

(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2015-531861

(P2015-531861A)

(43) 公表日 平成27年11月5日 (2015.11.5)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>G O 1 D 5/353 (2006.01)</b>	G O 1 D 5/353 B	2 F O 7 6
<b>G O 2 B 6/02 (2006.01)</b>	G O 2 B 6/02 A	2 F 1 0 3
<b>G O 2 B 6/036 (2006.01)</b>	G O 2 B 6/02 4 6 1	2 H 1 5 0
<b>G O 1 D 21/02 (2006.01)</b>	G O 2 B 6/036	
	G O 1 D 21/02	
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 20 頁)		

(21) 出願番号 特願2015-526585 (P2015-526585)  
 (86) (22) 出願日 平成25年8月1日 (2013.8.1)  
 (85) 翻訳文提出日 平成27年4月6日 (2015.4.6)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2013/053228  
 (87) 国際公開番号 W02014/025614  
 (87) 国際公開日 平成26年2月13日 (2014.2.13)  
 (31) 優先権主張番号 61/681, 402  
 (32) 優先日 平成24年8月9日 (2012.8.9)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)  
 (31) 優先権主張番号 13/658, 991  
 (32) 優先日 平成24年10月24日 (2012.10.24)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 397068274  
 コーニング インコーポレイテッド  
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 148  
 31 コーニング リヴァーフロント プ  
 ラザ 1  
 (74) 代理人 100073184  
 弁理士 柳田 征史  
 (74) 代理人 100090468  
 弁理士 佐久間 剛  
 (72) 発明者 フーヴァー, ブレット ジェイソン  
 アメリカ合衆国 ペンシルヴァニア州 1  
 6935 ミドルベリー センター ベッ  
 グス ロード 38

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分布ファイバセンサ及びシステムのための2コア光ファイバ

## (57) 【要約】

ブリルアン分布ファイバセンサ用途及びシステムに用いるための2コア光ファイバが提供される。2コアファイバは第1及び第2のコアを有する。それぞれのコアは他方のコアに対して30MHzより大きいブリルアン周波数シフトを示すように構成される。さらに、それぞれのコアは他方のコアとは異なる温度係数及び歪係数を有する。コアは相互に少なくとも30MHzのブリルアン周波数シフトレベルを生じるように構成することができる。シフトレベルのこれらの差はコアのそれぞれの、材料組成、ドーピング濃度及び/または屈折率プロファイルの調節によって生じさせることができる。これらの光ファイバは、BOTDR及びBOTDAに基づくセンサシステム及び装置に用いることもできる。

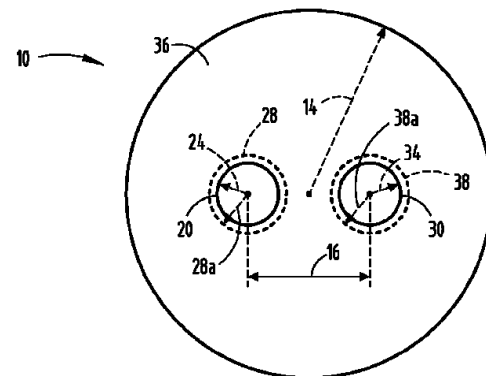


FIGURE 1

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

ファイバセンサにおいて、

第 1 のコア、第 2 のコア及び、前記コアを囲む、クラッド層を有する光ファイバ、を備え、

前記コアのそれぞれが他方のコアに対して少なくとも 30 MHz のブリルアン周波数シフトを示すように構成される、

ことを特徴とするファイバセンサ。

**【請求項 2】**

前記コアのそれぞれがさらに、

( i ) 他方のコアの屈折率プロファイルとは異なる屈折率プロファイル、及び / または

( ii ) 他方のコアのドーピング濃度とは異なるドーピング濃度、

を有するように構成されることを特徴とする請求項 1 に記載のファイバセンサ。

**【請求項 3】**

前記コアのそれぞれが他方のコアに対して少なくとも 80 MHz のブリルアン周波数シフトを示すように構成されることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のファイバセンサ。

**【請求項 4】**

( i ) 前記光ファイバが、さらに前記コアの少なくとも一方を囲むように構成された屈折率リングを有する、

( ii ) 前記クラッド層に対する前記コアの相対屈折率が約 0.2 % から 2 % の間にあるように、前記コアが構成される、及び / または

( iii ) 前記コアが、

( 1 ) 異なる組成、及び / または

( 2 ) 複数の動作波長において異なるモードフィールド径、

を有する、

ことを特徴とする請求項 1 に記載のファイバセンサ。

**【請求項 5】**

前記光ファイバが、

( i ) 500  $\mu$ m 以下の半径を有する、及び / または

( ii ) 前記コア間のクロストークが -20 dB/km 以下であるように構成される、ことを特徴とする請求項 1 に記載のファイバセンサ。

**【請求項 6】**

前記コアのそれぞれにゲルマニウムがドーピングされていることを特徴とする請求項 2 に記載のファイバセンサ。

**【請求項 7】**

前記光ファイバが、さらに前記コアの少なくとも一方を囲むように構成された屈折率リング及び、前記コアの前記少なくとも一方から前記屈折率リングを隔てるトレンチを有することを特徴とする請求項 1 に記載のファイバセンサ。

**【請求項 8】**

前記クラッド層に対する前記コアの相対屈折率が約 0.2 % から 2 % の間にあり、前記コアの中心間の距離が少なくとも 25  $\mu$ m であるように、前記コアが構成されることを特徴とする請求項 1 に記載のファイバセンサ。

**【請求項 9】**

ブリルアン分布ファイバセンサシステムにおいて、

第 1 のコア及び第 2 のコアであって、それぞれが他方のコアに対して少なくとも 30 MHz のブリルアン周波数シフトを示すように構成されたコアを有する光ファイバ、

検査光を前記光ファイバに打ち込むように構成された少なくとも 1 つのポンプレーザ、及び

前記コアのそれぞれから前記検査光のブリルアン散乱成分を受け取り、前記受け取られ

10

20

30

40

50

た検査光に少なくともある程度基づいて前記コアのそれぞれのブリルアン周波数シフトを評価するように構成された受信器要素、  
を備えることを特徴とするブリルアン分布ファイバセンサシステム。

【請求項 10】

前記ファイバの前記コアのそれぞれ内に前記検査光を導くように構成された少なくとも 1 つのビームスプリッタ素子をさらに備えることを特徴とする請求項 9 に記載のブリルアン分布ファイバセンサシステム。

【発明の詳細な説明】

【関連出願の説明】

【0001】

10

本出願は、2012年8月9日に出願された、名称を「分布ファイバセンサ及びシステムのための2コア光ファイバ(TWO-CORE OPTICAL FIBERS FOR DISTRIBUTED、 FIBER SENSORS AND SYSTEMS)」とする、米国仮特許出願第61/681402号及び、2012年10月24日に提出された、名称を「分布ファイバセンサ及びシステムのための2コア光ファイバ(TWO-CORE OPTICAL FIBERS FOR DISTRIBUTED FIBER SENSORS AND SYSTEMS)」とする、米国特許出願第13/658991号への優先権を主張する。これらの特許出願の明細書はそれぞれの全体が本明細書に参照として含まれる。

【技術分野】

【0002】

本開示は全般にはセンシングシステム及び方法に関し、特に、2コア光ファイバを用いる分布ブリルアンセンシングシステム及び方法に関する。

20

【背景技術】

【0003】

分布ブリルアンファイバセンサは、構造物健全性監視(SHM)、地盤工学、送配電線、石油及びガスのパイプライン、及び石油掘削を含むがこれらには限定されない、多くの用途に急速に採用されつつある。ブリルアン準拠センサ技術は、

(a)誘導ブリルアン散乱(すなわち、ブリルアン光時間ドメイン解析、またはBOTDA)、及び

(b)自発ブリルアン散乱(すなわち、ブリルアン光時間ドメイン反射率測定、またはBOTDR)、

30

の2つの方式で動作する。BOTDA方式及びBOTDR方式はいずれもブリルアン周波数シフトの、検査されるコンポーネントの温度及び/または歪への、線形依存性を利用する。

【0004】

分布ブリルアンファイバセンサの実施にともなう一問題は、ブリルアン周波数シフト(BFS)が歪及び温度のいずれにも感度を有することである。この効果は測定に不確定性をもたらす。特に、従来の手法は、検査されるコンポーネントの、観測されるBFSにかかわる歪及び/または温度の変化を分離抽出することができない。

【0005】

この問題に対処するために用いられる一手法は、隣り合わせて配置された、一方のファイバがいかなる歪効果からも絶縁されている、2本のファイバの使用である。絶縁されたファイバは温度の監視に用いることができ、他方のファイバは歪と温度のいずれの効果も測定するであろう。しかし、この手法は少なくとも2つのタイプの測定誤差を免れない。第1に、絶縁されたファイバは全くの無歪ではなく、この結果、温度にかかわる測定誤差が生じる。第2に、2本のファイバの入力位置から測定位置までの長さの差の結果、異なる2つの位置で測定することになり、さらなる測定誤差を生じさせる。

40

【0006】

別の2ファイバ手法においては、ブリルアン特性が異なる2本のファイバが温度及び歪のいずれをも検知するために用いられる。したがって、2本のファイバのBFSが測定される。2本のファイバの歪係数及び温度係数に基づいて温度及び歪のレベルが計算される

50

。それにもかかわらず、この手法には、上述した第2のタイプにしたがう測定誤差、すなわち、2本のファイバの異なる位置における測定にともなう誤差が生じ得る。

【0007】

BFS関連測定誤差に対処するため、1ファイバ利用手法も試みられている。詳しくは、複数のブリルアンピークをもつファイバがセンシングファイバとして用いられる。この手法では、温度と歪を弁別するため、BFSピークの異なる依存性が用いられる。しかし、ファイバの複数のピークの評価に依存する方法では、空間分解能が劣り、センシング精度が制限され、センシング距離が短くなる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0008】

したがって、空間分解能が改善された、温度及び歪の正確な同時測定が可能なブリルアンファイバセンサシステムが必要とされている。

【課題を解決するための手段】

【0009】

一実施形態にしたがえば、ブリルアン分布ファイバセンサが提供される。ファイバセンサは、第1のコア、第2のコア及びコアを囲むクラッド層を有する光ファイバを含む。それぞれのコアは他方のコアに対して少なくとも30MHzのブリルアン周波数シフトを生じるように構成される。

【0010】

20

別の実施形態にしたがえば、分布ファイバセンサシステムが提供される。ファイバセンサシステムは第1及び第2のコアを有する光ファイバを備える。それぞれのコアは他方のコアに対して30MHzより大きいブリルアン周波数シフトを生じるように構成される。システムはさらに、光ファイバに検査光を打ち込むように構成された少なくとも1つのポンプレーザを備える。システムはさらに、それぞれのコアから検査光のブリルアン散乱成分を受け取り、受け取られた検査光に少なくともある程度基づいてそれぞれのコアのブリルアン周波数シフトを評価するように構成された受信器要素を備える。

【0011】

また別の実施形態にしたがえば、分布ファイバセンサシステムが提供される。ファイバセンサシステムは第1及び第2のコアを有する光ファイバを備える。それぞれのコアは他方のコアに対して少なくとも30MHzのブリルアン周波数シフトを生じるように構成される。システムはさらに、光ファイバにポンプ検査光を打ち込むように構成された少なくとも1つのポンプレーザ及び光ファイバにプローブ検査光を打ち込むように構成された少なくとも1つのプローブレーザを備える。システムはさらに、それぞれのコアからポンプ検査光及びプローブ検査光を受け取り、受け取られた検査光に少なくともある程度基づいてそれぞれのコアについてのブリルアン周波数シフトを評価するように構成された受信器要素を備える。

30

【0012】

さらなる特徴及び利点は以下の詳細な説明に述べられ、ある程度は、当業者には、その説明から容易に明らかであろうし、あるいは、以下の詳細な説明及び特許請求の範囲を、また添付図面も、含む本明細書に説明されるように実施形態を実施することによって認められるであろう。

40

【0013】

上述の全般的説明及び以下の詳細な説明がいずれも例示に過ぎず、特許請求の範囲の本質及び特質の理解への概要または枠組みの提供が目的とされていることは当然である。添付図面はさらに深い理解を提供するために含められ、本明細書に組み込まれて本明細書の一部をなす。図面は1つ以上の実施形態を示し、記述とともに、様々な実施形態の原理及び動作の説明に役立つ。

【図面の簡単な説明】

【0014】

50

【図 1】図 1 は、一実施形態にしたがう、2 コア光ファイバの断面を示す。

【図 2 A】図 2 A は、別の実施形態にしたがう、2 コア光ファイバの一コアについてのステップ型屈折率プロファイルを示す。

【図 2 B】図 2 B は、また別の実施形態にしたがう、2 コア光ファイバの一コアについての分布屈折率プロファイルを示す。

【図 3 A】図 3 A は、別の実施形態にしたがう、2 コアファイバを用いるブリルアン光時間ドメイン反射率測定 (BOTDR) ファイバセンサの略図を与える。

【図 3 B】図 3 B は、また別の実施形態にしたがう、2 コアファイバを用いる BOTDR ファイバセンサの略図を与える。

【図 4 A】図 4 A は、別の実施形態にしたがう、2 コアファイバを用いるブリルアン光時間ドメイン解析 (BOTDA) ファイバセンサの略図を与える。

【図 4 B】図 4 B は、また別の実施形態にしたがう、2 コアファイバを用いる BOTDA ファイバセンサの略図を与える。

【図 5】図 5 は、別の実施形態にしたがう、2 コア光ファイバにおけるそれぞれのコアについての測定されたブリルアン周波数シフトのプロットを与える。

【発明を実施するための形態】

【0015】

それらの例が添付図面に示されている、現在好ましい実施形態をここで詳細に参照する。可能であれば必ず、全図面を通して、同じ参照数字が同じかまたは同様の要素を指して用いられる。

【0016】

2 コア光ファイバ利用手法は上述した問題及び B F S 関連測定誤差を軽減するために開発された。ファイバプロファイルを適切に設計し、いくつかの材料組成を適切に選び、及び / または 2 つのファイバのドーピング濃度を適切に選ぶことにより、それぞれが非常に異なるブリルアン特性を有するコアを構成することができる。そのような改変により、コア間に少なくとも 30 MHz のブリルアン周波数シフトを生じさせることができる。2 つのファイバコア間で異なる温度係数及び歪係数の結果、2 つのファイバコアの B F S を測定することで温度及び歪の同時測定が可能になる。最終結果は、空間分解能及びセンシング確度が高い、歪及び温度の同時測定を可能にする手法である。

【0017】

以降の議論においては、以下の、技術上普通に用いられている定義及び術語が採用される。

【0018】

屈折率プロファイル：屈折率プロファイルは、ファイバの選ばれたセグメントにわたる相対屈折率パーセント ( %) と ( 光ファイバの中心線から測定されている ) 光ファイバ半径  $r$  の間の関係である。

【0019】

相対屈折率パーセント ( %) または : 術語 は式 :  $(\%) = 100 \times (n_i^2 - n_c^2) / 2 n_i^2$  で定義される。ここで、 $n_i$  は  $i$  で指定される屈折率プロファイルセグメントの最大屈折率であり、 $n_c$  は基準屈折率である。セグメント内の全ての点は、基準屈折率に対して測定された、付随する相対屈折率を有する。

【0020】

単一モードファイバにおいて、ファイバが受ける熱膨張及び変形の結果として、 $BFS_B$  は温度及び歪に依存する。この結果、 $BFS_B$  は温度及び歪により変化する。歪変化 ( ) 及び温度変化 (  $T$  ) の関数としての  $BFS$  の変化 (  $B$  ) は式 (1) :

【0021】

【数 1】

$$\Delta v_B = K_\epsilon \Delta \epsilon + K_T \Delta T \quad (1)$$

【0022】

10

20

30

40

50

と書くことができる。ここで、 $K$  及び  $K_T$  はそれぞれファイバの歪係数及び温度係数である。したがって、温度（または歪）が固定されれば、異なる位置における歪（または温度）を、対応する位置における B F S の変化、 $\Delta v_B$  を測定することで評価することができる。しかし、式(1)に示されるように、センシング位置において温度及び歪のいずれもが変化すれば、B F S から温度または歪を弁別することは不可能である。これは、B F S の変化、 $\Delta v_B$  が歪及び温度のいずれにも依存するからである。

【0023】

一実施形態にしたがえば、2 コア光ファイバ 10 がブリルアン効果利用分布ファイバセンサのセンシングファイバとして用いられる。ファイバ 10 内のそれぞれのファイバコア 20, 30 はブリルアンセンサの動作波長において単一モードにあるように構成される。さらに、それぞれのコア 20, 30 は単一の B S F ピークを有する。しかし、2 つのファイバコア 20, 30 は異なるブリルアン周波数シフトを有する。これらのシフトは 2 つのファイバコア 20, 30 の、ファイバ屈折率プロファイル、材料組成及び/またはドーピング濃度を改変することで生じさせることができる。特に、それぞれのファイバコアの歪変化（ $\epsilon$ ）及び温度変化（ $T$ ）に対する依存性はそれぞれ、式(2)：

【0024】

【数 2】

$$\Delta v_B^{c1} = K_\epsilon^{c1} \Delta \epsilon + K_T^{c1} \Delta T \quad (2)$$

10

20

【0025】

及び、式(3)：

【0026】

【数 3】

$$\Delta v_B^{c2} = K_\epsilon^{c2} \Delta \epsilon + K_T^{c2} \Delta T \quad (3)$$

【0027】

と書くことができる。ここで、 $K^{c1}$  及び  $K_T^{c1}$  はそれぞれファイバコア 1（例えばコア 20）の歪係数及び温度係数であり、 $K^{c2}$  及び  $K_T^{c2}$  はそれぞれファイバコア 2（例えばコア 30）の歪係数及び温度係数である。

30

【0028】

式(2)及び(3)を解くことにより、歪変化及び温度変化は下式(4)：

【0029】

【数 4】

$$\begin{bmatrix} \Delta \epsilon \\ \Delta T \end{bmatrix} = \frac{1}{K_\epsilon^{c1} K_T^{c2} - K_\epsilon^{c2} K_T^{c1}} \begin{bmatrix} K_T^{c2} & -K_T^{c1} \\ -K_\epsilon^{c2} & K_\epsilon^{c1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta v_B^{c1} \\ \Delta v_B^{c2} \end{bmatrix} \quad (4)$$

【0030】

で与えられる。

40

【0031】

一実施形態にしたがえば、2 コアファイバ（例えばファイバ 10）は、

$$K_\epsilon^{c1} K_T^{c2} \neq K_\epsilon^{c2} K_T^{c1}$$

【0032】

とするように設計することができる。したがって、そのようなファイバでは行列方程式(4)について解が存在する。したがって、このファイバにより、2 つのファイバコア（例えば、コア 20, 30）の B F S をモニタすることによって歪及び温度の同時測定値を得

50

ることが可能である。

#### 【0033】

図1に示されるように、半径14をもつ2コア光ファイバ10の断面が与えられる。ファイバ10は、コア20及び30の、2つのコア、及びコア20及び30を囲むクラッド層36を有する。2つのコア20及び30は光ファイバ10内において距離16によって隔てられる。コア20及び30はそれぞれ、半径28a及び38aを有する低屈折率リング28及び38によって囲むこともできる。さらに、コア20及び30は、それぞれのコアのブリルアン周波数シフトが他方のブリルアン周波数シフトと異なるように屈折率プロファイルを変えて設計される。2つのコア20及び30のブリルアン周波数シフト間の差の絶対値は少なくとも30MHzであることが好ましい。この差は少なくとも80MHz

10

#### 【0034】

図2A及び2Bは、2コア光ファイバ10内のコア20、30について、相対屈折率パーセント、対半径、 $r$ を示す。コア20及び30は単純なステップ型屈折率プロファイル(図2Aを見よ)または分布屈折率プロファイル(図2Bを見よ)を有することができる。低屈折率リング28、38は、コア20および30のいずれかまたは両者における光閉じ込めを強めるため、クラッド層36内に配置することもできる。コア20、30の最大屈折率はクラッド層36の最大屈折率より大きい。クラッド層に対するコアの相対屈折率、 $n_1$ は0.2%より大きいことが好ましい。相対屈折率、 $n_1$ は0.3%より大きく、例えば、0.3%から2%の間であることがさらに好ましい。

20

#### 【0035】

(コア20及び30についての)コア半径24及び34は3 $\mu$ mから10 $\mu$ mの範囲で選ばれる。これにより、コア20及び30が動作波長、例えば1550nmにおいて単一モードにあることが保証される。低屈折率リング28、38は、-0.7%から-0.1%の範囲にある相対屈折率、 $n_2$ 、及び1 $\mu$ mから6 $\mu$ mの範囲にある幅28w、38wを有する。この低屈折率「トレンチ」はコア20及び/または30の外直径から距離28d、38dだけオフセットさせることができる。オフセットは0から5 $\mu$ mの間であることが好ましい。

#### 【0036】

2つのコア20と30の間の距離16は、コア間のクロストークを最小限に抑えるため、25 $\mu$ mより大きい。距離26は30 $\mu$ mより大きいことがさらに好ましい。距離16は40 $\mu$ mをこえることがさらに一層好ましい。ファイバ10の直径は1000 $\mu$ m以下(すなわち、半径14が500 $\mu$ m以下)とすることができる。ファイバ10の直径は200 $\mu$ m以下(すなわち、半径14が100 $\mu$ m以下)であることが好ましい。ファイバ10の直径は150 $\mu$ m以下であることがさらに好ましい。例えば、ファイバ10の直径は125 $\mu$ mに設定することができる。

30

#### 【0037】

実用センシング用途に対し、良好なシステム性能を保証するため、2つの隣り合うコア(例えばコア20及び30)の間の低クロストークが保証されることが望ましい。クロストークは-20dB/km以下とすることができる。クロストークは-30dB/kmより小さいことが好ましい。クロストークは-35dB/kmより小さいことがさらに好ましい。クロストークは-40dB/kmより小さいことがさらに一層好ましい。

40

#### 【0038】

一実施形態にしたがう2コアファイバ10は2つのコア20及び30の光学特性及び音響特性を計算することで設計することができる。光学場及び縦音響場は同様のタイプのスカラー型波動方程式によって支配される。したがって、基本光学モード及び音響モードについて、方位角変化を含めずに、同じ形式で式(5)：

#### 【0039】

【数 5】

$$\frac{d^2 f_o}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{df_o}{dr} + k_o^2 (n_o^2(r) - n_{o\text{eff}}^2) f_o = 0 \quad (5)$$

【0040】

及び、式(6)：

【0041】

【数 6】

$$\frac{d^2 f_a}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{df_a}{dr} + k_a^2 (n_a^2(r) - n_{a\text{eff}}^2) f_a = 0 \quad (6)$$

10

【0042】

を書くことができる。ここで、添字 o は光学場を表し、添字 a は音響場を表し、r はファイバ 10 の半径 r に対応する。光学モードに対し、 $f_o(r)$  は光学場分布であり、 $n_o(r)$  は屈折率を径方向位置の関数として表し、 $k_o$  は、 $2\pi/\lambda$  によって光の波長  $\lambda$  と連関する、光波の波数である。音響モードに対し、 $f_a(r)$  は光学場分布であり、 $n_a(r)$  は屈折率を径方向位置、r の関数として表し、 $k_a$  は音響波の波数である。さらに、 $n_{o\text{eff}}$ 、 $n_{a\text{eff}}$  及び  $n_{a\text{eff}}$  はそれぞれ、光学実効屈折率及び縦音響実効屈折率である。

20

【0043】

音響屈折率は式(7)：

【0044】

【数 7】

$$n_a(r) = \frac{V_{\text{clad}}}{V_L(r)}, \quad (7)$$

【0045】

30

及び、式(8)：

【0046】

【数 8】

$$k_a = \frac{2\pi}{\lambda/(2n_{\text{eff}})} = \frac{2\pi}{\lambda'} \quad (8)$$

【0047】

によって定められる。ここで、 $\lambda'$  は音響波長である。式(7)において、 $V_{\text{clad}}$  はクラッド層内の縦音響速度であり、 $V_L(r)$  は縦音響速度を径方向位置、r の関数として表す。さらに、縦音響実効屈折率、 $n_{a\text{eff}}$  は下式(8a)：

40

【0048】

【数 8a】

$$n_{a\text{eff}} = V_{\text{clad}}/V_{\text{eff}} \quad (8a)$$

【0049】

により、実効縦速度  $V_{\text{eff}}$  及びクラッド層内の縦音響速度  $V_{\text{clad}}$  に関係付けられる

50



。

【 0 0 5 0 】

實際上（光学）屈折率プロファイル， $n_o(r)$ は光学デルタプロファイル（光学屈折率デルタプロファイル）， $n_{oc}$ で表されることが多い。同様に、それぞれの光学屈折率プロファイル， $n_o(r)$ が、縦音響場の音響挙動を表す、対応する音響デルタプロファイル， $n_a(r)$ とも関連付けられるように、音響屈折率に対してデルタ（相対屈折率）， $n_a$ を定義することが可能である。光波及び音響波に対する屈折率定義を用いれば、光学デルタプロファイル， $n_{oc}$ 及び音響デルタプロファイル， $n_a$ はそれぞれ、式（9）：

【 0 0 5 1 】

【数 9】

$$\Delta_o = \frac{n_o^2(r) - n_{oc}^2}{2n_o^2(r)} \times 100\% \quad (9)$$

10

【 0 0 5 2 】

及び、式（10）：

【 0 0 5 3 】

【数 10】

$$\Delta_a = \frac{n_a^2(r) - n_{ac}^2}{2n_a^2(r)} \times 100\% \quad (10)$$

20

【 0 0 5 4 】

を用いて表すことができる。ここで、添字 o は光波を表し、添字 a は音響波を表し、添字 c はクラッド層に対する屈折率を指す。

【 0 0 5 5 】

Ge 及び F がドーピングされたシリカガラスの光学屈折率， $n_o(w_{Ge}, w_F)$ は、Ge 及び F のドーピング濃度の関数として、式（11）：

【 0 0 5 6 】

【数 11】

$$n_o(w_{Ge}, w_F) = n_o(1 + 1.0 \times 10^{-3} w_{Ge} - 3.3 \times 10^{-3} w_F) \quad (11)$$

30

【 0 0 5 7 】

で表される。ここで、 $w_{Ge}$ はGeO<sub>2</sub>ドーパントのモル%であり、 $w_F$ はFドーパントのモル%である。GeO<sub>2</sub>ドーパントは屈折率を純シリカより高めるに寄与し、Fドーパントは屈折率を純シリカより低めるに寄与する。

【 0 0 5 8 】

同様に、音響屈折率， $n_a(w_{Ge}, w_F)$ へのGeドーピング及びFドーピングの役割は、式（12）：

【 0 0 5 9 】

【数 12】

$$n_a(w_{Ge}, w_F) = 1 + 7.2 \times 10^{-3} w_{Ge} + 2.7 \times 10^{-3} w_F \quad (12)$$

40

【 0 0 6 0 】

で表すことができる。したがって、式（11）及び（12）はGeドーパントがファイバ10のコア20及び30において光学屈折率及び音響屈折率のいずれも高めることを示す。例えば、この効果を生じさせるため、1～10モル%のGeO<sub>2</sub>をコア20及び30にドー

50

づることができる。他方で、Fドーパントは光学屈折率を低めるが、音響屈折率は高める。

【0061】

所与のドーパントプロファイルに対し、導波光学モードの実効屈折率  $n_{oeff}$  及び導波音響モードの実効縦速度  $V_{eff}$  は式(5)から(8a)を解くことによって得ることができる。実効縦音響屈折率  $n_{aeff}$  と実効縦速度  $V_{eff}$  の間の関係は先に説明してある。したがって、ブリルアン周波数シフト,  $\nu_B$  は式(13)：

【0062】

【数13】

$$\nu_B = \frac{2n_{aeff}V_{eff}}{\lambda} \quad (13)$$

10

【0063】

によって計算される。

【0064】

5つの設計例における2コアファイバ10についての様々なモデルパラメータの概略を下の表1に示してある。これらの2つの2コアファイバ設計例について、上で論じた式を用いてブリルアン周波数シフト値を計算し、表1に挙げてある。例1は、それぞれがステップ型屈折率（例えば、図2Aを見よ）の2つのコアを有し、コア間隔が50  $\mu m$ である。2つのコア（コア1及び2）にはそれぞれ3.41モル%及び4.6モル%のGeO<sub>2</sub>がドーピングされている。いずれのコアも1550nmにおいて単一モードである。コア1及び2に対するモードフィールド径(MFD)はそれぞれ10.3  $\mu m$ 及び9.2  $\mu m$ である。これらのコアに対するブリルアン周波数シフトの差は、72.5MHzである。

20

【0065】

例2において、コア1は例1のコア1と同じである。しかし、例2のコア2はより高い5.5モル%のGeO<sub>2</sub>ドーピングレベルを有する。この結果、これらのコアの間のブリルアン周波数シフトの差は111.8MHzであり、例1で評価された差より大きい。例2においてはコア間のコアデルタ差（すなわち、相対屈折率の差）が大きくなっているため、コアをより近づけて配置することができる。

30

【0066】

例3及び4においてシミュレートされている2コアファイバは分布屈折率プロファイル（例えば、図2を見よ）を有する。分布屈折率設計により、MFDは同じコアデルタレベルに対して大きくなっている。しかし、これらの2コアファイバ設計に対して、ブリルアン周波数シフトは小さくなっている。

【0067】

表1の例5に概略が示される2コアファイバは、例1で示されたファイバのコアと同等のステップ型屈折率プロファイルを有する。しかし、例5の2コアファイバはコアを被包する低屈折率リング28, 28もクラッド層に有する。低屈折率リングは光閉じ込めを改善し、よって曲げ損失を低減する。さらに、コアをファイバ内でさらに近づけて配置することが可能になる。例5において、コア間隔は40  $\mu m$ まで短縮されている。最後に、全ての例においてコア間のブリルアン周波数シフトの差が少なくとも30MHzであることに留意すべきである。

40

【0068】

【表 1】

表 1

	例 1		例 2		例 3		例 4		例 5	
	コア 1	コア 2	コア 1	コア 2	コア 1	コア 2	コア 1	コア 2	コア 1	コア 2
コア間隔 ( $\mu\text{m}$ )	50		45		55		47		40	
コア $\text{GeO}_2$ (モル%)	3.41	4.6	3.41	5.5	4.1	4.6	4.1	5.5	3.41	5.5
光学コアデルタ (%)	0.34	0.46	0.34	0.55	0.41	0.46	0.41	0.55	0.34	0.55
音響コアデルタ (%)	2.4	3.21	2.4	3.81	2.87	3.21	2.87	3.81	2.4	3.81
コア半径 ( $\mu\text{m}$ )	4.2	4.2	4.2	3.9	5.8	6.2	5.8	5.6	4.5	4
コアアルファ	200	200	200	200	2	2	2	2	200	200
リング F (モル%)	0	0	0	0	0	0	0	0	1.51	0.91
光学リングデルタ (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.5	-0.3
音響リングデルタ (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0.41	0.25
リングオフセット $d$ ( $\mu\text{m}$ )	na	na	na	na	na	na	na	na	5.4	4.8
リング幅 ( $\mu\text{m}$ )	na	na	na	na	na	na	na	na	3.7	5.28
カットオフ (nm)	1322	1532	1322	1516	1354	1531	1354	1513	1336	1519
MFD ( $\mu\text{m}$ )	10.3	9.2	10.3	8.4	10.4	10.1	10.4	9.2	10.2	8.5
有効面積 ( $\mu\text{m}^2$ )	81.8	67.4	81.8	55.9	81	76.9	81	63.9	82.3	57.9
分散 ( $\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ )	16.5	17.5	16.5	16.4	16.7	17.7	16.7	16.7	19.5	18.2
ブリルアン周波数シフト (MHz)	10816.7	10744.2	10816.7	10704.9	10795.7	10765.2	10795.7	10729	10816.9	10705
デルタブリルアン周波数シフト, $\Delta\nu_B$ (MHz)	72.5		111.8		30.5		66.7		111.9	

## 【0069】

上述した 2 コア光ファイバは、温度効果と歪効果の同時測定の目的のための様々なブリルアンファイバセンサシステムに用いることができる。図 3 A , 3 B , 4 A 及び 4 B に構成例が示されている。そのような実施形態の 1 つが、図 3 A に示されるような、B O T D R ファイバセンサシステム 1 0 0 a である。システム 1 0 0 a は 2 つのコア 1 2 0 及び 1 3 0 を有する 2 コアファイバ 1 1 0 及びレーザ 1 1 6 (例えば、ポンプ光レーザ)を備える。レーザ 1 1 6 はポンプ光をビームスプリッタ 1 1 4 に打ち込み、よって入射光は 2 本のビームに分割される。2 本の分割されたビームは次いでミラー 1 1 2 (例えば、マジックミラー)を通してファイバ 1 1 0 の一端に、さらに詳しくは、コア 1 2 0 内及び 1 3 0 内に、導かれる。コア 1 2 0 内及び 1 3 0 内からのブリルアン散乱光は入射光とは逆の方向からミラー 1 1 2 に入射し、次いで光検出器要素 1 1 8 (または、コア 1 2 0 及び 1 3 0 に付随する光検出器要素 1 1 8 の対)によって検出される。光検出器要素 1 1 8 はブリルアン散乱されたビームに信号処理を施し、解析して、コア 1 2 0 及び 1 3 0 にともなうブリルアン周波数シフトを決定する。

## 【0070】

別の実施形態において、図 3 B は、図 3 A に示されるシステム 1 0 0 a と同様の態様で動作する、B O T D R ファイバセンサシステム 1 0 0 b を示す。図 3 B に示されるように、レーザ 1 1 6 からのポンプ光はミラー 1 1 2 (例えば、マジックミラー)を通してファイバ 1 1 0 の一端からコア 1 2 0 に打ち込まれる。コア 1 2 0 と 1 3 0 はファイバ 1 1 0 の他端において別のミラー、ミラー 1 1 2 a によって結合される。あるいは、ミラー 1 1 2 a は既知の他のタイプの外部ループデバイスで置き換えることができる。したがって、レーザ 1 1 6 からの光はコア 1 2 0 を通って進み、次いでループして、コア 1 3 0 を通って進む。コア 1 2 0 及び 1 3 0 の両者内からのブリルアン散乱光はコア 1 2 0 を通って戻り、ミラー 1 1 2 に入射し、次いで光検出器要素 1 1 8 によって検出される。コア 1 3 0 を通って進む光はミラー 1 1 2 に入射しないことに注意されたい。光検出器要素 1 1 8 は次いでブリルアン散乱されたビームに信号処理を施し、解析して、コア 1 2 0 及び 1 3 0 にともなうブリルアン周波数シフトを決定する。

## 【0071】

別の実施形態において、図 4 A に B O T D A ファイバセンサシステム 2 0 0 a が示されている。ここでは、レーザ 1 1 6 a からのプローブ光がミラー 1 1 2 (例えばマジックミラー)を通してファイバ 1 1 0 の一端からファイバコア及び 1 3 0 のいずれにも打ち込ま

れる。同時に、レーザ 116b からのポンプ光がファイバ 110 の他端からファイバコア 120 及び 130 のいずれにも打ち込まれる。図 4A に示されるように、レーザ 116a 及び 116b からの光はビームスプリッタ素子 114 によってコア 120 及び 130 に対応する 2 本のビームに分割される。これらの分割されたビームは次いでファイバ 110 の両端からコア 120 及び 130 に導き入れられる。コア 120 内及び 130 内を透過した光は次いでミラー 112 に当たって反射され、光検出器要素 118 (または、コア 120 及び 130 に対応する光検出器要素 118 の対) がビームを検出するために用いられる。

#### 【0072】

また別の実施形態が BOTDA ファイバセンサシステム 200b について図 4B に示される。レーザ 116a 及び 116b からのプローブ光がそれぞれ、ミラー 112 (例えば、マジックミラー) を通して、ファイバ 110 の一端からファイバコア 120 及び 130 のいずれにも打ち込まれる。さらに詳しくは、レーザ 116a からコア 130 を通って送られたプローブ光はファイバ 110 の他端から出て、ミラー素子 112a によって反射され、コア 130 を通って戻る。同様に、レーザ 116b からコア 130 を通って送られたポンプ光はファイバ 110 の他端から出て、反射されてコア 120 を通って戻る。コア 120 及び 130 内を送られた光はコア 120 を通って戻り、次いでミラー 112 に当たって反射されて、構成 100a, 100b 及び 200a と同様に、光検出器要素 118 が反射されたビームを検出するために用いられる。この場合も、コア 130 を通って進んでいる光はミラー 112 に入射しないことに注意されたい。光検出器要素 118 はデータを解析して、コア 120 及び 130 にともなうブリルアン周波数シフトを決定する。

#### 【0073】

以下で表 2 に概略が示されているように、それぞれの半径の測定値が  $4.65\text{ }\mu\text{m}$  の 2 つのコアをもち、ファイバ直径が  $125\text{ }\mu\text{m}$  の、2 コアファイバ 110 を作製した。いずれのコアもステップ型屈折率プロファイル (例えば、図 2A を見よ) を有し、コア間隔の測定値は  $55.5\text{ }\mu\text{m}$  であった。2 つのコア 1 及び 2 にはそれぞれ 5.0 モル% 及び 3.4 モル% の  $\text{GeO}_2$  をドープした。これらのコアについて MFD の計算値はそれぞれ  $9.3\text{ }\mu\text{m}$  及び  $10.4\text{ }\mu\text{m}$  であった。コア 1 及び 2 についてブリルアン周波数シフトの測定値はそれぞれ  $10.73\text{ GHz}$  及び  $10.85\text{ GHz}$  であった。図 5 は、特に、これらの周波数シフトの源泉を示す、(表 2 に挙げられたような) ファイバ 110 のそれぞれのコアについてのブリルアンスペクトルを示す。したがって、この 2 コアファイバについての測定された BFS の変化,  $\nu_B$  は、 $118\text{ MHz}$  である (図 5 も見よ)。さらに、BFS の変化,  $\nu_B$  の測定された  $118\text{ MHz}$  の変化は、同様の構造につくられた、例 2 及び例 5 のそれぞれについての計算値、 $111.8\text{ MHz}$  及び  $111.9\text{ MHz}$  と同等である、

#### 【0074】

10

20

30

## 【表 2】

表 2

	作製した 2 コアファイバ	
	コア 1	コア 2
コア間隔 (μm)	55.5	
コア GeO <sub>2</sub> (モル%)	5.0	3.4
光学コアデルタ (%)	0.46	0.34
コア半径 (μm)	4.65	4.65
ファイバ直径 (μm)	125	
リング F (モル%)	0	0
光学リングデルタ (%)	0	0
カットオフ (nm)	1520	1320
MFD (μm)	9.3*	10.4*
有効面積 (μm <sup>2</sup> )	68*	84*
損失 @1550 nm (dB/km)	0.43	0.33
ブリルアン周波数シフト (MHz)	10727	10845
デルタブリルアン周波数シフト, Δν <sub>B</sub> (MHz)	118	

注：上表に示されるアスタリスク(\*)が付された値は、測定値ではなく、計算値である。

## 【 0 0 7 5 】

すなわち、2 コアファイバ手法は、B O T D A 方式及び B O T D R 方式のいずれにおいても歪及び温度の同時測定の確度を改善するために用いることができる。利点のなかでもとりわけ、2 コアファイバ手法では分布ブリルアンファイバセンサの設置費用の低減が期待される。さらに、当業者には、特許請求の範囲の精神及び範囲を逸脱することなく様々な改変及び変形がなされ得ることが明らかであろう。

## 【符号の説明】

## 【 0 0 7 6 】

1 0 , 1 1 0      2 コア光ファイバ  
 1 4      光ファイバ半径  
 1 6      コア間距離  
 2 0 , 3 0 , 1 2 0 , 1 3 0      ファイバコア  
 2 4 , 3 4      コア半径  
 2 8 , 3 8      低屈折率リング  
 2 8 a , 3 8 a      低屈折率リング半径  
 2 8 d , 3 8 d      低屈折率リングオフセット距離  
 2 8 w , 3 8 w      低屈折率リング幅  
 3 6      クラッド層  
 1 0 0 a , 1 0 0 b      B O T D R ファイバセンサシステム  
 2 0 0 a , 2 0 0 b      B O T D A ファイバセンサシステム  
 1 1 2 , 1 1 2 a      ミラー  
 1 1 4      ビームスプリッタ  
 1 1 6 , 1 1 6 a , 1 1 6 b      レーザ  
 1 1 8      光検出器要素

【図 1】

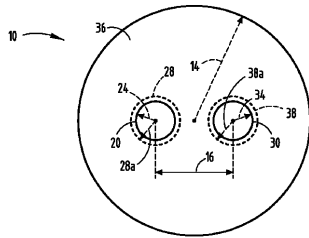


FIGURE 1

【図 2 A】

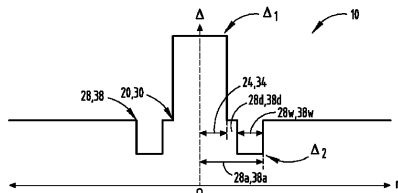


FIGURE 2A

【図 2 B】

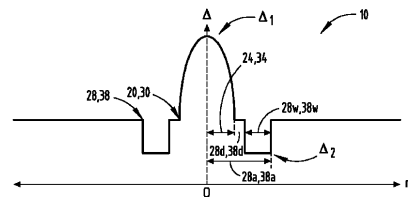
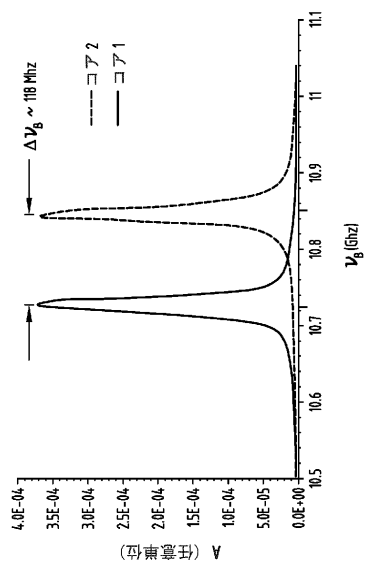


FIGURE 2B

【図 5】



【図 3 A】

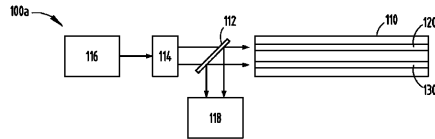


FIGURE 3A

【図 3 B】

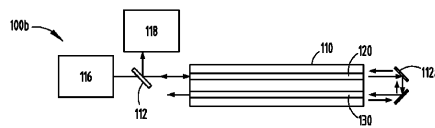


FIGURE 3B

【図 4 A】

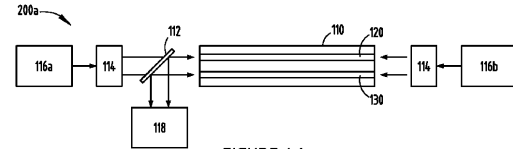


FIGURE 4A

【図 4 B】

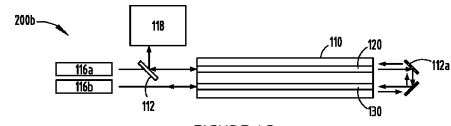


FIGURE 4B

## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/US2013/053228

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G01J5/08 G01D5/353 G01K11/32 G02B6/02  
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01J G01D G01K G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	TJUGIARTO T ET AL: "BANDPASS FILTERING EFFECT IN TAPERED ASYMMETRICAL TWIN-CORE OPTICAL FIBRES", ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 29, no. 12, 10 June 1993 (1993-06-10) , pages 1077-1078, XP000373162, ISSN: 0013-5194 the whole document	1-16
X	US 2011/052129 A1 (SASAKA EISUKE [JP]) 3 March 2011 (2011-03-03) paragraphs [0027], [0028], [0034], [0046], [0047]	1-16
X	US 2002/176677 A1 (KUMAR SHIVA [US] ET AL) 28 November 2002 (2002-11-28) abstract paragraphs [0035], [0036], [0045]	1-16
-/-		

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

## \* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 October 2013

Date of mailing of the international search report

06/11/2013

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel: (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Cohen, Adam

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/US2013/053228

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	IL-BUM KWON ET AL: "Analysis of brillouin frequency shift and longitudinal acoustic wave in a silica optical fiber with a triple-layered structure", JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 21, no. 8, 1 August 2003 (2003-08-01), pages 1779-1786, XP011099431, ISSN: 0733-8724, DOI: 10.1109/JLT.2003.815500 -----	1-20
X	US 5 696 863 A (KLEINERMAN MARCOS Y [US]) 9 December 1997 (1997-12-09) abstract column 27, line 39 - line 44; figure 10 column 32, line 25 - column 34, line 65; figure 15 -----	1-20
A	US 2008/273852 A1 (PARKER TOM RICHARD [GB] ET AL FARHADIROUSHAN MAHMOUD [GB] ET AL) 6 November 2008 (2008-11-06) abstract paragraphs [0003], [0108] -----	17-20
A	MICHAEL T V WYLIE ET AL: "Fiber Optic Distributed Differential Displacement Sensor", JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 29, no. 18, 1 September 2011 (2011-09-01), pages 2847-2852, XP011359080, ISSN: 0733-8724, DOI: 10.1109/JLT.2011.2165527 the whole document -----	17-20
A	TSUNEO HORIGUCHI ET AL: "Invited Paper Measurement of temperature and strain distribution by Brillouin frequency shift in silica optical fibers", PROCEEDINGS OF THE SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING, DISTRIBUTED AND MULTIPLEXED FIBER OPTIC SENSORS II, vol. 1797, 1 January 1993 (1993-01-01), pages 2-13, XP055083762, -----	1-20
A	ANON: "Fibre optics give the inside story", ENGINEERING, vol. 227, no. 12, December 1987 (1987-12), page 17, XP008165343, ISSN: 0013-7782 the whole document -----	1-20



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/US2013/053228**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of Item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
2. ☒ Claims Nos.: 1-20(partially)  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:  
see FURTHER INFORMATION sheet PCT/ISA/210
  
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

**Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of Item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
  
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
  
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

**Remark on Protest**

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

International Application No. PCT/ US2013/ 053228

**FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210**

Continuation of Box II.2

Claims Nos.: 1-20(partially)

Present claims 1-20 relate to a product defined by reference to, inter alia, the following unusual parameter: the relative Brillouin frequency shift between (implicitly dissimilar) cores of a multi-core optical fibre.

The subject-matter of the claims is considered unclear (Art. 6 PCT) because it is defined in terms of a result to be achieved, whereas it is possible to specify the fibres more concretely in terms of the physical characteristics of the fibre cores that give rise to the desired result. Additionally, the Brillouin frequency shift is known to be a function of the wavelength of the probe light that experiences the shift, and this is not specified in the claims or the description.

The use of this unusual and insufficiently defined parameter of relative Brillouin shift between cores at (an) unspecified wavelength(s) is considered, in the present context, to lead to a lack of clarity because the claim does not clearly identify the products encompassed by it as the parameter cannot be clearly and reliably determined by indications in the description or by objective procedures which are usual in the art - the parameter is not specified in prior art disclosures dealing with fibres having dissimilar cores, nor can it be straightforwardly calculated by reference to the basic physical fibre core parameters; it is apparent that the relative Brillouin frequency shift is additionally a function of the mutual stress imparted, during fibre manufacture, between core layer(s) and the layer(s) - such as a trench and/or cladding - immediately surrounding the core. These considerations make it impossible to comprehensively compare the claim with the prior art. As a result, the application does not comply with the requirement of clarity under Article 6 PCT.

The lack of clarity is to such an extent, that the search was performed taking into consideration the non-compliance in determining the extent of the search of claims.

The applicant's attention is drawn to the fact that claims relating to inventions in respect of which no international search report has been established need not be the subject of an international preliminary examination (Rule 66.1(e) PCT). The applicant is advised that the EPO policy when acting as an International Preliminary Examining Authority is normally not to carry out a preliminary examination on matter which has not been searched. This is the case irrespective of whether or not the claims are amended following receipt of the search report or during any Chapter II procedure. If the application proceeds into the regional phase before the EPO, the applicant is reminded that a search may be carried out during examination before the EPO (see EPO Guidelines C-IV, 7.2), should the problems which led to the Article 17(2) declaration be overcome.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No

PCT/US2013/053228

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2011052129 A1	03-03-2011	CN 102282488 A EP 2388629 A1 US 2011052129 A1 US 2013136410 A1 WO 2010082656 A1	14-12-2011 23-11-2011 03-03-2011 30-05-2013 22-07-2010
US 2002176677 A1	28-11-2002	AU 2002256041 A1 US 2002176677 A1 WO 02090275 A2	18-11-2002 28-11-2002 14-11-2002
US 5696863 A	09-12-1997	US 5696863 A US 5963680 A	09-12-1997 05-10-1999
US 2008273852 A1	06-11-2008	CA 2632064 A1 CN 101336385 A GB 2446334 A US 2008273852 A1 WO 2007066146 A2	14-06-2007 31-12-2008 06-08-2008 06-11-2008 14-06-2007

## フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC

(72)発明者 リー, ミン - ジュン

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8 4 5 ホースヘッズ アンブロス ドライヴ 1 0

(72)発明者 リー, シェンピン

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8 7 0 ペインテッド ポスト ウェストン レイン 1  
0 4

F ターム(参考) 2F076 BA01 BA14 BB07 BD06 BD07 BD17

2F103 BA37 CA07 EB02 EB11 EC09 EC12 FA02

2H150 AB05 AC57 AD04 AD12 AD16 AD20 AD26 AD36 AE25 AE26

AH38 AH50