

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02016/080415

発行日 平成29年8月31日 (2017. 8. 31)

(43) 国際公開日 平成28年5月26日 (2016. 5. 26)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>GO1D 5/353 (2006.01)</b>	GO1D 5/353	B 2F103
	GO1D 5/353	C

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 44 頁)

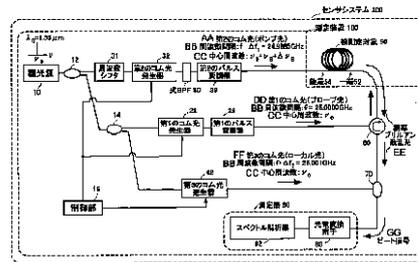
出願番号	特願2016-560248 (P2016-560248)	(71) 出願人	504132881 国立大学法人東京農工大学 東京都府中市晴見町3-8-1
(21) 国際出願番号	PCT/JP2015/082318	(71) 出願人	504190548 国立大学法人埼玉大学 埼玉県さいたま市桜区下大久保255
(22) 国際出願日	平成27年11月17日 (2015. 11. 17)	(74) 代理人	110000877 龍華国際特許業務法人
(31) 優先権主張番号	特願2014-232898 (P2014-232898)	(72) 発明者	田中 洋介 東京都府中市晴見町3-8-1 国立大学 法人東京農工大学内
(32) 優先日	平成26年11月17日 (2014. 11. 17)	(72) 発明者	黒川 隆志 東京都府中市晴見町3-8-1 国立大学 法人東京農工大学内
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		
(31) 優先権主張番号	特願2014-245101 (P2014-245101)		
(32) 優先日	平成26年12月3日 (2014. 12. 3)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 測定装置およびセンサシステム

(57) 【要約】

誘導ブリルアン散乱光利用した測定装置において、周波数の線形掃引を必要としない。被測定対象における誘導ブリルアン散乱光の利得スペクトルを測定する測定装置であって、第1のコム光を生成して被測定対象の一端に入力する第1のコム光発生器と、第1のコム光に対して、基準周波数が被測定対象のブリルアンシフト周波数だけシフトしており、且つ、周波数間隔が異なる第2のコム光を生成して被測定対象の他端に入力する第2のコム光発生器と、被測定対象から出力される誘導ブリルアン散乱光のスペクトルを測定する測定器とを備える測定装置を提供する。



- 10... SEED LIGHT SOURCE
- 16... CONTROL UNIT
- 22... FIRST COMB LIGHT GENERATOR
- 23... FIRST PULSE MODULATOR
- 30... LIGHT BPF
- 31... FREQUENCY SHIFTER
- 32... SECOND COMB LIGHT GENERATOR
- 33... SECOND PULSE MODULATOR
- 42... THIRD COMB LIGHT GENERATOR
- 50... OBJECT TO BE MEASURED
- 52... ONE END
- 54... OTHER END
- 60... PHOTOELECTRIC CONVERSION ELEMENT
- 62... SPECTRUM ANALYZER
- 90... MEASURING APPARATUS
- 100... MEASUREMENT DEVICE
- 200... SENSOR SYSTEM
- AR... SECOND COMB LIGHT (PUMP LIGHT)
- BB... FREQUENCY INTERVAL
- CC... CENTER FREQUENCY
- DD... FIRST COMB LIGHT (PROBE LIGHT)
- EE... STIMULATED BRILLOUIN SCATTERED LIGHT
- FF... THIRD COMB LIGHT (LOCAL LIGHT)
- GG... BEAT SIGNAL

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

被測定対象に周波数間隔の異なる 2 つのコム光を入射するコム光源と、  
前記被測定対象から出力される光を測定する測定部と  
を備える  
測定装置。

**【請求項 2】**

前記被測定対象における誘導ブリルアン散乱光の利得スペクトルを測定する測定装置であって、

前記コム光源は、

第 1 のコム光を生成して前記被測定対象の一端に inputs する第 1 のコム光発生器と、  
前記第 1 のコム光に対して、基準周波数が前記被測定対象のブリルアンシフト周波数だけシフトしており、且つ、周波数間隔が異なる第 2 のコム光を生成して前記被測定対象の他端に inputs する第 2 のコム光発生器と

を有し、

前記測定部は、

前記被測定対象から出力される誘導ブリルアン散乱光のスペクトルを測定する測定器である

請求項 1 に記載の測定装置。

**【請求項 3】**

前記第 1 のコム光と基準周波数が同一であり、且つ、周波数間隔が異なる第 3 のコム光を生成する第 3 のコム光発生器を更に備え、

前記測定器は、前記誘導ブリルアン散乱光と前記第 3 のコム光とのビート信号を測定する

請求項 2 に記載の測定装置。

**【請求項 4】**

前記第 1 のコム光発生器、前記第 2 のコム光発生器および前記第 3 のコム光発生器は、同一の種光源から生成される単一波長のレーザ光を元に、それぞれ前記第 1 のコム光、前記第 2 のコム光および前記第 3 のコム光を生成する

請求項 3 に記載の測定装置。

**【請求項 5】**

前記第 1 のコム光発生器は、時間軸における波形がパルス状の前記第 1 のコム光を生成し、前記第 2 のコム光発生器は、時間軸における波形がパルス状の前記第 2 のコム光を生成する

請求項 2 から 4 のいずれか一項に記載の測定装置。

**【請求項 6】**

前記第 1 のコム光の 2 以上のパルスをそれぞれ含む 2 以上のパルス群間の周期を調整する第 1 のパルス変調器と、

前記第 2 のコム光の 2 以上のパルスをそれぞれ含む 2 以上のパルス群間の周期を調整する第 2 のパルス変調器と

を更に備える請求項 5 に記載の測定装置。

**【請求項 7】**

前記第 1 のパルス変調器および前記第 2 のパルス変調器は、前記第 1 のコム光の前記 2 以上のパルス群間の周期と前記第 2 のコム光の前記 2 以上のパルス群間の周期とを異ならせて、前記第 1 のコム光のパルス群と前記第 2 のコム光のパルス群とが重なる前記被測定対象における位置を順次変化させ、

前記測定器は、前記被測定対象の各位置における前記誘導ブリルアン散乱光のスペクトルの分布を測定する

請求項 6 に記載の測定装置。

**【請求項 8】**

10

20

30

40

50

前記第 1 のコム光および前記第 2 のコム光の周波数間隔の差は、前記被測定対象のブリルアン利得スペクトルの幅よりも小さい

請求項 2 から 7 のいずれか一項に記載の測定装置。

【請求項 9】

前記第 1 のコム光および前記第 2 のコム光の周波数間隔は、いずれも前記被測定対象のブリルアン利得スペクトルの幅の 2 倍よりも大きい

請求項 2 から 8 のいずれか一項に記載の測定装置。

【請求項 10】

前記被測定対象は、前記被測定対象の歪み変化および温度変化を測定するために用いられる第 1 の光ファイバと第 2 の光ファイバとを有する

請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の測定装置。

10

【請求項 11】

請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の測定装置と、

前記被測定対象と

を備えるセンサシステム。

【請求項 12】

前記コム光源は、互いに同期し、かつ、周波数間隔が異なる第 1 のコム光および第 2 のコム光を生成するデュアルコム光源部を有し、

前記被測定対象は、周囲環境によって分光特性が変化する 1 以上の反射点を有し、前記第 1 のコム光および前記第 2 のコム光が入射する光ファイバであり、

前記測定部は、前記 1 以上の反射点から反射または透過された前記第 1 のコム光および前記第 2 のコム光のビート信号を測定する測定器であり、

前記測定装置は、多点型光ファイバセンサとして機能する

請求項 1 に記載の測定装置。

20

【請求項 13】

前記 1 以上の反射点は、1 以上のファイバー・ブラッグ・グレーティングである、請求項 12 に記載の測定装置。

【請求項 14】

前記 1 以上のファイバー・ブラッグ・グレーティングの各々の反射帯域幅は、前記第 1 のコム光の複数の周波数ピークが収まる幅を有する、請求項 13 に記載の測定装置。

30

【請求項 15】

前記第 1 のコム光および前記第 2 のコム光は、

第 1 のファイバー・ブラッグ・グレーティングで反射する周波数ピークと、

前記第 1 のファイバー・ブラッグ・グレーティングとは異なる第 2 のファイバー・ブラッグ・グレーティングで反射する周波数ピークと

を有する、請求項 13 または 14 に記載の測定装置。

【請求項 16】

前記 1 以上のファイバー・ブラッグ・グレーティングの各々において、反射光の周波数スペクトルの中心周波数は互いに異なり、

前記 1 以上のファイバー・ブラッグ・グレーティングは、前記第 1 のコム光が入射する位置から離れるに従い前記中心周波数が大きくなるように前記光ファイバ中に配置される、請求項 13 から 15 のいずれか一項に記載の測定装置。

40

【請求項 17】

前記 1 以上のファイバー・ブラッグ・グレーティングの各々において、反射光の周波数スペクトルの中心周波数は互いに異なり、

前記 1 以上のファイバー・ブラッグ・グレーティングは、前記第 1 のコム光が入射する位置から離れるに従い前記中心周波数が小さくなるように前記光ファイバ中に配置される、請求項 13 から 15 のいずれか一項に記載の測定装置。

【請求項 18】

前記 1 以上のファイバー・ブラッグ・グレーティングの各々において、反射光の周波数

50

スペクトルの中心周波数は互いに異なり、

前記 1 以上のファイバー・ブラッグ・グレーティングは、前記第 1 のコム光が入射する位置から離れるに従い前記中心周波数が常に小さくまたは常に大きくならないように前記光ファイバ中に配置される、請求項 13 から 15 のいずれか一項に記載の測定装置。

【請求項 19】

互いに同期し、かつ、周波数間隔が異なる第 1 のコム光および第 2 のコム光を生成するデュアルコム光源部と、

周囲環境によって分光特性が変化する 2 以上の反射点を有し、前記第 1 のコム光が入射する光ファイバと、

前記 2 以上の反射点から反射または透過された前記第 1 のコム光と、非偏光状態の前記第 2 のコム光とのビート信号を測定する測定器とを備え、

多点型光ファイバセンサとして機能する測定装置。

【請求項 20】

前記デュアルコム光源部は、

単一波長のレーザ光を出射する種光源と、

前記種光源の前記レーザ光から前記第 1 のコム光を生成する第 1 のコム光発生器と、

前記種光源の前記レーザ光から前記第 2 のコム光を生成する第 2 のコム光発生器と

を有する、

請求項 12 から 19 のいずれか一項に記載の測定装置。

【請求項 21】

前記種光源の前記レーザ光の周波数を変化させる、請求項 20 に記載の測定装置。

【請求項 22】

前記第 1 のコム光発生器は、少なくとも第 1 の位相変調器および第 1 の強度変調器のいずれかを有し、

前記第 2 のコム光発生器は、少なくとも第 2 の位相変調器および第 2 の強度変調器のいずれかを有し、

少なくとも前記第 1 の位相変調器および前記第 1 の強度変調器のいずれかと、少なくとも前記第 2 の位相変調器および前記第 2 の強度変調器のいずれかとは同期制御される、請求項 20 または 21 に記載の測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、測定装置およびセンサシステムに関する。

【0002】

図 20 は、従来のセンサシステムを示す図である。半導体レーザは、単一の周波数の光を連続的に出射する。半導体レーザから出射された光は、分波用カップラでプローブ光とポンプ光とに分岐する。周波数シフタは、プローブ光の周波数をポンプ光の周波数に対してずらす。パルス変調器は、ポンプ光をパルス状の光に変調する。周波数シフトされたプローブ光とパルス状に変調されたポンプ光とは、対向して光ファイバに入射する。光ファイバの材料および構造によって決まる特定の周波数だけ互いに周波数がずれた光が対向して入射した場合、誘導ブリルアン散乱光が発生することが知られている。

【0003】

特に、プローブ光の周波数とポンプ光の周波数とがブリルアンシフト周波数  $\omega_B$  だけ異なる場合に、誘導ブリルアン散乱光は最大のブリルアン利得を得る。 $\omega_B$  は、光ファイバの材料にも依るが、例えば約 11 GHz である。誘導ブリルアン散乱光は、光電変換素子で電気信号に変換され、信号処理部でブリルアン利得スペクトルが算出される。なお、プローブ光はパルス状であるので、プローブ光が光ファイバ中のどの位置で散乱されたかを特定することができる（例えば、特許文献 1 参照）。

【0004】

10

20

30

40

50

ブリルアンシフト周波数  $\omega_B$  は、光ファイバの歪みおよび温度変化に起因して変化することが知られている。それゆえ、トンネル、橋、ガス管および下水道等の大型かつ長尺の構造物に沿って光ファイバを敷設して、光ファイバの歪みまたは温度変化から上記構造物の歪みまたは温度を検知することができる。

【0005】

図21は、ブリルアン散乱を利用した光ファイバセンサの従来例である。コム光発生器から出力されるコム光の間隔をブリルアン周波数シフト量の2倍とすることにより、100kmのシングルモードファイバに渡ってブリルアン散乱光を取得できることが報告されている（非特許文献1参照）。なお、SSB変調器は、図20の例の周波数シフタとして機能する。オシレータおよびコンピュータは、図20の例の信号処理部として機能する。

10

【0006】

図20の従来センサシステムでは、プローブ光の周波数をブリルアンシフト周波数  $\omega_B$  に相当する約11GHzからさらに100MHz程度の範囲、例えば時間に対して精密に線形掃引する必要がある。図21のブリルアン散乱を利用した光ファイバセンサの従来例においても、プローブ光の周波数を掃引する必要がある。周波数掃引の線形性は、測定精度に影響する。線形掃引を実現するためには、複雑かつ精密な制御系が必要となる。それゆえ、装置コストが高くなる。また、周波数掃引は非線形になりがちであるので、これを補償するために、信号処理部および周波数シフタにおける複雑な信号処理が必要となる。

【0007】

トンネル、橋、ガス管および下水道等の大型かつ長尺の構造物に沿って光ファイバを敷設して、光ファイバの歪みまたは温度変化から上記構造物の歪みまたは温度を検知する光ファイバセンサが知られている。当該光ファイバは長手方向において、複数のファイバー・ブラッグ・グレーティング（以下、FBGと略記する）を有する。

20

【0008】

図22の従来技術に示す様に、複数のFBGを有する光ファイバに広帯域スペクトルを有する光源の光を入射させて、各FBGからの反射光スペクトルを光スペクトル解析装置で直接観測する、多点型光ファイバセンサが知られている。また、図23の従来技術に示す様に、単一周波数を有する光源の周波数を周波数軸上で掃引するとともに、複数のFBGを有する光ファイバに当該光源の光を入射させて、各FBGからの反射光の光パワーを測定する、多点型光ファイバセンサが知られている（例えば、特許文献2参照）。

30

【0009】

図24は、多点型FBGセンシングシステムの従来例である。この例では5つのFBGを用いている。この例では、1つのコム光発生器から出力されるコム光の周波数間隔を変化させることにより、コヒーレンスピークを掃引して、各FBGの位置を特定している（非特許文献2参照）。

【0010】

図22の従来技術では、波長当たりの光パワーが小さいので、各FBGからの反射光の光パワーが小さくなるという問題がある。また、図23の従来技術では、時間に対して光周波数の線形掃引が困難であるので、これを補正するべく反射光の測定後に複雑な信号処理が受信側において必要となる。加えて、広範囲にわたって光周波数を掃引する場合、周波数の不連続な変化が必ず生じるので、光源側においても複雑な補正処理が必要となる。図24の例では、1つのコム光発生器から出力されるコム光をFBGに入射するコム光とFBGに入射しないコム光とに分離させ、かつ、当該1つのコム光発生器から出力されるコム光の周波数間隔を変更しているに過ぎない。

40

[先行技術文献]

[特許文献]

[特許文献1] 特許第2589345号明細書

[特許文献2] 特開2008-014934号公報

[非特許文献]

50

【非特許文献1】 光周波数コムを光源としたブリルアンセンサ長距離化の検討 第60回応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集(2013年春)、27a A2 5、東京農工大学、澤口 光 et. al

【非特許文献2】 周波数間隔可変コム光源を用いた多点型FBGセンシングシステム、2011年電子情報通信学会エレクトロニクスソサエティ大会、エレクトロニクス講演論文集1、第194頁、2011年9月13日~16日、何 祖源 et. al

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

本明細書においては、コム光を利用するに当たり、周波数掃引の必要が無い新規な測定装置およびセンサシステムを提供する。

10

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明の第1の態様においては、被測定対象に周波数間隔の異なる2つのコム光を入射するコム光源と、被測定対象から出力される光を測定する測定部とを備える測定装置を提供する。

【0013】

本発明の第2の態様においては、第1の態様の測定装置と被測定対象とを備えるセンサシステムを提供する。

【0014】

20

本発明の第3の態様においては、互いに同期し、かつ、周波数間隔が異なる第1のコム光および第2のコム光を生成するデュアルコム光源部と、周囲環境によって分光特性が変化する2以上の反射点を有し、第1のコム光が入射する光ファイバと、2以上の反射点から反射または透過された第1のコム光と、非偏光状態の第2のコム光とのビート信号を測定する測定器とを備え、多点型光ファイバセンサとして機能する測定装置を提供する。

【0015】

なお、上記の発明の概要は、本発明の必要な特徴の全てを列挙したものではない。また、これらの特徴群のサブコンビネーションもまた、発明となりうる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

30

【図1】第1の実施形態における被測定対象50と測定装置100とを備えるセンサシステム200を示す図である。

【図2】第1のコム光発生器22、第2のコム光発生器32および第3のコム光発生器42の詳細を示す図である。

【図3】第1のコム光の中心周波数、第2のコム光の中心周波数および誘導ブリルアン散乱光の関係を示す図である。

【図4】(a)第1のコム光、(b)第2のコム光、(c)誘導ブリルアン散乱光スペクトル、(d)第3のコム光および(e)ビート信号を示す図である。

【図5】第1のコム光の2以上のパルス群間の周期 $\tau_1$ と第2のコム光の2以上のパルス群間の周期 $\tau_2$ との関係を示す図である。

40

【図6】第2の実施形態における被測定対象50と測定装置110とを備えるセンサシステム210を示す図である。

【図7】第3の実施形態における被測定対象50と測定装置120とを備えるセンサシステム220を示す図である。

【図8】被測定対象50として、光ファイバ150を用いる例を示す図である。

【図9】被測定対象50として、光ファイバ150を用いる他の例を示す図である。

【図10】第4の実施形態における多点型光ファイバセンサ400を示す図である。

【図11】第1のコム光、光ファイバ360および各FBGから反射された第1のコム光の反射スペクトルを示す図である。

【図12】第1のコム光と第2のコム光との関係を示す図である。

50

【図 1 3】 F B G # 1 から反射された第 1 のコム光の反射スペクトルと、 F B G # 1 から反射された第 2 のコム光の反射スペクトルと、第 1 のコム光と第 2 のコム光とのビート信号との関係を示す図である。

【図 1 4】 第 5 の実施形態における多点型光ファイバセンサ 5 0 0 を示す図である。

【図 1 5】 第 6 の実施形態における多点型光ファイバセンサ 6 0 0 を示す図である。

【図 1 6】 第 7 の実施形態における多点型光ファイバセンサ 7 0 0 を示す図である。

【図 1 7】 第 8 の実施形態における多点型光ファイバセンサ 5 0 0 を示す図である。

【図 1 8】 F B G # 1 を透過した第 1 のコム光の透過スペクトルと、 F B G # 1 を透過した第 2 のコム光の透過スペクトルと、第 1 のコム光と第 2 のコム光とのビート信号との関係を示す図である。

10

【図 1 9】 第 9 の実施形態における多点型光ファイバセンサ 6 0 0 を示す図である。

【図 2 0】 従来のセンサシステムを示す図である。

【図 2 1】 ブリルアン散乱を利用した光ファイバセンサの従来例を示す図である。

【図 2 2】 広帯域スペクトルの光源を用いた、従来の多点型光ファイバセンサを示す図である。

【図 2 3】 周波数掃引光源を用いた、従来の多点型光ファイバセンサを示す図である。

【図 2 4】 多点型 F B G センシングシステムの従来例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 7 】

以下、発明の実施の形態を通じて本発明を説明するが、以下の実施形態は請求の範囲にかかる発明を限定するものではない。また、実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせの全てが発明の解決手段に必須であるとは限らない。

20

【 0 0 1 8 】

図 1 は、第 1 の実施形態における被測定対象 5 0 と測定装置 1 0 0 とを備えるセンサシステム 2 0 0 を示す図である。測定装置 1 0 0 は、被測定対象 5 0 における誘導ブリルアン散乱光の利得スペクトルを測定する。被測定対象 5 0 は、本例では光ファイバである。ただし被測定対象 5 0 は、光ファイバ以外であってもよい。被測定対象 5 0 は、誘導ブリルアン散乱光を用いたセンシングの対象となる固体、液体および気体の少なくとも 1 以上を含んだ物体でもよい。なお、センサシステム 2 0 0 において、被測定対象 5 0 と測定装置 1 0 0 とは分離可能である。

30

【 0 0 1 9 】

測定装置 1 0 0 は、種光源 1 0、第 1 の分波用カプラ 1 2、第 2 の分波用カプラ 1 4、制御部 1 5 を有する。また測定装置 1 0 0 は、第 1 のコム光発生器 2 2、第 1 のパルス変調器 2 9、周波数シフタ 3 1、第 2 のコム光発生器 3 2、光バンドパスフィルタ 3 0 (以下、光 B P F 3 0)、第 2 のパルス変調器 3 9、第 3 のコム光発生器 4 2 を有する。さらに測定装置 1 0 0 は、サーキュレータ 6 0、合波用カプラ 7 0、測定器 9 0 を有する。

【 0 0 2 0 】

種光源 1 0 は、単一波長  $\lambda_0$  のレーザ光を出射する。本例では、 $\lambda_0 = 1.55 \mu\text{m}$  (対応する周波数  $\nu_0 = \text{約 } 1.94 \times 10^{14} \text{ THz}$ ) であってよい。種光源 1 0 から出射された光は、第 1 の分波用カプラ 1 2 で分岐して周波数シフタ 3 1 と第 2 の分波用カプラ 1 4 とにそれぞれ入射する。

40

【 0 0 2 1 】

第 2 の分波用カプラ 1 4 で分岐した光の一方は、第 1 のコム光発生器 2 2 に入射する。第 1 のコム光発生器 2 2 は、制御部 1 5 により制御されて、種光源 1 0 から生成される単一波長のレーザ光を変調する。第 1 のコム光発生器 2 2 は、種光源 1 0 から生成される単一波長のレーザ光を元に、第 1 のコム光を生成する。コム光とは、周波数軸上において等間隔に並んだ複数の光周波数モード (複数の周波数ピーク) を有する光である。本明細書においては一貫してコム光と称するが、一般的には光コムまたは光周波数コムとも称される場合がある。

【 0 0 2 2 】

50

第1のコム光は、いわゆるプローブ光である。第1のコム光は、中心周波数  $f_0$  であり、周波数間隔  $f$  であるコム光である。すなわち、周波数  $f_0$  を中心に低周波数側および高周波数側に周波数間隔  $f$  で複数の周波数のピークを有する。本例において、周波数間隔  $f$  は  $25.0000 \text{ GHz}$  である。第1のコム光発生器22は、第1のコム光を第1のパルス変調器29に入射させる。

#### 【0023】

第1のコム光は時間軸における波形がパルス状である。第1のパルス変調器29は、第1のコム光の2以上のパルスをそれぞれ含む2以上のパルス群間の周期を調整する。第1のコム光は周波数ピークの間隔が  $25.0000 \text{ GHz}$  であるので、時間軸において  $40 \text{ ps}$  のパルス周期を有する。第1のパルス変調器29は、第1のコム光の周波数間隔よりも遅い周波数で第1のコム光を変調することにより、2以上のパルスを含むパルス群同士の間隔を調整する。例えば、第1のパルス変調器29は、第1のコム光を  $100 \text{ kHz}$  で変調することにより、第1のコム光のパルス周期を  $10 \mu\text{s}$  としてよい。また、第1のパルス変調器29は、第1のコム光のパルス群の形状を調節してもよい。変調されたパルス光の周期は、1つのパルス光が被測定対象50を伝搬するのに必要な時間としてよい。第1のパルス変調器29は、サーキュレータ60を介して変調した第1のコム光を被測定対象50の一端52に入力する。

#### 【0024】

第1の分波用カプラ12で分岐した光の他方は、周波数シフタ31に入射する。周波数シフタ31は、レーザ光の周波数を被測定対象50のブリルアンシフト周波数  $f_B$  だけずらす。本例の周波数シフタ31は、レーザ光の周波数をブリルアンシフト周波数  $f_B$  だけ高周波側にずらす。

#### 【0025】

第2のコム光発生器32には、ブリルアンシフト周波数  $f_B$  だけ高周波側にずれた光が周波数シフタ31から入射する。周波数シフタ31から第2のコム光発生器32に入射する光は種光源10で生成された光である。第2のコム光発生器32は、種光源10から生成される単一波長のレーザ光を元に、第2のコム光を生成する。

#### 【0026】

第2のコム光は、いわゆるポンプ光である。第2のコム光は第1のコム光に対して、基準周波数が被測定対象50のブリルアンシフト周波数だけシフトしており、且つ、第2のコム光は第1のコム光に対して、周波数間隔が異なる。本例の基準周波数は、第1のコム光の1つの周波数ピークに対してブリルアンシフト周波数  $f_B$  だけ高周波数側にシフトした第2のコム光の1つの周波数ピークの周波数である。本例の第2のコム光は、中心周波数  $f_0 + f_B + f_B$  および周波数間隔  $f - f_1$  のコム光である。本例では、 $f$  は  $25.0000 \text{ GHz}$  であり、 $f_1$  は  $0.0115 \text{ GHz}$  ( $= 11.5 \text{ MHz}$ ) であり、周波数間隔  $f - f_1$  は  $24.9885 \text{ GHz}$  である。なお、 $f_B$  については後述する。第2のコム光発生器32は、第2のコム光を光BPF30に出射する。

#### 【0027】

光BPF30は、予め定められた周波数帯域の光のみを通過させるフィルタである。光BPF30は、第2のコム光の複数の周波数ピークを通過させる。本例の光BPF30は、第2のコム光の基準周波数を含む複数の周波数ピークを透過させる。また、本例の光BPF30は、最低周波数  $f_0 + f_B + f_B$  から最高周波数  $f_0 + f_B + f_B + 150 \text{ GHz}$  までの幅の第2のコム光を通過させる。ここで、第2のコム光の基準周波数は、当該最低周波数と最高周波数との間に位置する。第2のコム光の基準周波数は、本例では  $f_0 + f_B + f_B + 3(f - f_1)$  である。なお、本例の光BPF30は  $150 \text{ GHz}$  ( $= 25 \text{ GHz} \times 6$ ) の帯域幅のみを通過させるとしたが、光BPF30の通過帯域幅は、測定に用いる第2のコム光の周波数ピークの数に応じて適宜定めてよい。また、光BPF30の通過帯域幅の最低周波数もまた、第1のコム光の中心周波数との相対的關係から適宜定めてよい。光BPF30を通過した第2のコム光は、第2のパルス変調器39に出射する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 8 】

第2のコム光は、時間軸における波形がパルス状である。第2のパルス変調器39は、第2のコム光の2以上のパルスをそれぞれ含む2以上のパルス群間の周期を調整する。第2のパルス変調器39は、第1のパルス変調器29と同様に、第2のコム光の周波数間隔よりも遅い周波数で第2のコム光を変調することにより、2以上のパルスを含むパルス群同士の間隔を調整する。また、第2のパルス変調器39は、第2のコム光のパルス群の形状を調節してよい。第2のパルス変調器39は、変調した第2のコム光を被測定対象50の他端54に入力する。

## 【 0 0 2 9 】

プローブ光としての第1のコム光が一端52から被測定対象50に入射され、ポンプ光としての第2のコム光が他端54から被測定対象50に入射される。第1のコム光に対して第2のコム光の基準周波数は丁度  $f_B$  だけずれており、かつ第1のコム光と光BPF30を透過した基準周波数以外の第2のコム光とは約  $f_B$  だけずれているので、比較的強度の高い誘導ブリルアン散乱光が発生する。

10

## 【 0 0 3 0 】

誘導ブリルアン散乱光は、第1のコム光の各周波数において、ブリルアン利得スペクトルの強度に比例する。つまり、誘導ブリルアン散乱光は、第1のコム光と同様に、中心周波数  $f_0$  および周波数間隔  $f$  のコム光である。誘導ブリルアン散乱光は、サーキュレータ60を経て、合波用カブラ70に入射する。

## 【 0 0 3 1 】

第2の分波用カブラ14で分岐した光の他方は、第3のコム光発生器42に入射する。第3のコム光発生器42は、種光源10から生成される単一波長のレーザ光を元に、第3のコム光を生成する。

20

## 【 0 0 3 2 】

第3のコム光発生器42は、第1のコム光と基準周波数としての中心周波数  $f_0$  が同一であり、且つ、周波数間隔が異なる第3のコム光を生成する。本例の第3のコム光は、中心周波数  $f_0$  および周波数間隔  $f + f_2$  のコム光である。 $f_2$  は、非ゼロであればよく、本例では  $0.001 \text{ GHz}$  (=  $1 \text{ MHz}$ ) である。 $f_2$  は、誘導ブリルアン散乱光と第3のコム光とが干渉した結果であるビート信号の周波数間隔となる。 $f_2$  は、測定器90で検出可能な周波数であればよく、 $1 \text{ MHz}$  の値でなく任意に決めてもよい。第3のコム光は、いわゆるローカル光である。第3のコム光発生器42は、第3のコム光を合波用カブラ70に出射する。

30

## 【 0 0 3 3 】

合波用カブラ70は、誘導ブリルアン散乱光と第3のコム光とを測定器90に出射する。誘導ブリルアン散乱光および第3のコム光における周波数間隔の相違に起因して、ビート信号が発生する。

## 【 0 0 3 4 】

測定器90は、誘導ブリルアン散乱光と第3のコム光とのビート信号を測定する。測定器90は、ビート信号の測定結果に基づいて、間接的に被測定対象50から出力される誘導ブリルアン散乱光のスペクトルを測定することができる。誘導ブリルアン散乱光のスペクトルとビート信号の測定結果との関係については、図3の説明において詳しく述べる。

40

## 【 0 0 3 5 】

測定器90は、光電変換素子80およびスペクトル解析器82を有する。光電変換素子80はビート信号を光電変換する。つまり、光電変換素子80は受信するビート信号の強度に応じた電気信号を生成する。例えば光電変換素子80は、ビート信号の強度が大きい場合には大きい信号値の電気信号を生成する。なお、光電変換素子80は、イメージセンサであってもよい。本件出願時点の技術において、イメージセンサにおける1回の測定時間は最速で  $30 \text{ ms}$  である。

## 【 0 0 3 6 】

スペクトル解析器82は、光電変換素子80が生成した各時間における電気信号を高速

50

フーリエ変換する。これによりスペクトル解析器 8 2 は、ビート信号の周波数成分毎の信号強度を算出する。本例では、ビート信号の周波数は、最大でも  $f_2$  と  $2500 (= \omega_0$  以上の第 1 のコム光の周波数ピークの数) との積の値程度としてよい。つまり、ビート信号の周波数は、最大でも  $1 \text{ MHz} \times 2500 = 2.5 \text{ GHz}$  としてよい。この場合、ビート信号は、種光源 1 0 の周波数である約  $1.94 \times 10^2 \text{ THz}$  に比べて格段に小さい。従って、ビート信号の測定は、誘導ブリルアン散乱光を直接測定するために用いる光スペクトル解析装置ではなく、高速フーリエ変換等の信号処理が可能な電子回路を実装したスペクトル解析器 8 2 により実行できる。

【0037】

図 2 は、第 1 のコム光発生器 2 2、第 2 のコム光発生器 3 2 および第 3 のコム光発生器 4 2 の詳細を示す図である。第 1 のコム光発生器 2 2 は、第 1 の位相変調器 2 3、第 1 の強度変調器 2 4、増幅器 2 5、信号発生器 2 6、分散補償用ファイバ 2 7、高非線形ファイバ 2 8 を有する。本例の信号発生器 2 6 は、変調周波数  $f = 25.0000 \text{ GHz}$  の変調信号を発生する。

10

【0038】

変調信号は、増幅器 2 5 を介して第 1 の位相変調器 2 3 および第 1 の強度変調器 2 4 に伝達される。第 1 の位相変調器 2 3 および第 1 の強度変調器 2 4 は、変調周波数  $f = 25.0000 \text{ GHz}$  でもって単一波長  $\omega_0$  のレーザ光の位相を変調する。これにより、単一波長  $\omega_0$  のレーザ光は、変調周波数  $f = 25.0000 \text{ GHz}$  に等しい周波数間隔を有する種コム光に変調される。第 1 の位相変調器 2 3 および第 1 の強度変調器 2 4 は、例えば  $\text{LiNbO}_3$  の結晶を用いた LN 光変調器であってよい。

20

【0039】

なお、本例の第 1 のコム光発生器 2 2 は、第 1 の位相変調器 2 3 および第 1 の強度変調器 2 4 を有するが、第 1 のコム光発生器 2 2 は、第 1 の位相変調器 2 3 および第 1 の強度変調器 2 4 のいずれかだけを有してもよい。第 1 のコム光発生器 2 2 は、少なくとも第 1 の位相変調器 2 3 および第 1 の強度変調器 2 4 のいずれかを有してよい。

【0040】

種コム光は、周波数軸において複数の周波数ピークを有する。種コム光は、周波数  $\omega_0$  を中心に  $25.0000 \text{ GHz}$  だけ離れた複数の周波数ピークを有する。ただし、周波数軸における種コム光の周波数ピークの数、第 1 のコム光の周波数ピークの数よりも少ない。

30

【0041】

種コム光は、時間軸において相対的に長い光パルスをも有する。分散補償用ファイバ (Dispersion Compensated Fiber: DCF) 2 7 は、種コム光の波長分散特性を補償する。これにより、分散補償用ファイバ 2 7 は、種コム光の光パルス幅を分散補償用ファイバ 2 7 に入射する前よりも短い光パルス幅に変える。分散補償用ファイバ 2 7 から出射された種コム光は、高非線形ファイバ 2 8 に入射する。

【0042】

高非線形ファイバ 2 8 は、種コム光の周波数帯域を拡大する。高非線形ファイバ 2 8 は、種コム光の周波数ピークよりも多い周波数ピークを有する第 1 のコム光を生成する。第 1 のコム光は、周波数  $\omega_0$  を中心に周波数間隔  $25.0000 \text{ GHz}$  の複数の周波数ピークを有する。高非線形ファイバ 2 8 は、HNLFF (Highly-Nonlinear Fiber) とも称される。高非線形ファイバ 2 8 は、 $\text{GeO}_2$  等を添加した石英系光ファイバ、または、断面内に空孔が周期配列して存在するフォトニッククリスタルファイバであってよい。

40

【0043】

第 2 のコム光発生器 3 2 は、第 2 の位相変調器 3 3、第 2 の強度変調器 3 4、増幅器 3 5、信号発生器 3 6、分散補償用ファイバ 3 7、高非線形ファイバ 3 8 を有する。各部材の機能および構成は、基本的に第 1 のコム光発生器 2 2 と同様である。ただし、信号発生器 3 6 は、変調周波数  $f = f_1 (= 25.0000 - 0.0115 \text{ GHz} = 24.98$

50

85 GHz)の変調信号を発生する点異なる。第2のコム光発生器32もまた、少なくとも第2の位相変調器33および第2の強度変調器34のいずれかを有してよい。

【0044】

第3のコム光発生器42は、第3の位相変調器43、第3の強度変調器44、増幅器45、信号発生器46、分散補償用ファイバ47、高非線形ファイバ48を有する。各部材の機能および構成は、第1のコム光発生器22と同様である。ただし、信号発生器46は、変調周波数  $f + f_2$  ( $= 25.0000 + 0.001 \text{ GHz} = 25.001 \text{ GHz}$ )の変調信号を発生する点異なる。第3のコム光発生器42もまた、少なくとも第3の位相変調器43および第3の強度変調器44のいずれかを有してよい。

【0045】

制御部15は、信号発生器26と、信号発生器36と、信号発生器46とを同期して動作させる。これにより、第1の位相変調器23と、第2の位相変調器33と、第3の位相変調器43とは互いに同期制御される。したがって、第1のコム光と第2のコム光と第3のコム光とは、互いに同期する。

【0046】

図3は、第1のコム光の中心周波数、第2のコム光の中心周波数および誘導ブリルアン散乱光の関係を示す図である。横軸は周波数であり、縦軸は強度を示す。なお、ブリルアン利得スペクトルを破線にて示す。

【0047】

第1のコム光の中心周波数  $\omega_0$  である。第2のコム光の中心周波数  $\omega_0 + \omega_B + \omega_B$  である。なお、本例では  $\omega_B = 34.5 \text{ MHz}$  である。ブリルアン利得スペクトルの強度のピークを与える周波数は  $\omega_0 + \omega_B$  であり、第2のコム光の中心周波数  $\omega_0 + \omega_B + \omega_B$  よりも  $\omega_B$  だけ小さい。

【0048】

ブリルアン利得スペクトルは、ローレンツ型の関数と相似である。つまり、ブリルアン利得スペクトルは、周波数  $x$  に対して強度  $f(x) = c / \{1 + a(x - b)^2\}$  と相似である。ここで、 $a$ 、 $b$  および  $c$  はそれぞれ正の実数である。 $f(x)$  の最大値  $f_{max}$  は、 $x = b$  における  $f_{max}(b) = c$  である。 $f(x)$  は、 $x = b \pm a^{1/2}$  において、 $f_{max} / 2$  となる。また、 $f(x)$  は、 $x = b \pm 3a^{1/2}$  において、 $f_{max} / 10$  となる。

【0049】

本例では、ブリルアン利得スペクトルの半値幅は  $23 \text{ MHz}$  である。つまり、ブリルアン利得スペクトルは、 $\omega_0 + \omega_B$  を中心に  $11.5 \times 2 \text{ MHz}$  の幅を有する。また、ブリルアン利得スペクトルの最大値の  $1/10$  となる周波数は、 $\omega_0 + \omega_B$  を中心に  $11.5 \times 3 \times 2 (= 69 \text{ MHz})$  の幅を有する。

【0050】

本例では、ブリルアン利得スペクトルの最大値の  $1/10$  となる2つの周波数のうち低周波数側の周波数を、第1のコム光の中心周波数  $\omega_0$  と一致させるようにする。つまり、周波数シフト31は、第2のコム光の中心周波数を、 $\omega_0$  から  $\omega_0 + \omega_B + 34.5 \text{ MHz}$  にずらす。それゆえ、本例では、 $\omega_B = 34.5 \text{ MHz}$  とする。

【0051】

図4は、(a)第1のコム光、(b)第2のコム光、(c)被測定対象50からの誘導ブリルアン散乱光、(d)第3のコム光および(e)ビート信号を示す図である。(a)から(e)において、横軸は周波数であり、縦軸は強度を示す。

【0052】

(a)は、第1のコム光を示す。特に、第1のコム光の中心周波数  $\omega_0$  以上における、中心周波数  $\omega_0$  を含む7つの周波数ピークを示す。上述の様に、第1のコム光は中心周波数  $\omega_0$  であり、周波数間隔が  $25.0000 \text{ GHz}$  である。

【0053】

(b)は、第2のコム光を示す。上述の様に、第2のコム光は中心周波数  $\omega_0 + \omega_B +$

10

20

30

40

50

$\nu_B$  であり、周波数間隔が  $f - f_1 = 24.9885 \text{ GHz}$  である。上述の様に、第2のコム光の基準周波数（左から4番目の周波数ピーク）は、第1のコム光の左から4番目のピークに対して  $\nu_B$  だけずれている。上述の様に、本例の第2のコム光の基準周波数は、 $\nu_0 + \nu_B + \nu_B + 3(f - f_1)$  である。なお、説明の便宜上、(b)にはブリルアン利得スペクトルを破線にて付記した。ただし、ブリルアン利得スペクトルは、第2のコム光そのものではない。

【0054】

ブリルアン利得スペクトルの半値幅は、 $23 \text{ MHz}$  ( $= 0.023 \text{ GHz}$ ) である。また、ブリルアン利得スペクトルの最大値の  $1/10$  となる周波数の幅は、 $34.5 \times 2 = 69 \text{ MHz}$  ( $= 0.069 \text{ GHz}$ ) である。それゆえ、ブリルアン利得スペクトルの幅は、第2のコム光の周波数間隔  $24.9885 \text{ GHz}$  に比べて十分に小さい。説明の便宜上、(b)ではブリルアン利得スペクトルの幅は故意に拡大されて描かれており、ブリルアン利得スペクトルの幅と第2のコム光の周波数間隔との相対的なスケールは、図面上は正確ではないことに留意されたい。

10

【0055】

(c)は、誘導ブリルアン散乱光スペクトルを示す。ブリルアン散乱光スペクトルは、第1のコム光と同じ周波数間隔を有する。第1のコム光および第2のコム光の周波数間隔の差である  $f_1$  は、被測定対象50のブリルアン利得スペクトルの幅よりも小さい。第1のコム光と第2のコム光との周波数間隔差は  $f_1$  であるので、誘導ブリルアン散乱光は、ブリルアン利得スペクトルを  $f_1$  だけずれた複数の周波数でサンプリングすることができる。本例では、誘導ブリルアン散乱光は、ブリルアン利得スペクトルの最大値の  $1/10$  となる周波数の幅  $69 \text{ MHz}$  において、ブリルアン利得スペクトルを  $f_1$  ( $= 11.5 \text{ MHz}$ ) の間隔で7点だけサンプリングする。

20

【0056】

第1のコム光および第2のコム光の周波数間隔は、いずれも被測定対象50のブリルアン利得スペクトルの幅の2倍よりも大きい。本例では、第1のコム光および第2のコム光の周波数間隔はそれぞれ  $f = 25.0000 \text{ GHz}$  および  $f - f_1 = 24.9885 \text{ GHz}$  であり、ブリルアン利得スペクトルの幅は半値幅が  $23 \text{ MHz}$  である。よって、第1のコム光および第2のコム光の周波数間隔は、ブリルアン利得スペクトルの半値幅の約  $1000$  倍である。なお、 $\nu_B$  は  $11 \text{ GHz}$  であるので、ブリルアン利得スペクトルの最大値は、第2のコムの各周波数ピークの低周波数側近傍に位置する。

30

【0057】

(d)は、第3のコム光を示す。第3のコム光の中心周波数は  $\nu_0$  で第1のコム光の中心周波数と一致する。ただし、第3のコム光の周波数間隔は  $f + f_2$  であり、誘導ブリルアン散乱光の周波数間隔  $f$  とは  $f_2$  だけ異なる。

【0058】

(e)は、(c)誘導ブリルアン散乱光スペクトルと(d)第3のコム光とのビート信号を示す。ここで、ビート信号の周波数は周波数  $\nu_0$  に比べて格段に小さく、かつ、ビート信号の形状はブリルアン利得スペクトルの形状と相似である。それゆえ、ビート信号の強度に応じた電気信号を測定することにより、ブリルアン利得スペクトルを間接的に測定することができる。本例では  $0 \text{ Hz}$  から  $6 \cdot f_2$  ( $= 6 \text{ MHz}$ ) までの各ビート信号により、ブリルアン利得スペクトルを間接的に再現できる。これにより、被測定対象50の任意の各点における歪みまたは温度変化に応じたブリルアンシフト周波数  $\nu_B$  の変化を検知することができる。

40

【0059】

本例の測定装置100は、ポンプ光の周波数を時間に対して精密に線形掃引する必要がない。それゆえ、線形掃引を実現するための、複雑かつ精密な制御系が不要である。また、周波数掃引の非線形性を補償するために、従来のように信号処理部および周波数シフトにおいて複雑な信号処理をする必要もない。また、1回の測定が1秒以内に行われるので、被測定対象50に加わった歪みまたは温度の高精度な測定を少なくとも1秒ごとに行う

50

ことができる。

【0060】

上述の例では、ブリルアン利得スペクトルの最大値の $1/10$ となる周波数の幅 $69\text{MHz}$ を、 $11.5\text{MHz}$ 間隔で7点サンプリングする例を示した。変形例として、周波数の幅 $69\text{MHz}$ を $1\text{MHz}$ 間隔で69点サンプリングしてもよい。この場合第2のコム光は、 $f_1 = 1\text{MHz}$ とする。加えて、第2のコム光において、周波数 $f_0 + B + B$ から高周波側に位置する69個の周波数ピークを用いればよい。また、半値幅 $23\text{MHz}$ を7点でサンプリングしてもよい。この場合、第2のコム光は、 $f_1 = 3.87\text{MHz}$ としてよい。加えて、周波数 $f_0 + B + B$ 以上の高周波側に位置する第2のコム光の7個の周波数ピークを用いればよい。ブリルアン利得スペクトルをサンプリングする間隔 $f_1$ は、サンプリング数に応じて任意に定めてもよい。

10

【0061】

図5は、第1のコム光の2以上のパルス群間の周期 $T_1$ と第2のコム光の2以上のパルス群間の周期 $T_2$ との関係を示す図である。上述の様に、第1のパルス変調器29は、第1のコム光のパルス群間の周期 $T_1$ を調節する。また、第2のパルス変調器39は、第2のコム光のパルス群間の周期 $T_2$ を調節する。本例の測定装置100において、第1のパルス変調器29および第2のパルス変調器39は、第1のコム光の2以上のパルス群間の周期 $T_1$ と第2のコム光の2以上のパルス群間の周期 $T_2$ とを異ならせることができる。それゆえ、被測定対象50において第1のコム光のパルス群と第2のコム光のパルス群とが重なる位置を順次変化させることができる。

20

【0062】

なお、第1のコム光発生器22と被測定対象50の一端52との間に制御ゲート56を設け、かつ、第2のコム光発生器32と被測定対象50の他端54との間に制御ゲート58を設けてもよい。本例では、第1のパルス変調器29と被測定対象50の一端52との間に制御ゲート56を設け、第2のパルス変調器39と被測定対象50の他端54との間に制御ゲート58を設ける。

【0063】

コム光は、時間軸上ではパルス光である。例えば、 $2.5\text{THz}$ の帯域のコム光は、 $1\text{ps}$ の短パルス光となる。制御ゲート56および制御ゲート58は、パルス光が出力されるタイミングを制御することができる。これにより、被測定対象50中におけるパルス光の衝突位置を制御することができる。それゆえ、パルス群間の周期は固定して、制御ゲート56および制御ゲート58により、被測定対象50中におけるパルス光の衝突位置を制御してもよい。

30

【0064】

例えば、パルス光の繰り返し周波数が $25\text{GHz}$ である場合、時間軸上においてパルス光の間隔(すなわち、パルス周期)は $0.04\text{ns}$ となる。 $0.04\text{ns}$ 周期でパルス光を出力するためには、 $25\text{GHz}$ よりも高い周波数で動作する機器を用いて、制御ゲート56および制御ゲート58を実現すればよい。例えば、 $40\text{GHz}$ 帯域で動作するLN強度変調器により制御ゲート56および制御ゲート58を実現することができる。

【0065】

本例の第1のパルス変調器29は、第1のコム光のパルス群間の周期を、1つのパルス光が被測定対象50を伝搬するのに必要な時間とすることができる。被測定対象50(一例として、光ファイバ)の長さが $2\text{km}$ であり、かつ、当該光ファイバ内での光速が $2 \times 10^8\text{m/s}$ である場合、第1のコム光のパルス群間のパルス周期を $10\mu\text{s}$ としてよい。つまり、 $2\text{km} = 10\mu\text{s} \times 2 \times 10^8\text{m/s}$ を満たすように、第1のコム光のパルス群間の周期 $T_1$ を調節してよい。なお、屈折率 $n$ の媒質中での光速 $c'$ は、 $c' = c/n$ となる。また、周期 $T_1$ を固定して、周期 $T_2$ を周期 $T_1$ よりも大きいまたは小さい値で固定することにより、第1のコム光のパルス群と第2のコム光のパルス群との衝突位置を被測定対象50の異なる任意の位置とすることができる。なお、変調後のパルス群の持続時間が $10\text{ns}$ である場合、空間分解能は $2\text{m}$ ( $= 10\text{ns} \times 2 \times 10^8\text{m/s}$ )であって

40

50

よい。

【0066】

光ファイバの長さ  $L$  が  $2 \text{ km}$  であり、空間分解能  $\Delta L$  が  $2 \text{ m}$  であり、イメージセンサを用いた一回の測定時間が  $30 \text{ ms}$  ( $= 30 \times 10^{-3} \text{ s}$ ) である場合を想定する。この場合、光ファイバの全長を測定するために要する全測定時間  $T$  は、 $T = (L / \Delta L) = 30 \text{ s}$  となる。

【0067】

測定器 90 は、被測定対象 50 の各位置における誘導ブリルアン散乱光のスペクトルの分布を測定してよい。これにより、被測定対象 50 の異なる任意の位置において、ブリルアンシフト周波数  $\omega_B$  の変化を測定することができる。なお、周期  $T_1$  と周期  $T_2$  とを等しくして、被測定対象 50 の同一位置だけのブリルアンシフト周波数  $\omega_B$  を測定してもよい。

10

【0068】

なお、本例では、 $f_1$  および  $f_2$  を相対的に小さくしても、1回の測定時間は変わらない。上述の様に、本例の1回の測定は1秒以内に行なわれる。これに対して、周波数を掃引する例は数分程度の時間が必要となる。また、周波数掃引の例では、周波数間隔を小さくするほど、測定時間が長くなる。このように本例の手法では、周波数を掃引する例よりも測定時間を短くすることができる。また、それゆえに本例では、周波数を掃引する例では困難であった数  $\text{Hz}$  程度の振動をも検知することができる。

【0069】

図6は、第2の実施形態における被測定対象 50 と測定装置 110 とを備えるセンサシステム 210 を示す図である。本例では、第1のパルス変調器 29 とサーキュレータ 60 との間にデポライザ 65 を備え、第3のコム光発生器 42 と合波用カップラ 70 との間にもデポライザ 65 を備える。測定装置 110 の光経路が、伝搬特性に偏波依存性が無いシングルモードファイバである場合に、デポライザ 65 が必要となる。それゆえ、測定装置 110 の光経路を偏波保持光ファイバで構成し、かつ、種光源 10 から出射された光を偏波コントローラにより、偏波保持光ファイバ内で偏波が保持される直線偏波にしておけば、デポライザ 65 は不要である。勿論、第1の実施形態の測定装置 100 は、偏波保持光ファイバおよび偏波コントローラを備えてもよい。第2の実施形態の測定装置 110 は、シングルモードファイバおよびデポライザ 65 を備える点において第1の実施形態と異なる。他の点は、第1の実施形態と同様である。

20

30

【0070】

デポライザ 65 は、第1のコム光および第3のコム光の偏波状態をランダムにする。つまり、デポライザ 65 は、第1のコム光および第3のコム光を非偏波状態にする。測定器 90 は、誘導ブリルアン散乱光と非偏波状態の第3のコム光とのビート信号を測定する。

【0071】

本例では、誘導ブリルアン散乱光と第3のコム光とは、合波されるまでの過程において光路長が異なり得る。それゆえ、デポライザ 65 が無い場合には、誘導ブリルアン散乱光と第3のコム光とは、偏波状態が異なる場合がある。誘導ブリルアン散乱光と第3のコム光との偏波状態が異なる場合には、十分なビート信号の強度が得られない可能性がある。本例においては、第3のコム光はデポライザ 65 により非偏波状態にされている。つまり、第3のコム光はあらゆる状態の偏波を均等に含んだ光であるので、ブリルアン利得スペクトルの偏波状態と一致する偏波を必ず含む。それゆえ、シングルモードファイバを用いた場合であっても、ビート信号の強度は最低限度担保される。

40

【0072】

なお本例では、第1のパルス変調器 29 とサーキュレータ 60 との間にデポライザ 65 を備えるとしたが、これに代えて、第2のパルス変調器 39 と被測定対象 50 の他端 54 との間にデポライザ 65 を備えてもよい。これによっても同様の効果が得られる。

【0073】

50

図7は、第3の実施形態における被測定対象50と測定装置120とを備えるセンサシステム220を示す図である。本例では、第2の分波用カプラ14と第1のコム光発生器22との間に周波数シフタ21を設け、第2の分波用カプラ14と第3のコム光発生器42との間に周波数シフタ41を設ける。周波数シフタ21および周波数シフタ41は、レーザ光の中心周波数 $\omega_0$ を $\omega_B + \omega_B$ だけ低周波数側にずらす。これにより、第1のコム光および第3のコム光の中心周波数は、 $\omega_0 - (\omega_B + \omega_B)$ となる。当該構成によっても、第1の実施形態と同様の測定を行うことができる。

#### 【0074】

図8は、被測定対象50として、光ファイバ150を用いる例を示す図である。なお、相対位置を説明することを目的として、光ファイバ150の長手方向はZ方向であるとし、光ファイバ150の長手方向に垂直な断面はX-Y平面であるとする。本例の光ファイバ150は、クラッド154内に、光ファイバコア153と、X-Y平面において当該光ファイバコア153を挟む2つの応力付与部156とを有する。なお、光ファイバ150は、クラッド154の外側に被覆部をさらに有してもよい。

10

#### 【0075】

本例の光ファイバ150は、PANDA (Polarization maintaining AND Absorption reducing) ファイバである。PANDAファイバにおいては、非軸対象な応力が予め付与されている。それゆえ、PANDAファイバにおいては、光の偏光が、光ファイバ中でのランダムな複屈折に起因して変化しない。本例において、応力付与部156<sub>1</sub>は光ファイバコア153に-Y方向の応力を付与し、応力付与部156<sub>2</sub>は+Y方向の応力を付与する。これにより、光ファイバコア153のX方向とY方向とで偏波状態を異ならせることができる。

20

#### 【0076】

ブリルアン利得スペクトルは、光ファイバ150の温度に起因して変化し、光ファイバ150が受ける歪みに起因しても変化する。それゆえ、ブリルアン利得スペクトルを測定しても、周波数が温度に起因して変化しているのか、歪みに起因して変化しているのか判別することが困難である場合がある。

#### 【0077】

本例の光ファイバ150はPANDAファイバであるので、互いに独立なX方向の偏波とY方向の偏波とが光ファイバ150中を伝搬すると見なすことができる。すなわち、1本の光ファイバ150でありながら、2つの異なる光が光ファイバ150中を伝搬すると見なすことができる。

30

#### 【0078】

X方向の偏波を $\omega_1$ とし、Y方向の偏波を $\omega_2$ とし、被測定対象50の特定位置における温度をTとし、被測定対象50の特定位置における歪みを $\epsilon$ とする。 $\omega_1$ のブリルアンシフト周波数の変化である $\omega_{B1}$ および $\omega_2$ のブリルアンシフト周波数の変化である $\omega_{B2}$ は、下記の数式1および数式2で表される。

[数1]

$$\omega_{B1} = A \cdot T + B \cdot \epsilon$$

[数2]

$$\omega_{B2} = C \cdot T + D \cdot \epsilon$$

40

#### 【0079】

上述のブリルアン利得スペクトルを測定することにより、 $\omega_{B1}$ および $\omega_{B2}$ を特定することができる。また、A、B、CおよびDは、各光ファイバ150に固有の値である。それゆえ、温度Tの変化量である $\Delta T$ と、歪み $\epsilon$ の変化量である $\Delta \epsilon$ とは、数式1および数式2の連立方程式から算出することができる。これにより、光ファイバ150における温度および歪みの変化量を得ることができる。

#### 【0080】

なお、本例の光ファイバ150は、母材作成工程およびその後の紡糸工程により形成することができる。一例であるが、光ファイバコア153はGeO<sub>2</sub>およびSiO<sub>2</sub>を有し

50

てよく、クラッド 154 は  $\text{SiO}_2$  を有してよく、応力付与部 156 は  $\text{B}_2\text{O}_3$  および  $\text{SiO}_2$  を有してよい。

【0081】

図9は、被測定対象50として、光ファイバ150を用いる他の例を示す図である。本例の光ファイバ150は、第1の光ファイバ151および第2の光ファイバ152の2つの光ファイバを有する。この2つの光ファイバは、光ファイバ150の歪み変化および温度変化を測定するために用いられる。上述の様に、2つの光ファイバのブリルアンシフト周波数の変化を測定し、数式1および数式2から  $T$  および  $\epsilon$  を算出する。

【0082】

図9(a)の例において、光ファイバ150 1は、同じ直径を有するが屈折率の温度依存性が異なる、第1の光ファイバ151と第2の光ファイバ152とを有する。屈折率の温度依存性が異なる2つの光ファイバは、異なる元素からなる材料を有してよく、同じ元素であるが組成比が異なる材料を有してもよい。第1の光ファイバ151と第2の光ファイバ152とは、同じ直径を有するが屈折率の歪み依存性が異なってもよい。

【0083】

図9(b)の例において、光ファイバ150 2は、外側に被覆部155を有する第1の光ファイバ151と被覆部155を有しない第2の光ファイバ152とを有する。これにより、第1の光ファイバ151と第2の光ファイバ152とにおける屈折率の温度依存性を異ならせてよい。したがって、図9(b)の例では、2つの光ファイバ屈折率の温度依存性が同じであってもよい。

【0084】

図9(c)の例では、光ファイバ150 2は、直径が異なる2つの光ファイバを有する。本例では、第1の光ファイバ151の直径が第2の光ファイバ152よりも大きい。なお、第2の光ファイバ152の直径が第1の光ファイバ151よりも大きくてもよい。これにより、2つの光ファイバにおける屈折率の温度依存性を異ならせることができる。

【0085】

図10は、第4の実施形態における多点型光ファイバセンサ400を示す図である。多点型光ファイバセンサ400は、デュアルコム光源部340と、サーキュレータ350と、光ファイバ360と、測定器390とを有する。

【0086】

デュアルコム光源部340は、種光源310、分波用カプラ312、制御部315、第1のコム光発生器320、および、第2のコム光発生器330を有する。種光源310は、単一波長  $\lambda_0$  のレーザ光を出射する。本例では、 $\lambda_0 = 1.55 \mu\text{m}$  (対応する周波数  $\nu_0 = \text{約 } 1.94 \times 10^2 \text{ THz}$ ) である。種光源310から出射された光は、分波用カプラ312で分岐して第1のコム光発生器320と第2のコム光発生器330とにそれぞれ入射する。

【0087】

第1のコム光発生器320は種光源310のレーザ光から第1のコム光を生成し、第2のコム光発生器330は種光源310のレーザ光から第2のコム光を生成する。コム光とは、周波数軸上において等間隔に並んだ複数の光周波数モード(複数の周波数ピーク)を有する光である。

【0088】

第1のコム光発生器320は、第1の位相変調器322および第1の強度変調器323、増幅器324、信号発生器326、分散補償用ファイバ328、高非線形ファイバ329を有する。本例の信号発生器326は、変調周波数  $f = 2.500 \text{ GHz}$  の変調信号を発生する。変調信号は、信号発生器326から増幅器324を介して第1の位相変調器322および第1の強度変調器323に伝達される。第1の位相変調器322および第1の強度変調器323は、変調周波数  $f = 2.500 \text{ GHz}$  で単一波長  $\lambda_0$  のレーザ光の位相を変調する。これにより、単一波長  $\lambda_0$  のレーザ光は、変調周波数  $f = 2.500 \text{ GHz}$  に等しい周波数間隔を有する種コム光に変調する。第1の位相変調器322および第1の

10

20

30

40

50

強度変調器 323 は、例えば  $\text{LiNbO}_3$  の結晶を用いた LN 光変調器であってよい。

【0089】

種コム光は、周波数軸において複数の周波数ピークを有する。種コム光は、周波数  $f_0$  を中心に  $2.500\text{ GHz}$  だけ離れた複数の周波数ピークを有する。ただし、周波数軸における種コム光の周波数ピークの数、第 1 のコム光および第 2 のコム光の周波数ピークの数よりも少ない。

【0090】

種コム光は、時間軸において相対的に長い光パルスを有する。分散補償用ファイバ (Dispersion Compensated Fiber: DCF) 328 は、種コム光の波長分散特性を補償する。これにより、分散補償用ファイバ 328 は、種コム光の光パルス幅を分散補償用ファイバ 328 に入射する前よりも短い光パルス幅に変える。分散補償用ファイバ 328 から出射された種コム光は、高非線形ファイバ 329 に入射する。

10

【0091】

高非線形ファイバ 329 は、種コム光の周波数帯域を拡大する。高非線形ファイバ 329 は、種コム光の周波数ピークよりも多い周波数ピークを有する第 1 のコム光を生成する。第 1 のコム光は、周波数  $f_0$  を中心に周波数間隔  $2.500\text{ GHz}$  の複数の周波数ピークを有する。高非線形ファイバ 329 は、HNLFF (Highly-Nonlinear Fiber) とも称される。高非線形ファイバ 329 は、 $\text{GeO}_2$  等を添加した石英系光ファイバ、または、断面内に空孔が周期配列して存在するフォトニッククリスタルファイバであってよい。高非線形ファイバ 329 において生成された第 1 のコム光は、サーキュレータ 350 を介して光ファイバ 360 に入射する。

20

【0092】

第 2 のコム光発生器 330 は、第 2 の位相変調器 332 および第 2 の強度変調器 333、増幅器 334、信号発生器 336、分散補償用ファイバ 338、高非線形ファイバ 339 を有する。各構成の機能は、第 1 のコム光発生器 320 の対応する構成とほぼ同様であるので、説明を省略する。ただし、本例の信号発生器 336 は、変調周波数  $f = 2.501\text{ GHz}$  の変調信号を発生する。これにより、第 2 のコム光発生器 330 は、周波数  $f_0$  を中心に周波数間隔  $2.501\text{ GHz}$  の複数の周波数ピークを有する第 2 のコム光を生成する。

【0093】

第 1 のコム光の周波数間隔は  $2.500\text{ GHz}$  であり第 2 のコム光の周波数間隔は  $2.501\text{ GHz}$  であるので、第 1 のコム光と第 2 のコム光とは周波数間隔が異なる。第 1 のコム光および第 2 のコム光は、サーキュレータ 350 を介して光ファイバ 360 に入射する。

30

【0094】

制御部 315 は、第 1 のコム光発生器 320 中の信号発生器 326 と、第 2 のコム光発生器 330 中の信号発生器 336 とを同期して動作させる。これにより、第 1 の位相変調器 322 および第 1 の強度変調器 323 と第 2 の位相変調器 332 および第 2 の強度変調器 333 とは同期制御される。したがって、第 1 のコム光と第 2 のコム光とは、互いに同期する。なお、本例では、第 1 の位相変調器 322 および第 1 の強度変調器 323 を有する例を説明したが、第 1 のコム光発生器 320 は、少なくとも第 1 の位相変調器および第 1 の強度変調器のいずれかを有してもよい。同様に、第 2 のコム光発生器 330 は、少なくとも第 2 の位相変調器および第 2 の強度変調器のいずれかを有してよい。この場合、少なくとも第 1 の位相変調器および第 1 の強度変調器のいずれかと、少なくとも第 2 の位相変調器および第 2 の強度変調器のいずれかとが同期制御されればよい。

40

【0095】

光ファイバ 360 は、周囲環境によって分光特性が変化する 1 以上の反射点を含む。本明細書における周囲環境とは、分光特性が変化する反射点に接した領域における、温度、歪み、圧力、化学物質濃度、湿度および放射線等の少なくとも 1 以上の状態を指す。本明細書において分光特性が変化するとは、反射スペクトルまたは透過スペクトルが変化する

50

ことを意味する。本明細書においては、反射スペクトルまたは透過スペクトルの形状は保ったままで中心周波数が変化する、分光特性の変化の例を説明する。ただし、分光特性の変化は、これに限定されず、反射スペクトルまたは透過スペクトルの形状が変化してもよい。または、分光特性の変化は、反射スペクトルまたは透過スペクトルの中心周波数は変わらず、反射率または透過率が一樣に変化してもよい。

#### 【0096】

周囲環境により分光特性が変化する反射点は、光ファイバ360内部に設けられ、かつ、特定の周波数または特定の波長の光を反射する反射体からなる。また、この分光特性が変化する反射点は、当該「特定の周波数または特定の波長」以外の光を透過させる。それゆえ、分光特性が変化する反射点における反射光および透過光を利用したスペクトル測定が可能である。本明細書において、分光特性が変化する反射点とは、光ファイバ360の長手方向に設けられた、反射スペクトルまたは透過スペクトルが変化する光学フィルタとしての機能を有する部分であればよい。反射体を構成する反射点は、光ファイバ360内部に設けられた固体、液体または気体であってよい。

10

#### 【0097】

本例において、分光特性を有する1以上の反射点は、1以上のFBGである。図10においてFBG#1、FBG#2と図示するように、光ファイバ360は、N個のFBGを有する。Nは1以上の自然数であり、一例においてN=100である。ただし、光ファイバ360の長さに応じてNの値は適宜定めてよい。光ファイバ360が長いほど、Nの値は大きくしてよい。

20

#### 【0098】

本明細書において1つのFBGは、光ファイバ360のコアにおいて周期的な屈折率の変化を設けた1つの領域を指す。周期的な屈折率の変化が設けられた1つの領域が、1つの光学フィルタに対応するとしてよい。この周期的な屈折率変化の周期をグレーティング周期と称する。例えば、ゲルマニウムを添加した光ファイバに周期的開口を有するマスクを介して紫外線を照射することにより、FBGを形成することができる。

#### 【0099】

光ファイバ360は、入射した光のうちグレーティング周期に対応する特定の周波数の光を主に反射する。各FBGは、それぞれ異なるグレーティング周期を有する。本例において、FBG#1は周波数 $f_1$ の光を主に反射し、FBG#2は周波数 $f_2$ の光を主に反射し、同様に、FBG#Nは周波数 $f_N$ の光を主に反射する。反射する様子を折り返し矢印にて模式的に示す。

30

#### 【0100】

本明細書において、各FBGが主に反射する光の周波数 $f_1$ 、 $f_2$ ... $f_N$ を、各FBGの中心周波数と称する。各FBGはそれぞれ異なるグレーティング周期を有するので、各FBGにおいて反射光の周波数スペクトルの中心周波数は互いに異なる。各FBGの中心周波数 $f_1$ 、 $f_2$ ... $f_N$ の値は光ファイバ360の製造時に予め定めることができる。

#### 【0101】

本例における1以上のFBGは、第1のコム光が入射する位置から離れるに従い中心周波数が大きくなるように光ファイバ360中に配置される。つまり、各FBGの中心周波数は $f_1 < f_2 < \dots < f_N$ であり、サーキュレータ350に近い順に $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_N$ となるように配置する。

40

#### 【0102】

光ファイバ360には、サーキュレータ350を介して第1のコム光および第2のコム光が入射する。光ファイバ360は、入射した第1のコム光および第2のコム光のうち各FBGの中心周波数に応じた光を主に反射する。反射された第1のコム光および第2のコム光は、サーキュレータ350を介して測定器390に入射する。

#### 【0103】

第2のコム光は、第1のコム光とは $f$ だけ周波数間隔が異なる。本例において、第2のコム光は第1のコム光よりも $f$ だけ周波数間隔が大きい。本例の $f$ は、0.001

50

GHz (= 1 MHz) である。他の例においては、 $f$  は第 1 のコム光の周波数間隔の 0.1% であってもよい。

【0104】

各 FBG の中心周波数の大小関係は  $f_1 < f_2 < \dots < f_N$  であるので、FBG # N の N が大きいほど、第 1 のコム光の反射スペクトルと第 2 コム光との周波数差  $N \cdot f$  は大きくなる。1 つの FBG が第 1 および第 2 のコム光の各 10 本の周波数ピークを反射し、かつ、 $N = 250$  である場合、 $f = 0.001$  GHz であるから、 $10 \cdot N \cdot f = 2.5$  GHz となる。2.5 GHz は第 1 のコム光の周波数間隔に一致する。そこで、第 1 のコム光の周波数ピークが 5000 本である場合には、コム光の周波数軸の中心における周波数  $f_0$  を含む 2500 本程度を反射スペクトルの測定に用いてよい。本例では、周波数  $f_0$  以上の周波数帯における 2500 本程度の周波数ピークを反射スペクトルの測定に用いる。

10

【0105】

光ファイバ 360 における 1 以上の FBG から反射された第 1 のコム光および第 2 のコム光は、合波されてビート信号となる。ビート信号は、第 1 のコム光と第 2 のコム光との周波数差を有する。測定器 390 は、当該ビート信号を測定する。

【0106】

測定器 390 は、光電変換素子 380 とスペクトル解析装置 385 とを有する。光電変換素子 380 はビート信号を光電変換する。つまり、光電変換素子 380 は受信するビート信号の強度に応じた電気信号を生成する。例えば光電変換素子 380 は、ビート信号の強度が大きい場合には大きい信号値の電気信号を生成する。

20

【0107】

スペクトル解析装置 385 は、光電変換素子 380 が生成した各時間における電気信号を高速フーリエ変換する。これによりスペクトル解析装置 385 は、ビート信号の周波数成分毎の信号強度を算出する。本例では、ビート信号の周波数成分は、 $10 \cdot N \cdot f$  程度である。つまり、ビート信号は最大でも、種光源 310 の  $f_0$  周波数である約  $1.94 \times 10^2$  THz に比べて格段に小さい 1 GHz (=  $10 \cdot 100 \cdot 1$  MHz) である。これにより、ビート信号の測定は、光スペクトル解析装置ではなく高速フーリエ変換等の信号処理が可能な電子回路を実装したスペクトル解析装置 385 により実行できる。

30

【0108】

図 11 は、第 1 のコム光、光ファイバ 360 および各 FBG から反射された第 1 のコム光の反射スペクトルを示す図である。上段の第 1 のコム光は、横軸が周波数であり縦軸が光の強度である。上述の様に、第 1 のコム光の中心の周波数は  $f_0$  であり、周波数間隔は 2.500 GHz である。本例において、第 1 のコム光は 1.3 THz 程度の広がりを持つてよい。

【0109】

中段の光ファイバ 360 は、横軸が光ファイバ 360 の長手方向に沿った長さである。縦軸は特定の物理量を示すものではなく、複数の FBG が光ファイバ 360 に設けられることを模式的に示す。

【0110】

下段の各 FBG から反射された第 1 のコム光の反射スペクトルは、横軸が周波数であり縦軸が光の強度である。各 FBG は各中心周波数の光を主に反射するので、反射された第 1 のコム光は、各中心周波数  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_N$  を中心に一定の広がりを持つ複数の反射スペクトルを構成する。

40

【0111】

各 FBG から反射された第 1 のコム光の複数の反射スペクトルは、周波数軸上において複数の同じ反射帯域幅を有する。なお、第 1 のコム光を各 FBG に入射した場合、各 FBG のスペクトルが連続的に検出される訳ではないので、反射スペクトルを破線で示した。

【0112】

本例において、FBG の各々の反射帯域幅は、半値幅 26 GHz (波長換算で 0.2 nm

50

m) を有する。当該反射帯域幅は、第 1 のコム光の複数の周波数ピークが収まる幅である。本例では、第 1 のコム光の周波数間隔が  $2.500 \text{ GHz}$  であるので、1 つの F B G の半値幅  $26 \text{ GHz}$  の範囲内に第 1 のコム光の周波数ピークが少なくとも 10 本は収まる。

【0113】

上述の様に、各 F B G の中心周波数は異なる。本例において、各 F B G の中心周波数は、 $130 \text{ GHz}$  (波長換算で  $1 \text{ nm}$ ) だけ離れている。第 1 のコム光および第 2 のコム光は、F B G # 1 で反射する周波数ピークと、F B G # 1 とは異なる F B G # 2 で反射する周波数ピークとを少なくとも有する。本例の第 1 のコム光は、全ての F B G (F B G # 1 ~ F B G # N) で反射する周波数ピークを有する。したがって、第 1 のコム光は、光ファイバ 360 の全ての F B G からの反射光を得ることができる。

10

【0114】

図 12 は、第 1 のコム光と第 2 のコム光との関係を示す図である。第 1 のコム光も第 2 のコム光も、横軸は周波数であり、縦軸は強度である。第 1 のコム光および第 2 のコム光は、種光源 310 を元に同期して生成されたので、周波数軸上において中心の周波数  $f_0$  は一致する。ただし上述の様に、第 1 のコム光の周波数間隔は  $2.500 \text{ GHz}$  であり、第 2 のコム光の周波数間隔は  $2.501 \text{ GHz}$  である。それゆえ、周波数  $f_0$  よりも大きい周波数領域においては、2 つのコム光は周波数が徐々にずれる。なお、周波数  $f_0$  よりも小さい周波数領域においても 2 つのコム光は周波数が徐々にずれるが、図面では省略してある。

20

【0115】

本例では、周波数  $f_0$  を基準にして 1 つ目の周波数ピークにおいて、第 2 のコム光は第 1 のコム光よりも  $f$  ( $0.001 \text{ GHz} = 1 \text{ MHz}$ ) だけ周波数が大きい。さらに、周波数  $f_0$  を基準にして 2 つ目の周波数ピークにおいて、第 2 のコム光は第 1 のコム光よりも  $2f$  だけ周波数が大きい。同様に、周波数  $f_0$  を基準にして 3 つ目および 4 つ目の周波数ピークにおいて、第 2 のコム光は第 1 のコム光よりも  $3f$  だけおよび  $4f$  だけそれぞれ周波数間隔が大きい。このように、周波数  $f_0$  を基準にして M 番目の周波数ピークにおいて、第 2 のコム光は第 1 のコム光よりも  $Mf$  だけ周波数間隔が大きい。なお、M は 1 以上の自然数であり、本例では  $M = 2500$  である。

30

【0116】

図 13 は、F B G # 1 から反射された第 1 のコム光の反射スペクトルと、F B G # 1 から反射された第 2 のコム光の反射スペクトルと、第 1 のコム光と第 2 のコム光とのビート信号との関係を示す図である。上段の第 1 のコム光は、横軸が周波数であり縦軸が光の強度である。F B G # 1 の反射スペクトルは、第 1 のコム光の複数の周波数ピークを反映したスペクトルを有する。本例の F B G # 1 の反射スペクトルは、第 1 のコム光の 10 本の周波数ピークを含む。本例において、F B G # 1 の反射スペクトルの最も低周波が、種コム光の周波数  $f_0$  となるように F B G # 1 を設定した。ただし、周波数  $f_0$  がどの F B G の反射スペクトルに含まれるかは任意に設定してよく、上述の例に限定した設定としなくともよい。なお本例では、周波数  $f_0$  を 1 つ目として 5 つ目と 6 つ目との間に F B G # 1 の中心周波数  $f_1$  が位置している。

40

【0117】

中段の第 2 のコム光は、横軸が周波数であり縦軸が光の強度である。上述したように、第 2 のコム光の周波数ピークの 1 つは周波数  $f_0$  であり、第 1 のコム光の周波数ピークと一致する。また、第 2 のコム光の周波数ピークは周波数  $f_0$  から離れるにつれて第 1 のコム光の周波数ピークとの差が大きくなる。

【0118】

下段の第 1 のコム光と第 2 のコム光とのビート信号は、横軸が周波数であり縦軸が光の強度である。ここで、ビート信号の周波数は周波数  $f_0$  に比べて格段に小さく、かつ、ビート信号の形状は F B G # 1 の反射スペクトルと相似形状である。それゆえ、ビート信号の強度に応じた電気信号を測定することにより、F B G # 1 の反射スペクトルを間接的に測定することができる。例えば、 $0 \text{ Hz}$  のビート信号は、F B G # 1 からの反射スペクト

50

ルにおける、第1のコム光の周波数  $f_1$  と第2のコム光の周波数  $f_2$  とのビート信号である。さらに、 $f$  のビート信号は、FBG # 1からの反射スペクトルにおける、第1のコム光の周波数  $f_1$  の次に高い周波数ピークと第2のコム光の周波数  $f_2$  の次に高い周波数ピークとのビート信号である。

#### 【0119】

各ビート信号を用いて、測定時の周囲環境における各FBGからの反射スペクトルおよび中心周波数を再現できる。各FBGの中心周波数は周囲環境に応じて変化する。例えば、光ファイバの歪みに応じて  $1 \text{ pm} / \mu$  だけ変化し、光ファイバの温度変化に応じて  $10 \text{ pm} / \mu$  だけ変化する。これは、周波数換算で  $130 \text{ MHz} / \mu$  および  $1.3 \text{ GHz} / \mu$  にそれぞれ相当する。各FBGにおける既知の中心周波数と測定時の周囲環境における中心周波数の変化により、光ファイバ360の歪みおよび温度変化等の周囲環境の変化を知ることができる。

10

#### 【0120】

本例においては、従来例(図22)の広帯域スペクトルを有する光源を使用しない。つまり、本例では、広帯域スペクトルを有する光源と比較してSN比が非常に高いので、使用する光ファイバ360の長さを広帯域スペクトル光源の場合よりも長くすることができる。加えて、本例においては、従来例(図23)とは異なり、時間に対して光周波数の線形掃引を行わない。よって、反射光の測定後に測定装置において複雑な信号処理が不要である。加えて、線形掃引に伴う周波数の不連続な変化も生じない。よって、光源側において複雑な補正処理が不要となる。さらに、本例では2つのコム光発生器を用いるのに対して、従来例(図24)ではコム光発生器を1つしか用いない。また、従来例(図24)は、コム光の周波数間隔を掃引することにより各FBGの位置を特定して、その上で、各FBGに加えられた歪みに起因するブラッグ波長シフトを測定する。それゆえ、従来例(図24)においてもブラッグ波長シフトを測定するには、別途、周波数掃引が必要となるか、光ファイバからの反射光をカプラから取り出して測定するための光スペクトル解析装置(光スペクトラムアナライザ)が必要となると考えられる。光スペクトル解析装置は、FBGの中心周波数シフトに対して十分な周波数分解能を有さないため、温度測定分解能および歪み測定分解能が制限される。

20

#### 【0121】

一般的に、異なる波長の光が異なる光路長を伝搬すると、光の偏光状態は互いに異なることとなる。偏光状態が完全に異なる2つのコム光を干渉させても、十分な強度のビート信号は得られない。例えば、各FBGから反射された第1のコム光と、光ファイバ360に入射させていない第2のコム光とを干渉させることを考える。この場合、各FBGから反射された第1のコム光は、各々異なる光路長を伝搬した各々異なる偏光状態の光を有する。これに対して、第2のコム光はそもそも光ファイバ360に入射させていないので、第1のコム光とは異なる光路長を伝播する。それゆえ、各FBGから反射された第1のコム光と、FBGから反射されていない第2のコム光とを干渉させても十分な強度のビート信号は得られない。

30

#### 【0122】

また、各FBGから反射された第1のコム光の偏光状態を各々全て制御して、第2のコム光の偏光状態に合わせることは原理的に困難である。第2のコム光の偏光状態を制御して、各FBGから反射された第1のコム光の偏光状態の各々と合わせることもまた原理的に困難である。それゆえ、各FBGから反射された第1のコム光とFBGから反射されていない第2のコム光とを干渉させて、十分な強度のビート信号を得ることは原理的に困難である。

40

#### 【0123】

これに対して本例では、第1のコム光および第2のコム光を共に、1以上のFBGを有する光ファイバ360へ入射させる。つまり、第1のコム光および第2のコム光は、同じ光路を伝搬する。また、第1のコム光および第2のコム光は、各FBGからの反射スペクトルの周波数範囲においては、ほぼ等しい波長の光であると見なすことができる。したが

50

って、第1のコム光および第2のコム光は同じ偏光状態であると見なすことができる。

【0124】

なお、変形例として、種光源310として周波数が可変である光源を採用してもよい。これにより、種光源310のレーザ光の周波数 $f_0$ を変化させてよい。ただし、周波数を掃引しながら各FBGの反射スペクトルを測定するのではなく、例えば、周波数 $f_0$  ( $= 1.94 \times 10^2 \text{ THz}$ )を数百MHzから1GHz程度変化させた上で、上述の反射スペクトルの測定を行う。これにより、周波数 $f_0$ のコム光が入射するFBGを、デュアルコム光源部340側において適宜調整することができる。

【0125】

図14は、第5の実施形態における多点型光ファイバセンサ500を示す図である。本例では、光ファイバ360におけるFBGの配置が第1の実施形態と異なる。本例では、サーキュレータ350に近い順に中心周波数が $f_N$ 、 $f_{N-1}$ 、 $f_1$ となるように複数のFBGを配置する。他の点は第1の実施形態と同様である。例えば、第1の実施形態と同様に、1以上のFBGの各々において反射光の周波数スペクトルの中心周波数は互いに異なり、大小関係は $f_1 < f_2 < \dots < f_N$ である。

10

【0126】

第4の実施形態の図10のように、第1のコム光および第2コム光の反射スペクトルの周波数が $f_0$ の近傍であるFBGにおいては、第1のコム光の反射スペクトルと第2コム光の反射スペクトルとはほぼ等しいスペクトルとみなすことができる。それゆえ、ビート信号のスペクトルは、第1のコム光のスペクトルをほぼ正確に反映すると考えられる。

20

【0127】

これに対して、FBG#NのNが大きいほど、第1のコム光の反射スペクトルと第2コム光の反射スペクトルとの周波数差( $10 \cdot N \cdot f$ )は大きくなる。当該周波数差が大きくなるにつれて、第1のコム光および第2コム光の反射スペクトルの周波数差は大きくなる。周波数差が大きいほど、ビート信号は第1のコム光の反射スペクトルを正確には反映しなくなると考えられる。従って、光ファイバ360の歪みまたは温度変化の測定精度は、 $f_N$ よりも $f_1$ の方が高いと考えられる。

【0128】

そこで、本例においては、第1のコム光が入射する位置から離れるに従い中心周波数が小さくなるように、1以上のFBGを光ファイバ360中に配置する。つまり本例では、サーキュレータ350に近い順に、中心周波数が $f_N$ 、 $f_{N-1}$ 、 $f_{N-2}$ 、 $f_1$ となるように複数のFBGを配置する。測定精度の高いFBGほどサーキュレータ350から遠くに配置するので、サーキュレータ350から遠くの位置の光ファイバ360の歪みまたは温度変化ほど高精度に測定することができる。

30

【0129】

図15は、第6の実施形態における多点型光ファイバセンサ600を示す図である。本例では、光ファイバ360におけるFBGの配置が第1の実施形態と異なる。本例では、サーキュレータ350に近い順に中心周波数が $f_1$ 、 $f_N$ 、 $f_2$ 、 $f_{N-1}$ 、 $f_3$ となるように複数のFBGを配置する。他の点は第1の実施形態と同様である。例えば、第1の実施形態と同様に、1以上のFBGの各々において反射光の周波数スペクトルの中心周波数は互いに異なり、 $f_1 < f_2 < \dots < f_N$ である。

40

【0130】

第5の実施形態の説明で述べたように、周波数差が大きいほど、ビート信号は第1のコム光の反射スペクトルを正確には反映しなくなると考えられる。そこで本例では、第1のコム光が入射する位置から離れるに従い中心周波数が常に小さくまたは常に大きくならないように、1以上のFBGを光ファイバ360中に配置する。本例では、サーキュレータ350に近い順に、中心周波数が $f_1$ 、 $f_N$ 、 $f_2$ 、 $f_{N-1}$ 、 $f_3$ となるように複数のFBGを配置する。測定精度の高いFBGを光ファイバ360中に分散して配置するので、光ファイバ360の歪みまたは温度変化を全体に渡って高精度に測定することができる。なお、中心周波数の配置は本例の $f_1$ 、 $f_N$ 、 $f_2$ 、 $f_{N-1}$ 、 $f_3$ の配置に限定

50

されず、任意に定めてもよい。

【0131】

図16は、第7の実施形態における多点型光ファイバセンサ700を示す図である。本例では、第1のコム光および第2のコム光を共に光ファイバ360に入射させず、第1のコム光のみを光ファイバ360に入射させる。また、光ファイバ360は、周囲環境によって分光特性が変化する2以上の反射点を有する。さらに、本例の多点型光ファイバセンサ700は、第2のコム光発生器330と測定器390との間にデポライザ365および合波用カプラ370を有する。この点において、上述の第1から第6の実施形態と異なる。他の点においては第4の実施形態と同様である。

【0132】

第1のコム光は、光ファイバ360の各FBGから反射されて、光サーキュレータ350を介して合波用カプラ370に入射する。デポライザ365は、第2のコム光の偏光状態をランダムにする。つまり、デポライザ365は、第2のコム光を非偏光状態にする。各FBGから反射された第1のコム光と非偏光状態の第2のコム光とは、合波用カプラ370で合波される。測定器390は合波されたビート信号を測定する。

【0133】

本例では、第1のコム光と第2のコム光とは、合波されるまでの過程において光路長が異なる。ただし本例においては、第2のコム光はデポライザ365により非偏光状態にされている。つまり、第2のコム光はあらゆる状態の偏光を均等に含んだ光であるので、第1のコム光の偏光状態と一致する偏光を必ず含む。それゆえ、第1のコム光と第2のコム光との偏光状態が完全に異なり、十分なビート信号の強度が得られないという事態を回避することができる。なお、本例においても、第2および第3の実施形態におけるFBGの配置を適用することができる。

【0134】

図17は、第8の実施形態における多点型光ファイバセンサ500を示す図である。本例は、第4の実施形態の変形例である。本例では、反射スペクトルではなく透過スペクトルを測定する。本例では、光ファイバ360における1以上のFBGから透過された第1のコム光および第2のコム光は、合波されてビート信号となる。これを実現する為に、光サーキュレータ350に代えて、光ファイバ360の一端とデュアルコム光源部340との間に合波用カプラ370および光アイソレータ395を設ける。また、光ファイバ360の他端に測定器390を設ける。その他デュアルコム光源部340等の構成は、第4の実施形態における多点型光ファイバセンサ400と同じである。

【0135】

第1のコム光および第2のコム光は、光アイソレータ395から測定器390へ進む。各FBGは、各中心周波数に対応する光を主に反射する。光アイソレータ395は、各FBGから反射された光を遮断する。光アイソレータ395は、各FBGから反射された光をデュアルコム光源部340に再度入射させず、かつ、各FBGから反射された光を測定器390へ再度反射しない。したがって、第1のコム光および第2のコム光のうち、各FBGで反射されなかったスペクトルが測定器390において測定される。

【0136】

図18は、FBG#1を透過した第1のコム光の透過スペクトルと、FBG#1を透過した第2のコム光の透過スペクトルと、第1のコム光と第2のコム光とのビート信号との関係を示す図である。上段の第1のコム光は、横軸が周波数であり縦軸が光の強度である。FBG#1の透過スペクトルは、第1のコム光で反射された複数の周波数ピーク以外の周波数ピークを反映したスペクトルを有する。本例において、FBG#1の透過スペクトルの最も低周波が、種コム光の周波数 $f_0$ となるようにFBG#1を設定した。ただし、周波数 $f_0$ がどのFBGの透過スペクトルに含まれるかは任意に設定してよく、上述の例に限定した設定としなくともよい。なお本例では、周波数 $f_0$ を1つ目にして8つ目と9つ目との間にFBG#1の中心周波数 $f_1$ が位置している。

【0137】

10

20

30

40

50

中段の第2のコム光は、横軸が周波数であり縦軸が光の強度である。第2のコム光の周波数ピークの1つは周波数 $f_0$ で第1のコム光の周波数ピークと一致する。また、第2のコム光の周波数ピークは周波数 $f_0$ から離れるにつれて第1のコム光の周波数ピークとの差が大きくなる。

【0138】

下段の第1のコム光と第2のコム光とのビート信号は、横軸が周波数であり縦軸が光の強度である。ビート信号の周波数は周波数 $f_0$ に比べて格段に小さく、かつ、ビート信号の形状はFBG#1の透過スペクトルと相似形状である。それゆえ、ビート信号の強度に応じた電気信号を測定することにより、FBG#1の透過スペクトルを間接的に測定することができる。透過光と反射光とは表裏の関係にある。したがって、光ファイバ360の歪みおよび温度変化等の周囲環境に応じた反射スペクトルの中心周波数の周波数変化を知ることができる。

10

【0139】

本例においても、従来例(図22)の広帯域スペクトルを有する光源を使用しない。つまり、本例においても、広帯域スペクトル光源と比較してSN比が非常に高いので、使用する光ファイバ360の長さを広帯域スペクトル光源の場合よりも長くすることができる。加えて、本例においても、従来例(図23)とは異なり、時間に対して光周波数の線形掃引を行わない。よって、反射光の測定後に測定装置において複雑な信号処理が不要である。加えて、線形掃引に伴う周波数の不連続な変化も生じない。よって、光源側において複雑な補正処理が不要となる。さらに、本例では2つのコム光発生器を用いるのに対して、従来例(図24)ではコム光発生器を1つしか用いない。また、従来例(図24)は、コム光の周波数間隔を掃引することにより各FBGの位置を特定して、その上で、各FBGに加えられた歪みに起因するブラッグ波長シフトを測定する。それゆえ、従来例(図24)においてもブラッグ波長シフトを測定するには、別途、周波数掃引が必要となるか、光ファイバからの反射光をカプラから取り出して測定するための光スペクトル解析装置(光スペクトラムアナライザ)が必要となると考えられる。光スペクトル解析装置は、FBGの中心周波数シフトに対して十分な周波数分解能を有さないため、温度測定分解能および歪み測定分解能が制限される。

20

【0140】

なお本例では、第1のコム光および第2のコム光における各16個の周波数ピークを用いた。しかしながら、用いる周波数ピークの数には16個に限定されない。半値幅である26GHzの範囲に位置する、周波数 $f_0$ を1つ目として4つ目から13番目の周波数ピークを用いてもよい。また、透過スペクトルの強度が相対的に大きいので、周波数 $f_0$ を1つ目として1つ目から3つ目および14番目から16番目の周波数ピークを用いてもよい。

30

【0141】

透過スペクトルを測定する第8の実施形態においても、第5実施形態および第6実施形態におけるFBGの配置を適用してよい。また、種光源310のレーザ光の周波数 $f_0$ を変化させる構成、ならびに、第1のコム光発生器320が少なくとも第1の位相変調器322および第1の強度変調器323のいずれかを含む構成等、第4の実施形態の構成を適用してもよい。

40

【0142】

図19は、第9の実施形態における多点型光ファイバセンサ600を示す図である。本例は、第7の実施形態の変形例である。本例では、反射スペクトルではなく透過スペクトルを測定する。本例では、第1のコム光および第2のコム光を共に光ファイバ360に入射させず、第1のコム光のみを光ファイバ360に入射させる。また、光ファイバ360は、周囲環境によって分光特性が変化する2以上の反射点を有する。本例の多点型光ファイバセンサ600は、第2のコム光発生器330と測定器390との間にデポライザ365および合波用カプラ370を有する。

【0143】

50

第1のコム光のうち各FBGを透過したコム光は、合波用カプラ370に入射する。第2のコム光は、デポライザ365に入射する。デポライザ365の機能は、第7の実施形態で上述した通りである。各FBGから透過された第1のコム光と非偏光状態の第2のコム光とは、合波用カプラ370で合波される。測定器390は合波されたビート信号を測定する。

【0144】

第7の実施形態と同様に本例においても、第1のコム光と第2のコム光との偏光状態が完全に異なり、十分なビート信号の強度が得られないという事態を回避することができる。また、第9の実施形態においても、第5実施形態および第6実施形態におけるFBGの配置を適用してよい。種光源310のレーザ光の周波数 $f_0$ を変化させる構成、ならびに、第1のコム光発生器320が少なくとも第1の位相変調器322および第1の強度変調器323のいずれかを含む構成等、第4の実施形態における特徴を適用してもよい。

10

【0145】

なお、上述した全ての実施形態では、第2のコム光の周波数間隔が第1のコム光の周波数間隔よりも $f$ だけ大きい例を説明した。しかしながら、第1のコム光の周波数間隔を第2のコム光の周波数間隔よりも $f$ だけ大きいとしてもよい。当該変更によっても、本明細書に記載の発明の原理は何ら変更されるものではない。当該変更も、本明細書に記載の発明の範囲に含まれることは自明である。

【0146】

以上、本発明を実施の形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施の形態に記載の範囲には限定されない。上記実施の形態に、多様な変更又は改良を加えることが可能であることが当業者に明らかである。その様な変更又は改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、請求の範囲の記載から明らかである。

20

【0147】

請求の範囲、明細書、および図面中において示した装置、システム、プログラム、および方法における動作、手順、ステップ、および段階等の各処理の実行順序は、特段「より前に」、「先立って」等と明示しておらず、また、前の処理の出力を後の処理で用いるのでない限り、任意の順序で実現しうることに留意すべきである。請求の範囲、明細書、および図面中の動作フローに関して、便宜上「まず」、「次に、」等を用いて説明したとしても、この順序で実施することが必須であることを意味するものではない。

30

【符号の説明】

【0148】

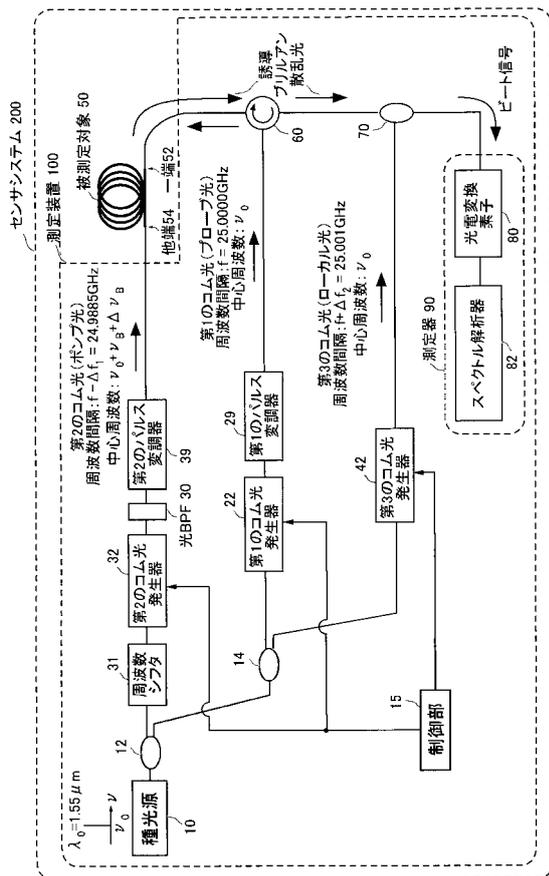
10 種光源、12 第1の分波用カプラ、14 第2の分波用カプラ、15 制御部、21 周波数シフタ、22 第1のコム光発生器、23 第1の位相変調器、24 第1の強度変調器、25 増幅器、26 信号発生器、27 分散補償用ファイバ、28 高非線形ファイバ、29 第1のパルス変調器、30 光BPF、31 周波数シフタ、32 第2のコム光発生器、33 第2の位相変調器、34 第2の強度変調器、35 増幅器、36 信号発生器、37 分散補償用ファイバ、38 高非線形ファイバ、39 第2のパルス変調器、41 周波数シフタ、42 第3のコム光発生器、43 第3の位相変調器、44 第3の強度変調器、45 増幅器、46 信号発生器、47 分散補償用ファイバ、48 高非線形ファイバ、50 被測定対象、52 一端、54 他端、56 制御ゲート、58 制御ゲート、60 サークュレータ、65 デポライザ、70 合波用カプラ、80 光電変換素子、82 スペクトル解析器、90 測定器、100 測定装置、110 測定装置、120 測定装置、150 光ファイバ、151 第1の光ファイバ、152 第2の光ファイバ、153 光ファイバコア、154 クラッド、155 被覆部、156 応力付与部、200 センサシステム、210 センサシステム、220 センサシステム、310 種光源、312 分波用カプラ、315 制御部、320 第1のコム光発生器、322 第1の位相変調器、323 第1の強度変調器、324 増幅器、326 信号発生器、328 分散補償用ファイバ、329 高非線形ファイバ、330 第2のコム光発生器、332 第2の位相変調器、333 第

40

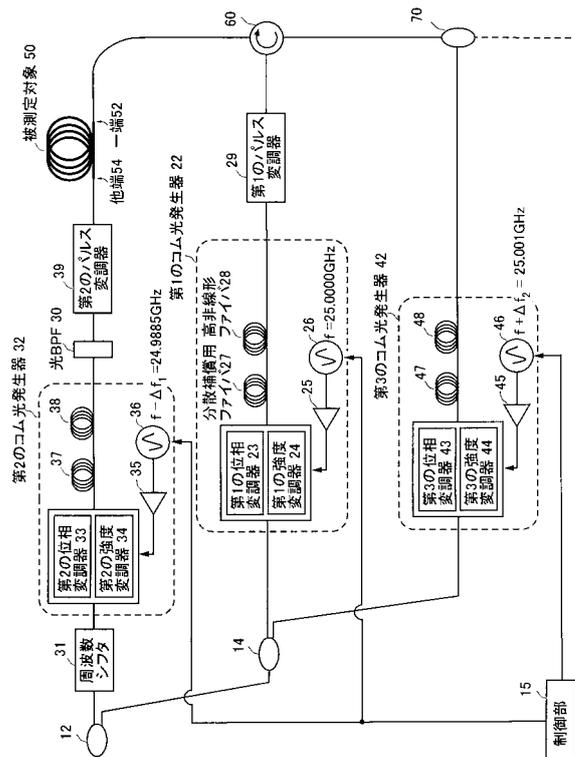
50

2の強度変調器、334 増幅器、336 信号発生器、338 分散補償用ファイバ、  
 339 高非線形ファイバ、340 デュアルコム光源部、350 サークュレータ、3  
 60 光ファイバ、365 デポライザ、370 合波用カプラ、380 光电変換素  
 子、385 スペクトル解析装置、390 測定器、395 光アイソレータ、400  
 多点型光ファイバセンサ、500 多点型光ファイバセンサ、600 多点型光ファイバ  
 センサ、700 多点型光ファイバセンサ

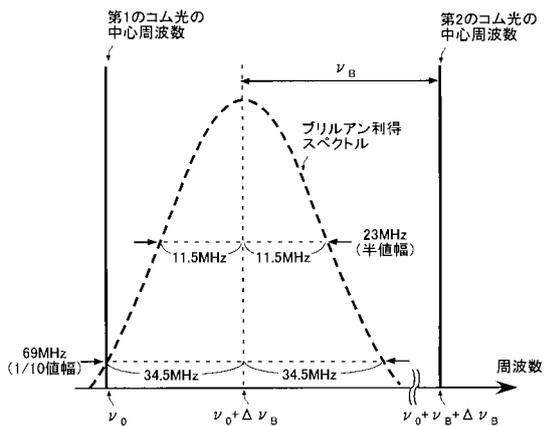
【図1】



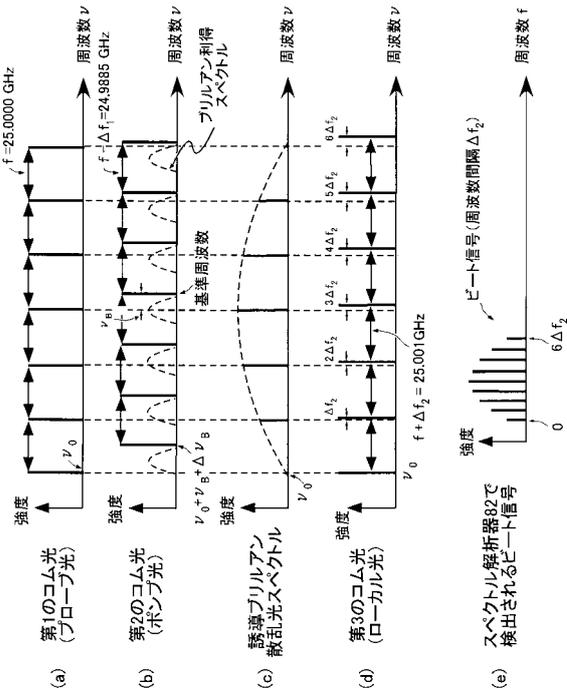
【図2】



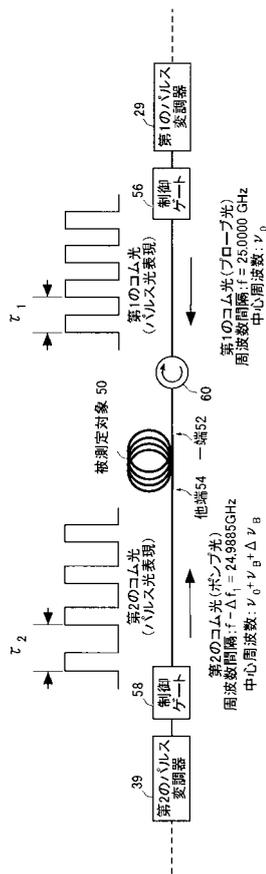
【 図 3 】



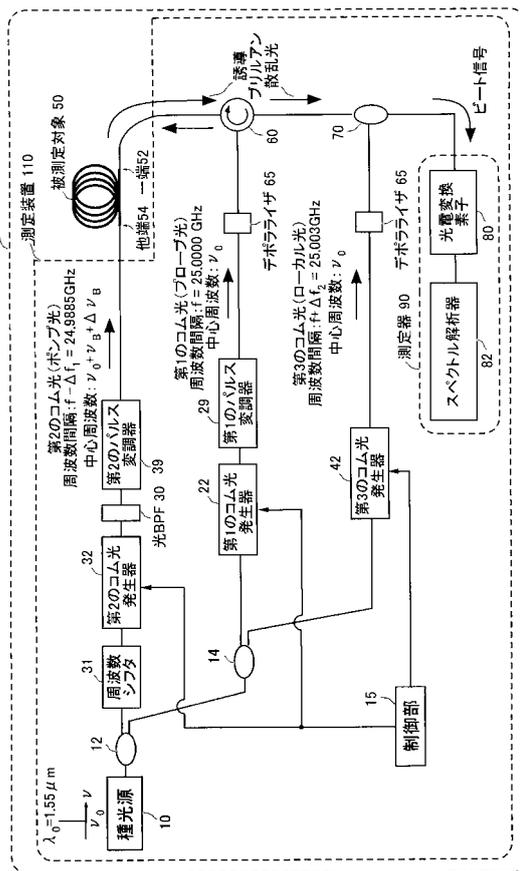
【 図 4 】



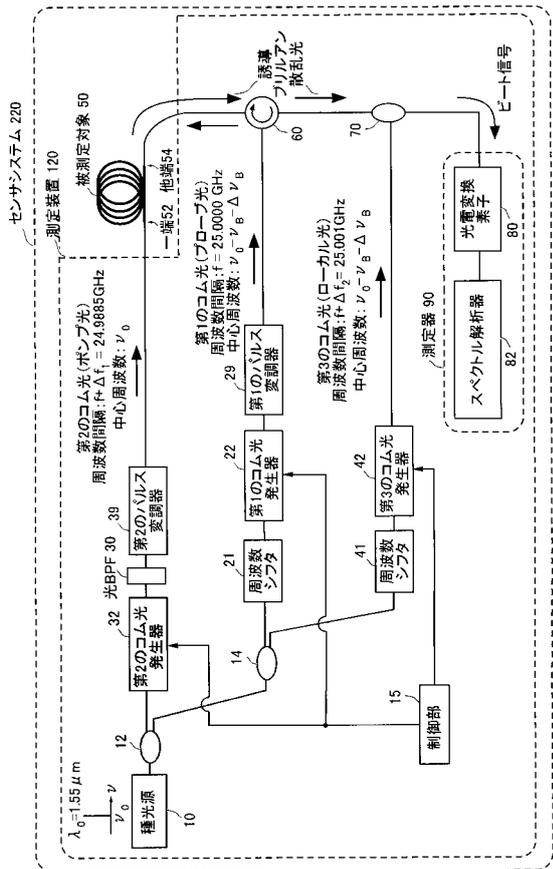
【 図 5 】



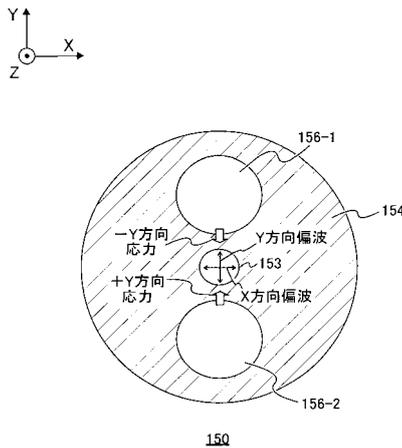
【 図 6 】



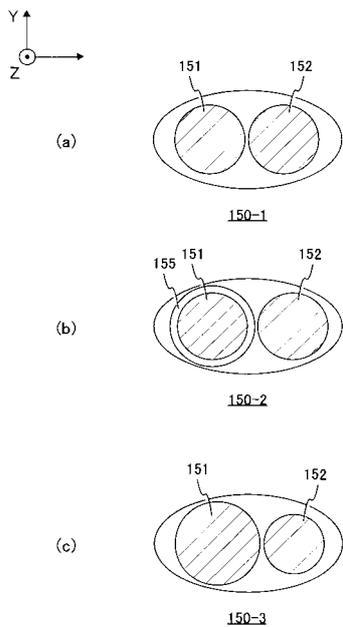
【図7】



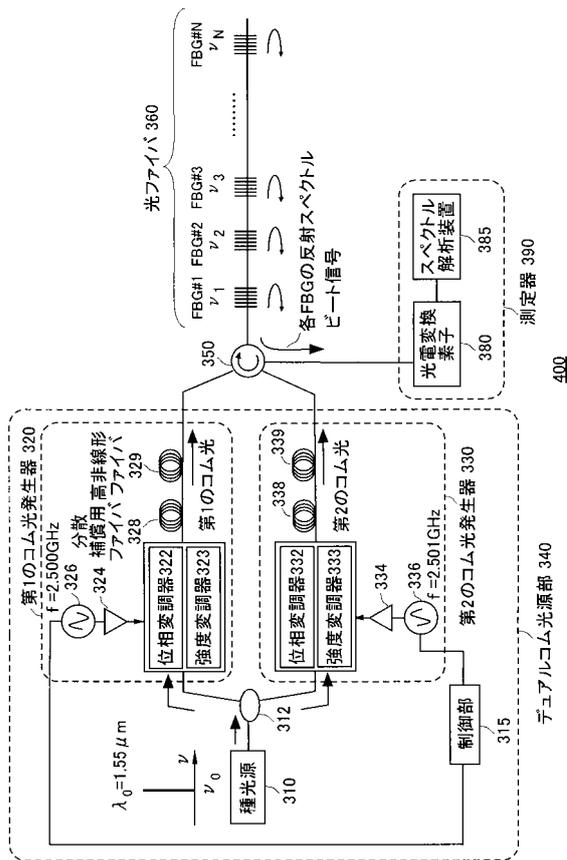
【図8】



【図9】

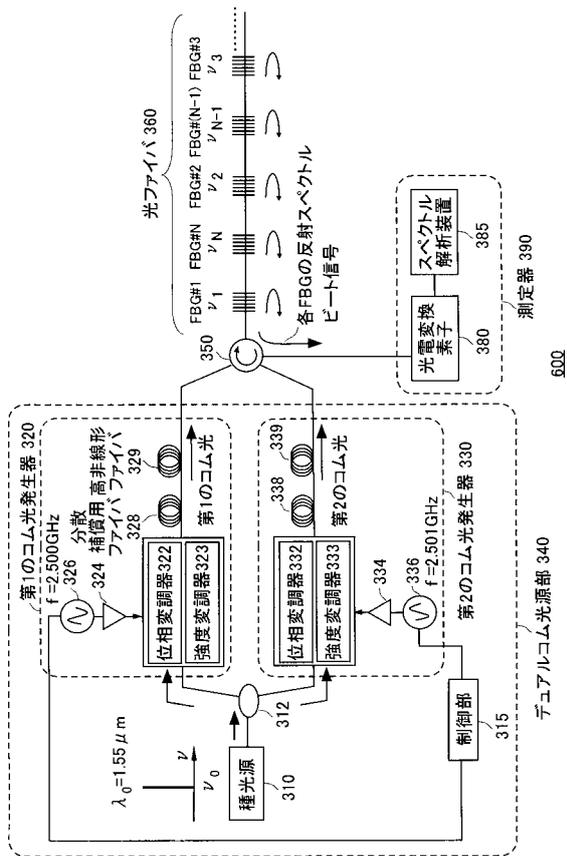


【図10】

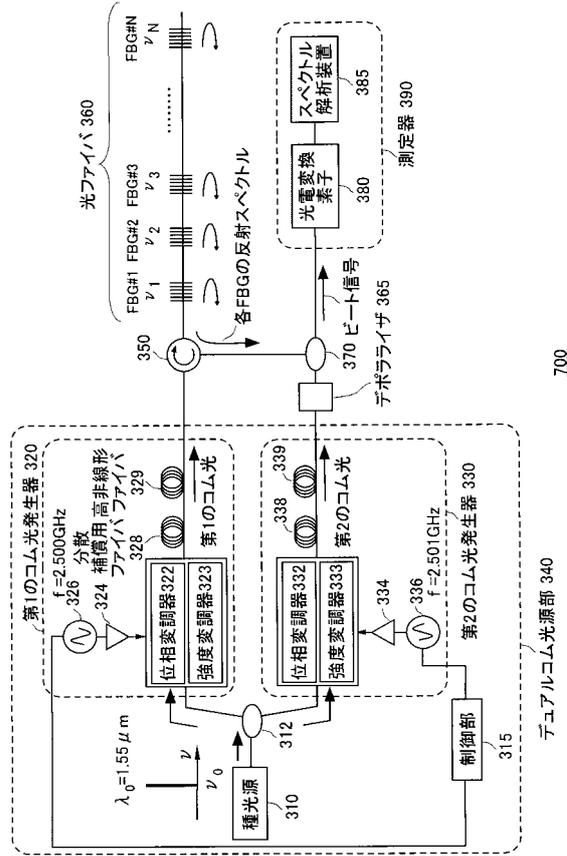




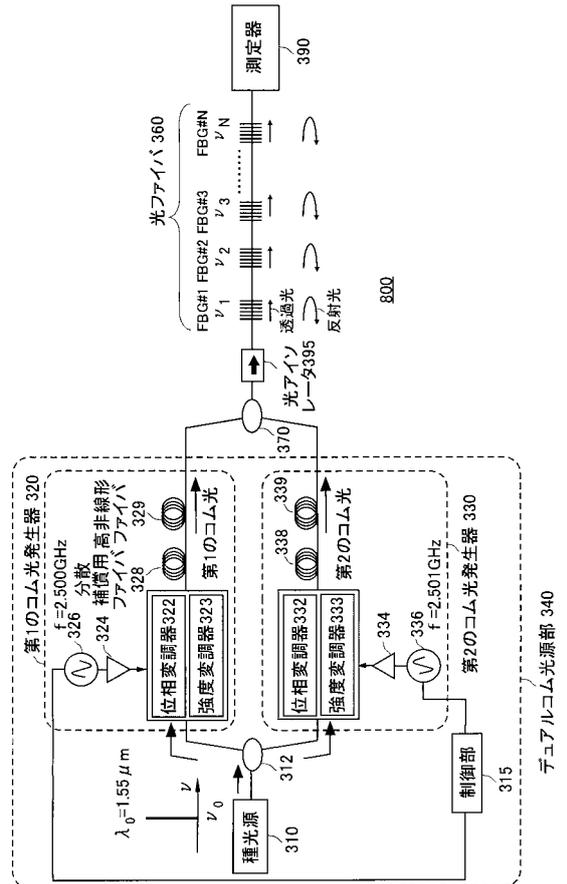
【図15】



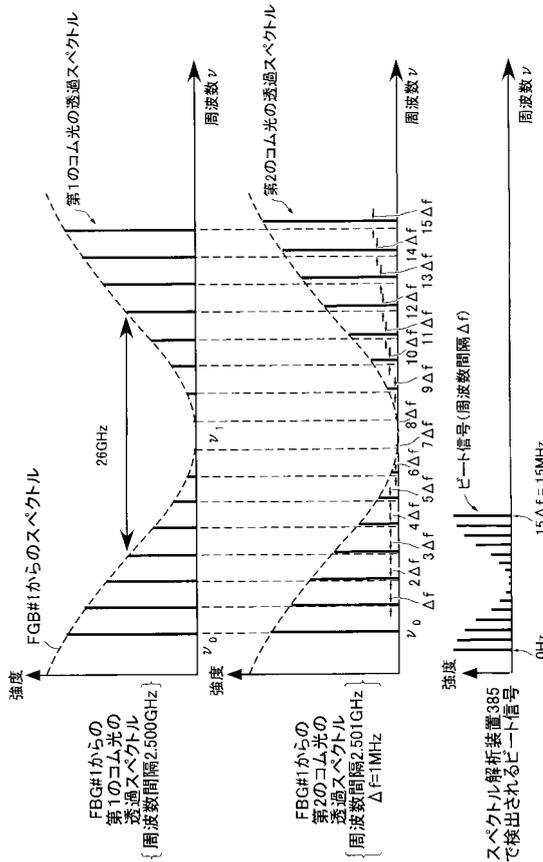
【図16】



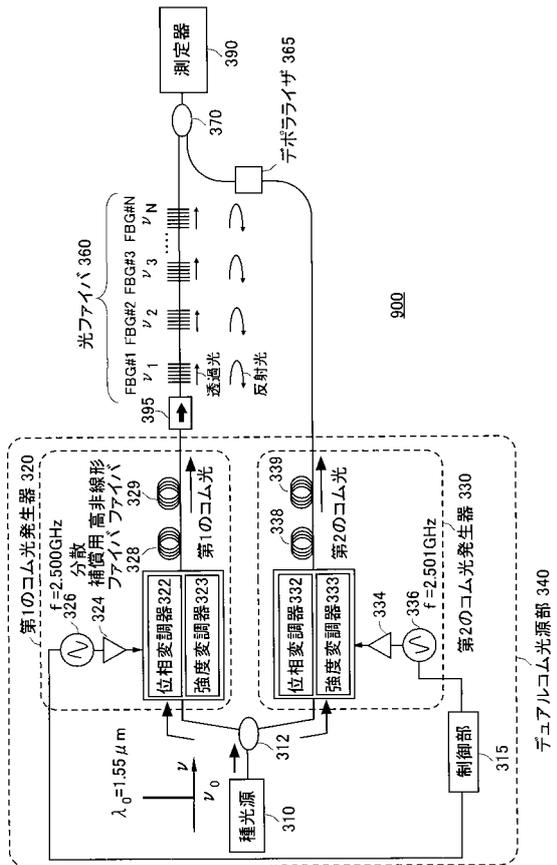
【図17】



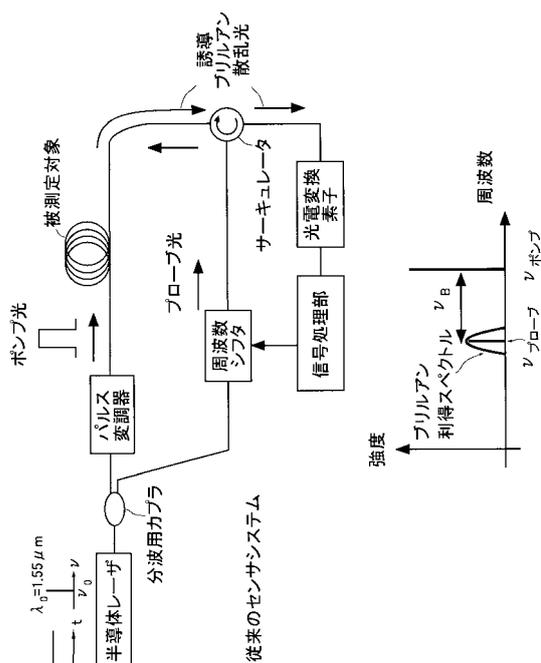
【図18】



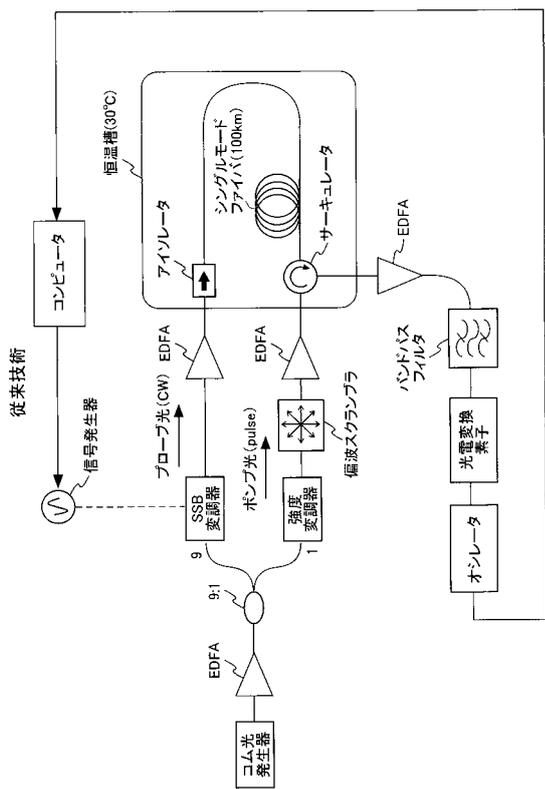
【図 19】



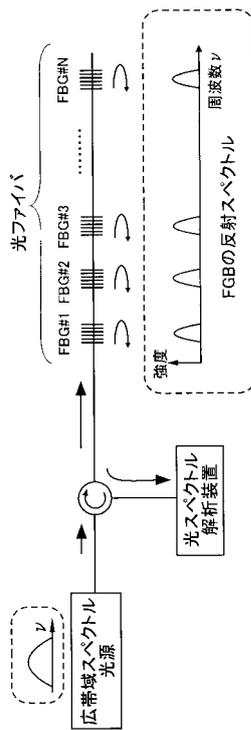
【図 20】



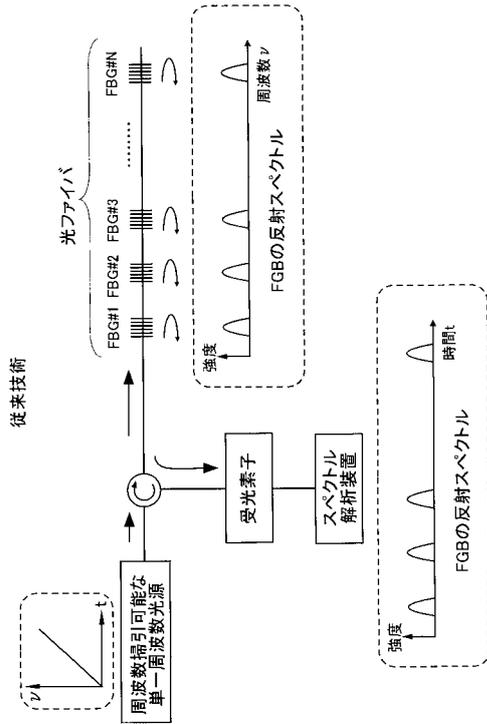
【図 21】



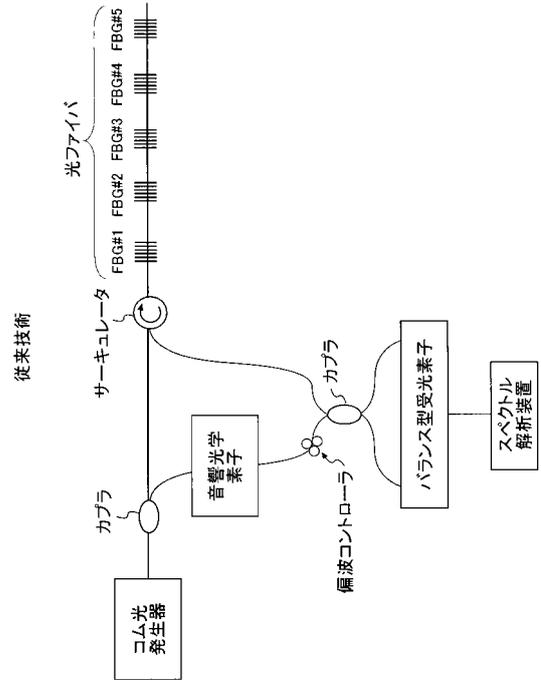
【図 22】



【 図 2 3 】



【 図 2 4 】



【 手続補正書 】

【 提出日 】平成28年4月21日 (2016.4.21)

【 手続補正 1 】

【 補正対象書類名 】特許請求の範囲

【 補正対象項目名 】全文

【 補正方法 】変更

【 補正の内容 】

【 特許請求の範囲 】

【 請求項 1 】

被測定対象に周波数間隔の異なる2つのコム光を入射するコム光源と、  
前記被測定対象から出力される光を測定する測定部と

を備え、

前記コム光源は、

第1のコム光を生成して前記被測定対象の一端に入力する第1のコム光発生器と、

前記第1のコム光に対して、基準周波数が前記被測定対象のブリルアンシフト周波数だけシフトしており、且つ、周波数間隔が異なる第2のコム光を生成して前記被測定対象の他端に入力する第2のコム光発生器と

を有し、

前記測定部は、

前記被測定対象から出力される誘導ブリルアン散乱光のスペクトルを測定する測定器であり、

前記被測定対象における誘導ブリルアン散乱光の利得スペクトルを測定する測定装置。

【 請求項 2 】

( 削除 )

**【請求項 3】**

前記第 1 のコム光と基準周波数が同一であり、且つ、周波数間隔が異なる第 3 のコム光を生成する第 3 のコム光発生器を更に備え、

前記測定器は、前記誘導ブリルアン散乱光と前記第 3 のコム光とのビート信号を測定する

請求項 1 に記載の測定装置。

**【請求項 4】**

前記第 1 のコム光発生器、前記第 2 のコム光発生器および前記第 3 のコム光発生器は、同一の種光源から生成される単一波長のレーザ光を元に、それぞれ前記第 1 のコム光、前記第 2 のコム光および前記第 3 のコム光を生成する

請求項 3 に記載の測定装置。

**【請求項 5】**

前記第 1 のコム光発生器は、時間軸における波形がパルス状の前記第 1 のコム光を生成し、前記第 2 のコム光発生器は、時間軸における波形がパルス状の前記第 2 のコム光を生成する

請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の測定装置。

**【請求項 6】**

前記第 1 のコム光の 2 以上のパルスをそれぞれ含む 2 以上のパルス群間の周期を調整する第 1 のパルス変調器と、

前記第 2 のコム光の 2 以上のパルスをそれぞれ含む 2 以上のパルス群間の周期を調整する第 2 のパルス変調器と

を更に備える請求項 5 に記載の測定装置。

**【請求項 7】**

前記第 1 のパルス変調器および前記第 2 のパルス変調器は、前記第 1 のコム光の前記 2 以上のパルス群間の周期と前記第 2 のコム光の前記 2 以上のパルス群間の周期とを異ならせて、前記第 1 のコム光のパルス群と前記第 2 のコム光のパルス群とが重なる前記被測定対象における位置を順次変化させ、

前記測定器は、前記被測定対象の各位置における前記誘導ブリルアン散乱光のスペクトルの分布を測定する

請求項 6 に記載の測定装置。

**【請求項 8】**

前記第 1 のコム光および前記第 2 のコム光の周波数間隔の差は、前記被測定対象のブリルアン利得スペクトルの幅よりも小さい

請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の測定装置。

**【請求項 9】**

前記第 1 のコム光および前記第 2 のコム光の周波数間隔は、いずれも前記被測定対象のブリルアン利得スペクトルの幅の 2 倍よりも大きい

請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の測定装置。

**【請求項 10】**

前記被測定対象は、前記被測定対象の歪み変化および温度変化を測定するために用いられる第 1 の光ファイバと第 2 の光ファイバとを有する

請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の測定装置。

**【請求項 11】**

請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の測定装置と、

前記被測定対象と

を備えるセンサシステム。

**【請求項 12】**

(削除)

**【請求項 13】**

被測定対象に周波数間隔の異なる 2 つのコム光を入射するコム光源と、

前記被測定対象から出力される光を測定する測定部とを備え、

前記コム光源は、互いに同期し、かつ、周波数間隔が異なる第1のコム光および第2のコム光を生成するデュアルコム光源部を有し、

前記被測定対象は、周囲環境によって分光特性が変化する1以上の反射点を有し、前記第1のコム光および前記第2のコム光が入射する光ファイバであり、

前記測定部は、前記1以上の反射点から反射または透過された前記第1のコム光および前記第2のコム光のビート信号を測定する測定器であり、

多点型光ファイバセンサとして機能し、

前記1以上の反射点は、1以上のファイバー・ブラッグ・グレーティングであり、

前記1以上のファイバー・ブラッグ・グレーティングの各々において、反射光の周波数スペクトルの中心周波数は互いに異なる測定装置。

【請求項14】

被測定対象に周波数間隔の異なる2つのコム光を入射するコム光源と、

前記被測定対象から出力される光を測定する測定部とを備え、

前記コム光源は、互いに同期し、かつ、周波数間隔が異なる第1のコム光および第2のコム光を生成するデュアルコム光源部を有し、

前記被測定対象は、周囲環境によって分光特性が変化する1以上の反射点を有し、前記第1のコム光および前記第2のコム光が入射する光ファイバであり、

前記測定部は、前記1以上の反射点から反射または透過された前記第1のコム光および前記第2のコム光のビート信号を測定する測定器であり、

多点型光ファイバセンサとして機能し、

前記1以上の反射点は、1以上のファイバー・ブラッグ・グレーティングであり、

前記1以上のファイバー・ブラッグ・グレーティングの各々の反射帯域幅は、前記第1のコム光の複数の周波数ピークが収まる幅を有する、測定装置。

【請求項15】

被測定対象に周波数間隔の異なる2つのコム光を入射するコム光源と、

前記被測定対象から出力される光を測定する測定部とを備え、

前記コム光源は、互いに同期し、かつ、周波数間隔が異なる第1のコム光および第2のコム光を生成するデュアルコム光源部を有し、

前記被測定対象は、周囲環境によって分光特性が変化する1以上の反射点を有し、前記第1のコム光および前記第2のコム光が入射する光ファイバであり、

前記測定部は、前記1以上の反射点から反射または透過された前記第1のコム光および前記第2のコム光のビート信号を測定する測定器であり、

多点型光ファイバセンサとして機能し、

前記1以上の反射点は、1以上のファイバー・ブラッグ・グレーティングであり、

前記第1のコム光および前記第2のコム光は、

第1のファイバー・ブラッグ・グレーティングで反射する周波数ピークと、

前記第1のファイバー・ブラッグ・グレーティングとは異なる第2のファイバー・ブラッグ・グレーティングで反射する周波数ピークとを有する、測定装置。

【請求項16】

前記1以上のファイバー・ブラッグ・グレーティングは、前記第1のコム光が入射する位置から離れるに従い前記中心周波数が大きくなるように前記光ファイバ中に配置される、請求項13に記載の測定装置。

【請求項17】

前記1以上のファイバー・ブラッグ・グレーティングは、前記第1のコム光が入射する位置から離れるに従い前記中心周波数が小さくなるように前記光ファイバ中に配置される

、請求項 13 に記載の測定装置。

【請求項 18】

前記 1 以上のファイバー・ブラッグ・グレーティングは、前記第 1 のコム光が入射する位置から離れるに従い前記中心周波数が常に小さくまたは常に大きくならないように前記光ファイバ中に配置される、請求項 13 に記載の測定装置。

【請求項 19】

互いに同期し、かつ、周波数間隔が異なる第 1 のコム光および第 2 のコム光を生成するデュアルコム光源部と、

周囲環境によって分光特性が変化する 2 以上の反射点を有し、前記第 1 のコム光が入射する光ファイバと、

前記 2 以上の反射点から反射または透過された前記第 1 のコム光と、非偏光状態の前記第 2 のコム光とのビート信号を測定する測定器と

を備え、

多点型光ファイバセンサとして機能する測定装置。

【請求項 20】

前記デュアルコム光源部は、

単一波長のレーザ光を出射する種光源と、

前記種光源の前記レーザ光から前記第 1 のコム光を生成する第 1 のコム光発生器と、

前記種光源の前記レーザ光から前記第 2 のコム光を生成する第 2 のコム光発生器と

を有する、

請求項 13 から 19 のいずれか一項に記載の測定装置。

【請求項 21】

前記種光源の前記レーザ光の周波数を変化させる、請求項 20 に記載の測定装置。

【請求項 22】

前記第 1 のコム光発生器は、少なくとも第 1 の位相変調器および第 1 の強度変調器のいずれかを有し、

前記第 2 のコム光発生器は、少なくとも第 2 の位相変調器および第 2 の強度変調器のいずれかを有し、

少なくとも前記第 1 の位相変調器および前記第 1 の強度変調器のいずれかと、少なくとも前記第 2 の位相変調器および前記第 2 の強度変調器のいずれかとは同期制御される、請求項 20 または 21 に記載の測定装置。

## 【 国際調査報告 】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/082318

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> G01D5/353(2006.01)i, G01B11/16(2006.01)i, G01K11/32(2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01D5/00-62, G01D21/00-02, G01B11/00-30, G01K11/00-32, G01L1/00-26		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2016 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2016 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2016		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
<b>Category*</b>	<b>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</b>	<b>Relevant to claim No.</b>
X Y A	JP 2010-531444 A (Université Laval), 24 September 2010 (24.09.2010), paragraphs [0020] to [0024]; fig. 1 to 3 & US 2011/0043815 A1 paragraphs [0029] to [0032]; fig. 1 to 3 & WO 2009/000079 A1	1, 11 10, 12, 13, 20-22 2-9, 14-19
X Y A	JP 2011-529180 A (Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)), 01 December 2011 (01.12.2011), paragraphs [0022] to [0029], [0033]; fig. 1, 2, 9 & US 2011/0261363 A1 paragraphs [0038] to [0045], [0049]; fig. 1, 2, 9	1, 11 10, 12, 13, 20-22 2-9, 14-19
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 "&" document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search 09 February 2016 (09.02.16)		Date of mailing of the international search report 23 February 2016 (23.02.16)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer  Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/082318

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	Naoya KUSE, Akira OZAWA, Yohei KOBAYASHI, "Ko Bunkaino Dual-Comb Bunko System no FBG Hizumi Sensor eno Oyo", Dai 73 Kai Extended Abstracts; the Japan Society of Applied Physics, 27 August 2012 (27.08.2012), page 03-047	10, 12, 13, 20-22
Y	Mitsutaka ITO et al., "Dual-comb spectroscopy using FP-EOM and optical frequency shifter", The 61st JSAP Spring Meeting Koen Yokoshu, 03 March 2014 (03.03.2014), page 4-228	20-22
A	JP 2011-529175 A (Thales), 01 December 2011 (01.12.2011), paragraph [0037]; fig. 5 & WO 2010/009951 A1 & US 2011/0122417 A1 paragraph [0053]; fig. 5 & FR 2934365 A & KR 10-2011-0052586 A	1-22
A	JP 2012-021921 A (Sumitomo Osaka Cement Co., Ltd.), 02 February 2012 (02.02.2012), paragraphs [0028] to [0034], [0041] to [0048]; fig. 4, 5(a) to (e) (Family: none)	1-22

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/082318

**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.:  
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:
  
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:

On account of the following reason, this international application involves three inventions which do not comply with the requirement of unity of invention.

Main invention (claims 1, 2-9, 11), Second invention (claim 10), Third invention (claims 12-22)  
(Continued to extra sheet)

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 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 SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2015/082318

Continuation of Box No. III of continuation of first sheet (2)

The technical feature common to the inventions of claims 1-22 is a measuring device that is provided with: an optical comb source for producing a first optical comb and a second optical comb which are different from each other in frequency spacing; an object to be measured on which the first optical comb is incident; and a measurement unit for measuring light to be outputted at least from the object being measured.

However, it has been revealed that the above-said common technical feature is disclosed in JP 2011-529180 A (Centre National de la Recherche Scientifique "CNRS"), 01 December 2011 (01.12.2011), paragraphs [0022] to [0029], [0033], fig. 1, 2, 9 & US 2011/0261363 A1, paragraphs [0038] to [0045], [0049], fig. 1, 2, 9, and JP 2010-531444 A (Universite Laval), 24 September 2010 (24.09.2010), paragraphs [0020] to [0024], fig. 1 to 3 & US 2011/0043815 A1, paragraphs [0029] to [0032], fig. 1 to 3 as prior art, and therefore is not novel.

Consequently, the technical feature which is common to claims 1-22 cannot be considered to be a "special technical feature" within the meaning of PCT Rule 13.2, second sentence.

The main inventions (claims 1, 2-9, 11) have a special technical feature, i.e., "a measuring device for measuring the gain spectrum of stimulated Brillouin scattered light from the object being measured, wherein the optical comb source has a first optical comb generator for generating a first optical comb so as to enter the same into one end of the object being measured, and a second optical comb generator for generating a second optical comb so as to enter the same into the other end of the object being measured, the second optical comb having, relative to the first optical comb, a reference frequency shifted by the Brillouin shift frequency of the object being measured and a different frequency spacing; and the measurement unit is a measuring instrument for measuring the spectrum of the stimulated Brillouin scattered light outputted from the object being measured."

Meanwhile, although the inventions of claims 1 and 11 have no special technical feature, it has been decided that said claims are included in Main invention.

The second invention (claim 10) has a special technical feature, i.e., a measuring device wherein "the object being measured has a first optical fiber and a second optical fiber that are used to measure changes in strain and temperature of the object being measured."

The third invention (claims 12-22) has a special technical feature, i.e., a measuring device provided with: "a dual optical comb source unit for generating a first optical comb and a second optical comb which are synchronized with each other and different from each other in frequency spacing; an optical fiber which has one or more reflection points that vary in spectral property depending on an ambient environment and on which the first optical comb is incident; and a measuring instrument for measuring a beat signal of the first optical comb reflected or transmitted from the one or more reflection points and the second optical comb containing polarized light having a polarization state that coincides with that of the first optical comb, the measuring device serving as a multi-point optical fiber sensor."

As said above, it is not considered that there is a technical relationship involving one or more of the same or corresponding special technical features among said main invention, second invention and third invention.

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 5 / 0 8 2 3 1 8													
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01D5/353(2006,01)i, G01B11/16(2006,01)i, G01K11/32(2006,01)i															
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01D5/00-62, G01D21/00-02, G01B11/00-30, G01K11/00-32, G01L1/00-26															
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2016年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2016年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2016年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2016年	日本国実用新案登録公報	1996-2016年	日本国登録実用新案公報	1994-2016年				
日本国実用新案公報	1922-1996年														
日本国公開実用新案公報	1971-2016年														
日本国実用新案登録公報	1996-2016年														
日本国登録実用新案公報	1994-2016年														
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)															
C. 関連すると認められる文献															
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号													
X Y A	JP 2010-531444 A (ユニバーシテ ラバル) 2010.09.24, [0020]-[0024]、図1-3 & US 2011/0043815 A1, [0029]-[0032], FIG.1-3 & WO 2009/000079 A1	1, 11 10, 12, 13, 20-22 2-9, 14-19													
X Y A	JP 2011-529180 A (サントル ナシオナル ドウ ラ ルシエ ルシエ サ イアンティフィク (セエヌエールエス)) 2011.12.01, [0022]-[0029], [0033]、図1, 2, 9 & US 2011/0261363 A1, [0038]-[0045], [0049], FIG. 1, 2, 9	1, 11 10, 12, 13, 20-22 2-9, 14-19													
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。															
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>の日の後に公表された文献</td> </tr> <tr> <td>「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの</td> <td>「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</td> <td>「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)</td> <td>「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td>「&amp;」同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願</td> <td></td> </tr> </table>				* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献	「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献	「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	
* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献														
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの														
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの														
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの														
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献														
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願															
国際調査を完了した日 09.02.2016		国際調査報告の発送日 23.02.2016													
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 榮永 雅夫 電話番号 03-3581-1101 内線 3216	2F 8706												

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 5 / 0 8 2 3 1 8
C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	久世 直也, 小澤 陽, 小林 洋平, 「高分解能デュアルコム分光システムのFBG歪センサーへの応用」, 第73回応用物理学学会学術講演会講演予稿集, 2012.08.27, 03-047 頁	10, 12, 13, 20-22
Y	伊藤充貴 外6名, 「フアブリ・ペロー電気光学変調器と波長シフトを用いたデュアルコム分光」, 第61回応用物理学学会春季学術講演会講演予稿集, 2014.03.03, 4-228 頁	20-22
A	JP 2011-529175 A (テールズ) 2011.12.01, [0037]、図5 & WO 2010/009951 A1 & US 2011/0122417 A1, [0053], FIG. 5 & FR 2934365 A & KR 10-2011-0052586 A	1-22
A	JP 2012-021921 A (住友大阪セメント株式会社) 2012.02.02, [0028]-[0034], [0041]-[0048]、 図4, 5 (a) - (e) (ファミリーなし)	1-22

国際調査報告

国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 5 / 0 8 2 3 1 8

## 第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1.  請求項 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査することを要しない対象に係るものである。つまり、
2.  請求項 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3.  請求項 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

以下の理由により、この国際出願は発明の単一性を満たさない3つの発明を含む。

主発明 (請求項 1, 2-9, 11), 第2発明 (請求項 10), 第3発明 (請求項 12-22)

請求項 1-22に係る発明に共通する技術的特徴は、周波数間隔の異なる第1のコム光と第2のコム光を生成するコム光源と、前記第1のコム光が入射される被測定対象と、少なくとも前記被測定対象から出力される光を測定する測定部とを備える測定装置、である。

しかしながら、先行技術である JP 2011-529180 A (サントル ナショナル ドゥ ラ ルシェ ルシェサイアンティフィク(セエヌエールエス)) 2011.12.01, [0022]-[0029],

1.  出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2.  追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3.  出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4.  出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

## 追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

様式 PCT/ISA/210 (第1ページの続葉(2)) (2015年1月)

(第Ⅲ欄の続き)

[0033]、図1, 2, 9 & US 2011/0261363 A1, [0038]-[0045], [0049], FIG. 1, 2, 9 や JP 2010-531444 A (ユニバーシテ ラバル) 2010.09.24, [0020]-[0024]、図1-3 & US 2011/0043815 A1, [0029]-[0032], FIG. 1-3 には、前記共通する技術的特徴が記載されており、前記共通する技術的特徴は新規でないことが明らかとなった。

よって、請求項1-22に共通する技術的特徴は、PCT規則13.2の第2文の意味において「特別な技術的特徴」であるとは認められない。

主発明(請求項1, 2-9, 11)の特別な技術的特徴は「前記被測定対象における誘導ブリルアン散乱光の利得スペクトルを測定する測定装置であって、前記コム光源は、第1のコム光を生成して前記被測定対象の一端に入力する第1のコム光発生器と、前記第1のコム光に対して、基準周波数が前記被測定対象のブリルアンシフト周波数だけシフトしており、且つ、周波数間隔が異なる第2のコム光を生成して前記被測定対象の他端に入力する第2のコム光発生器とを有し、前記測定部は、前記被測定対象から出力される誘導ブリルアン散乱光のスペクトルを測定する測定器」である。

なお、請求項1, 11に係る発明には特別な技術的特徴は存在しないが、主発明に含めることとした。

第2発明(請求項10)の特別な技術的特徴は「前記被測定対象は、前記被測定対象の歪み変化および温度変化を測定するために用いられる第1の光ファイバと第2の光ファイバとを有する」測定装置、である。

第3発明(請求項12-22)の特別な技術的特徴は「互いに同期し、かつ、周波数間隔が異なる第1のコム光および第2のコム光を生成するデュアルコム光源部と、周囲環境によって分光特性が変化する1以上の反射点を有し、前記第1のコム光が入射する光ファイバと、前記1以上の反射点から反射または透過された前記第1のコム光と、前記第1のコム光の偏光状態と一致する偏光を含む前記第2のコム光と、のビート信号を測定する測定器とを備え、多点型光ファイバセンサとして機能する」測定装置、である。

以上により、これら主発明、第2乃至第3発明の間に一又は二以上の同一又は対応する特別な技術的特徴を含む技術的關係が存在するとは認められない。

## 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, ST, 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, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(72)発明者 塩田 達俊

埼玉県さいたま市桜区下大久保 2 5 5 国立大学法人埼玉大学内

(72)発明者 柏木 謙

東京都府中市晴見町 3 - 8 - 1 国立大学法人東京農工大学内

Fターム(参考) 2F103 BA37 BA43 CA04 CA07 EB02 EB05 EB14 EB15 EC09 EC10  
EC14 EC16 FA02

(注)この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。