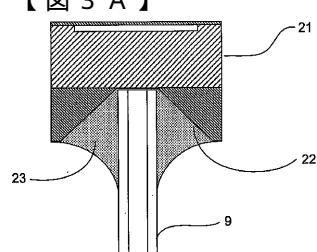


FIG. 3A (PRIOR ART)

【図3B】

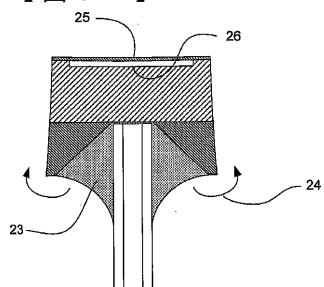


FIG. 3B (PRIOR ART)

【図4】

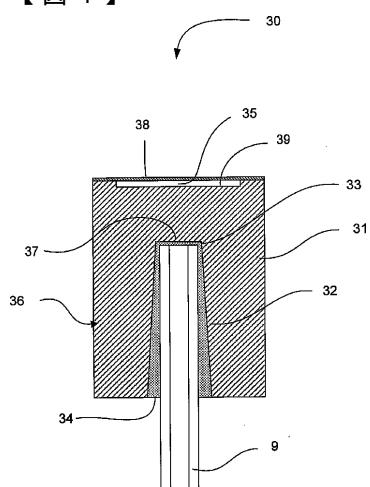


FIG. 4

【図5】

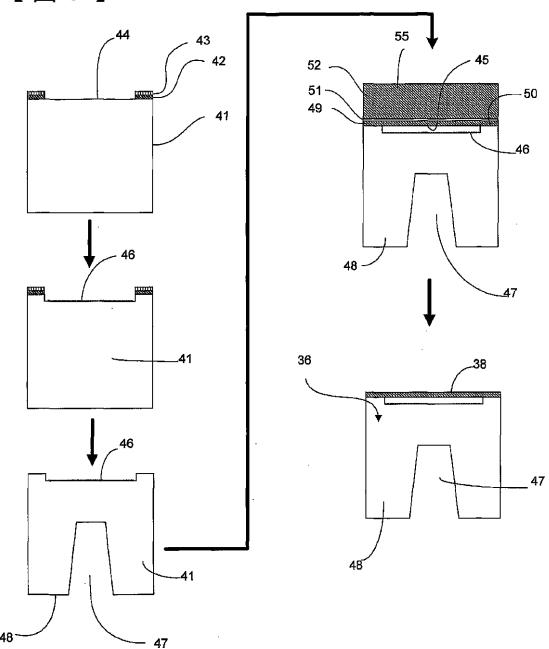


FIG. 5

【図6】

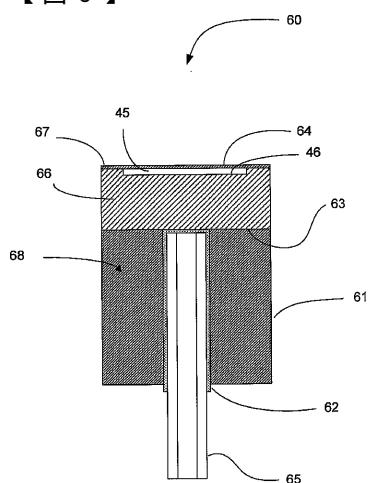


FIG. 6

【図7】

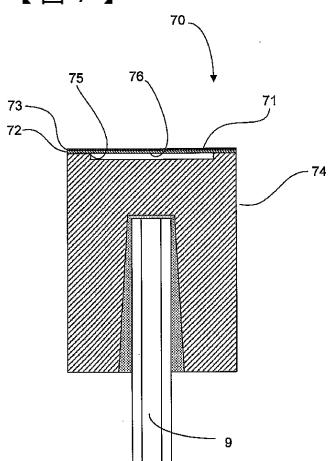


FIG. 7

【図 8】

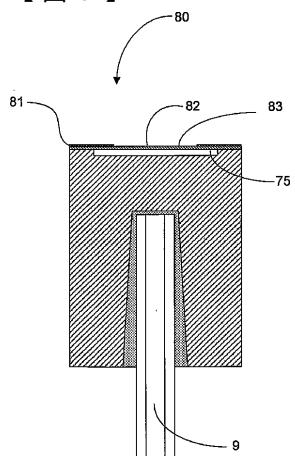


FIG. 8

【図 9】

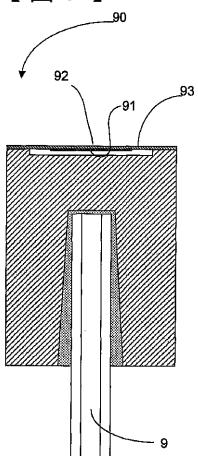


FIG. 9

フロントページの続き

(72)発明者 ベルヴィル クロード
カナダ ジー2イー 5ゼット9 ケベック ランシエンヌ ロレット デ ラ ブレー 197
4
(72)発明者 ブジエール シルヴァン
カナダ ジー3ジェイ 1シー8 ケベック ヴァル ベル ニューエディンブル 1235
(72)発明者 ヴアン ネスト リシャール
カナダ ジー1ダブリュー 3ゼット1 ケベック サント フォイ リュー ド ローネイ 1
649

審査官 上田 正樹

(56)参考文献 特表2002-515595(JP,A)
米国特許出願公開第2002/0159671(US,A1)
米国特許第04991925(US,A)
特開平06-034474(JP,A)
特開昭61-246641(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01L 1/24
G01L 9/00
G01L 11/02
H01L 29/84