

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2008-232893
(P2008-232893A)

(43) 公開日 平成20年10月2日(2008.10.2)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)
GO1K 11/12 (2006.01) GO1K 11/12 F 2F056

審査請求 有 請求項の数 3 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2007-74317(P2007-74317)
 (22) 出願日 平成19年3月22日(2007.3.22)

(71) 出願人 504237050
 独立行政法人国立高等専門学校機構
 東京都八王子市東浅川町701番2
 (72) 発明者 佐野 安一
 神奈川県逗子市久木4丁目22番の7
 (72) 発明者 窪田 純
 胸ヶ根市梨ノ木2の29
 Fターム(参考) 2F056 VF02 VF11 VF15 VF16 VF20

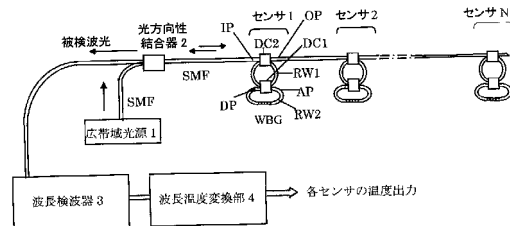
(54) 【発明の名称】 光波長検波法を用いた分布型計測システムにおけるセンサの超狭帯域化とシステムに接続可能なセンサ数の増加方法

(57) 【要約】

【課題】 光ファイバ分布計測システムに使用される光ファイバブラッググレーティング(以下FBG)は中心波長が変化しても反射光量の変化はほんのわずかであるため波長検波器内の受光素子への外来電磁ノイズにより前記中心波長の測定値は大きく変動し、十分な信号対雑音比を得ようとするシステムに接続可能なセンサ数を減らさなければならなかった。

【解決手段】 狭帯域なFWHMの第一のリング共振器と、リング共振器の中に前記FWHMよりも広いFWHMのFBGを内蔵する第二のリング共振器を光方向性結合器で接続し、第一のリング共振器と信号伝送ラインの光ファイバとは別の光方向性結合器で接続することにより1本の狭帯域反射スペクトルを反射し、前記FBGの反射帯域以外の波長域では平坦なスペクトルを出射するセンサを用いることによりセンサ数を減らすことなく十分な信号対雑音比の光ファイバ分布計測システムを実現できる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

広帯域光源からの光を光方向性結合器あるいは光サーキュレータに入射させ該光方向性結合器あるいは該光サーキュレータからの出射光をシングルモード光ファイバから成る光信号伝送ライン經由1個のセンサに導き、あるいは複数のセンサをシングルモード光ファイバを用いて直列に接続した直列回路に導きこれら1個あるいは複数のセンサからの反射光は逆の経路をたどって前記光方向性結合器あるいは前記光サーキュレータ經由波長検波器に導かれ該検波器においてこれらセンサからの反射スペクトルを計測することによりセンサが検出すべき温度を測定する計測システムであって、前記各センサは第一のリング導波路とブラッググレーティングを内蔵した第二のリング導波路を第一の光方向性結合器で結合すると同時に第一のリング導波路を第二の光方向性結合器を介して前記シングルモード光ファイバからなる前記光信号伝送ラインに結合させることにより第一のリング共振器を構成し該リング共振器の入射ポートからドロップポートへの透過帯域フィルタ特性が狭帯域特性を持った櫛型フィルタ特性となるように第一のリング導波路のリング長を決定し、該櫛型フィルタ透過特性を第二のリング導波路内のブラッググレーティングの反射帯域幅を第一のリング共振器のフリースペクトルレンジよりも狭くすることにより該導波路内のブラッググレーティングの反射帯域においてはセンサのスペクトル特性を単一の狭帯域反射スペクトル特性とし、同時に該導波路内のブラッググレーティングの透過帯域における第一のリング共振器の入射ポートから出射ポートへの透過スペクトルを両リングのコアの光路長を同一にすることにより平坦なスペクトルとし、換言すれば隣接して接続されるセンサを構成するリング共振器への入射スペクトルを平坦なスペクトルとし、同時に波長検波器もセンサと同等の狭帯域フィルタ特性を備えさせ、前記導波路内のブラッググレーティングの反射帯域をセンサごとに異なるようにし、更に各センサの測定範囲をそれぞれのセンサの該導波路内のブラッググレーティングの帯域幅とすることによりシステムに接続可能なセンサ数を増加させることを可能とした分布型温度計測システム。

10

20

【請求項 2】

請求項 1 において第一のリング導波路の長さをミリメートル程度とすることにより第一のリング共振器をピコメータオーダの狭帯域特性としたことを特徴とする分布型温度計測システム。

【請求項 3】

請求項 1 において波長検波器にファブリペロー干渉計などの干渉計を用いたことを特徴とする分布型温度計測システム。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

光ファイバブラッググレーティング（以下FBG）を用いた分布型光ファイバセンサの技術分野に関する。

【背景技術】

【0002】

本発明の背景技術としては第一の背景技術及び第二の背景技術を説明する。まず、第一の背景技術につき説明する。図 4 を用いて従来技術を用いた分布型温度センサについて説明する。広帯域光源 1 からの光は光方向性結合器 2 を経てシングルモード光ファイバSMFに入力され該SMFには 1 個または複数のFBGが描画されている。検出すべき温度はセンサのFBGの反射中心波長と相関があるため、これらの反射中心波長を測定することにより各センサの温度を測定することができる。各々のFBGの反射中心波長はそれらの帯域幅も含め互いにすべての測定範囲に亘ってオーバーラップしないようにシステム設計されている。FBGからの反射光は前記SMFを逆にたどって広帯域光源 1 側に戻っていき該光源直前に設置されている前記光方向性結合器 2 によりファブリペロー干渉計などの光学干渉計から構成される波長検波器 3 に入力される（非特許文献 1 参照）。各々のFBGの反射中心波長は該波長検波器 3 により検波、すなわち測定される。ファブリペロー干渉計は狭帯域な櫛型帯域

40

50

通過フィルタである。一方、圧電素子を使用し時間に対して鋸波状の電圧を該圧電素子に印加させると圧電素子はその電圧により変位を生ずるため該干渉計の半透鏡を圧電素子に接続しておけば2つの半透鏡の間隔を変化させることができる。従って圧電素子に印加する電圧を周期的に変化させればファブリペロー干渉計の狭帯域な楕型帯域通過フィルタスペクトルを周期的に変化させることができる。図5はこの従来技術を用いた分布型温度計測システムのスペクトラムの相互の関係を示す図である。使用される複数のFBGの占有する全波長帯域より広いフリースペクトルレンジ(以下FSR)になるように波長検波器3を構成するファブリペロー干渉計を設計しておく。更に該ファブリペロー干渉計の複数存在する通過中心波長の内の1つ通過中心波長が前記圧電素子に印加する電圧の変化でFSRだけ掃引されるようにシステム設計を行う。これにより各々のFBGの反射光の反射中心波長は該ファブリペロー干渉計からの出射光量を前記圧電素子への印加電圧とリンクして観測することにより印加電圧がいくらのとき最大になるかをそれぞれ別々に計測することにより測定することが可能となる。これはあらかじめ該印加電圧と前記複数のFBGの占有する全波長帯域内に存在する単一のファブリペロー干渉計の透過スペクトル中心波長との関係は測定されており、このためファブリペロー干渉計からの出射光量を極大にする前記印加電圧を測定することにより前記複数のFBGの反射中心波長を測定することができるからである。図4に示す波長温度変換部4はProgramable Read Only Memory(以下PROM)などのメモリから構成されている。あらかじめ各センサの反射中心波長と温度との関係を測定しておきこれをデータとして上記メモリに記憶させておく。これにより波長温度変換部4は波長検波器3に接続され入力されてきた各センサの波長に対応した各センサの温度を出力する。

10

20

30

40

50

【0003】

次に第二の背景技術を説明する。これは非特許文献2により公知の技術である。図6はこの第二の背景技術を用いた分布型温度センサのシステム構成図である。第一の背景技術と異なる点は波長検波器3である。他の個所は皆同一である。その特徴は第一の背景技術の波長検波器3はファブリペロー型干渉計の干渉中心波長を圧電素子などを使って機械的に掃引する方式であるが、この第二の背景技術はファブリペロー型干渉計ではなくアレイ導波路格子AWGを用いることにより機械的な可動部をなくし第一の背景技術よりも波長検波器3の信頼性をあげると同時に、並列信号処理により高速に波長検波できる点が大きな特徴である。次に図7を用いてこのAWGから成る波長検波器の動作を説明する。FBGの反射中心波長を b_i 、AWGの隣接するチャンネル m とチャンネル $m+1$ の透過中心波長をそれぞれ a_m 、 a_{m+1} とする。 b_i が a_m 及び a_{m+1} の中心波長と一致している場合、AWGのチャンネル m とチャンネル $m+1$ から出射する光量は同一であるのでそれらを受光素子で光電変換した後の電流値の比は1である。仮に b_i が短波長側にシフトすればその比は1より小さくなり長波長側にシフトすれば比は1より大きくなる。 b_i は $a_m < b_i < a_{m+1}$ の範囲で変動するようシステム設計される。FBGの反射中心波長 b_i はFBGの温度と一対一に対応している。従ってFBGの温度と前記の比の関係も一対一の関係となる。この関係をシステム製作段階であらかじめ求めておきPROMなどの記憶装置に記憶させておく。図6の波長温度変換部4はこの記憶装置である。このようにして構成されたシステムを用い同図に示すように受光素子5、プリアンプ6により光電変換された後の電流値を使ってマイクロコンピュータ7により比演算を行い、演算結果を前記の記憶装置に入力させれば記憶装置の出力はそのときのFBGの温度となる。一般にAWGは2つ以上の多数のチャンネルを備えているので複数のFBGの反射中心波長を並列に同時に計測できる。これが第二の背景技術である。

【非特許文献1】A. D. Kersey, T. A. Berkoff, and W. W. Morey, Multiplied fiber Bragg grating strain-sensor system with a fiber Fabry-Perot wavelength filter, Optics Lett., Vol.18, No.16, PP.1370-1372, 1993

【非特許文献2】Y. Sano and T. Yoshino, Fast Optical Wavelength Interrogator Employing Arrayed Waveguide Grating for Distributed Fiber Bragg Grating Sensors, J. Lightwave Technol., vol.21, pp.132-139, 2003

【非特許文献3】S. Suzuki, K. Oda, and Y. Hibino, Integrated-optic Double-Ring Resonators with a Wide Spectral Range of 100 GHz, J. Lightwave Technol., vol.13, no.8, pp.1766-1771, 1995

【非特許文献4】Y. Sano, T. Hirayama, J. K. Kurihara, T. Goto, K. Taniguchi, J. Nishii, K. Kintaka, and T. Yoshino, Planar Waveguide Bragg Grating Pressure Sensor on a Micro-Machined Silicon Diaphragm, in Proc. of OFS-16, pp.694-696, 2003

【特許文献1】特願2006-288631、発明の名称：リング共振器とブラッググレーティングを用いた光波長検波型物理量計測センサ、発明者：佐野安一、特許出願人：独立行政法人国立高等専門学校機構、代表者：河野伊一郎

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

FBGの反射スペクトルは一般にガウス関数で与えられそのピークにおける波長に対するスペクトル密度の微分係数は零である。従って中心波長近傍の波長では波長検波器3を構成するファブリペロー干渉計を經由し受光素子に入力する光量の差は非常に小さい。一般にFBGの半値全幅(以下FWHM)は狭くても100pm程度である。FBGの反射スペクトルをガウス関数で表し、FBGのFWHMを100pm、広帯域光源1の代表的な光パワー密度 -10dBm/nm の光がFBGに入力したとし反射中心波長の反射率を100%とする。ファブリペロー干渉計のFWHMを例えば15.5pmピーク透過率100%としこれを簡単のためピーク透過率100%底辺31pmの二等辺三角形形状のスペクトルとすれば、FBGの反射中心波長と波長検波器3を構成するファブリペロー干渉計の透過中心波長が一致した場合、 $(100\mu\text{W/nm}) \times 0.5 \times 31\text{pm} = 1450\text{pW}$ の光量が受光素子へ入射する。一般に光パワーメータの最高感度はノイズレベルが -90dBm 程度であるのでその倍の -87dBm ($=2\text{pW}$)程度である。FBGの中心波長がXpmシフトして2pWの光量変化が発生したとしXを求めると $(100\mu\text{W/nm}) \times 0.5 \times 31\text{pm} - (100\mu\text{W/nm}) \times 0.5 \times 31\text{pm} \times \exp\left\{-4(\ln 2) \times (X\text{pm})^2 / (100\text{pm})^2\right\} = 2\text{pW}$ よりXは2.25pmとなる。すなわち理論的には受光回路のノイズにより2.25pm程度の測定分解能になってしまうことが分かる。加えて受光素子への外来電磁ノイズが受光回路内で発生するノイズに重畳されるため実際の波長測定分解能は2.25pmよりも大きく $(2.25 + \beta)\text{pm}$ となる。従来の電気方式の温度センサなどのダイナミックレンジ(=測定範囲/測定分解能)は少なくとも1000以上はあるのでこれに対応するためにはFBGの波長変化を測定範囲で $(2.25 + \beta)\text{pm} \times 1000 = (2.25 + \beta)\text{nm}$ としなければならない。1つのFBGで $(2.25 + \beta)\text{nm}$ の帯域を占有するのでCバンドの帯域幅の約50nmで考えると多重できるFBGの数22個程度とあまり多くの数ではなく分布計測の意味が小さく波長の利用効率が低いという課題があった。上記背景技術1、背景技術2いずれの技術においても多重数を多くする目的で上記回路内部で発生するノイズを少なくすべく多数回測定によりその平均値をデータとして使用することが必要となり結局計測速度が遅くなるという課題があった。

【課題を解決するための手段】

【0005】

広帯域光源からの光を光方向性結合器あるいは光サーキュレータに入射させ該光方向性結合器あるいは該光サーキュレータからの出射光をSMFから成る光信号伝送ライン経由1個のセンサに導き、あるいは複数のセンサをSMFを用いて直列に接続した直列回路に導きこれ

10

20

30

40

50

ら1個あるいは複数のセンサからの反射光は逆の経路をたどって前記光方向性結合器あるいは前記光サーキュレータ経由波長検波器に導かれ該検波器においてこれらセンサからの反射光の波長を計測することによりセンサが検出すべき温度を測定する計測システムであって、前記各センサは第一のリング導波路とブラッググレーティングを内蔵した第二のリング導波路を第一の光方向性結合器で結合すると同時に第一のリング導波路を第二の光方向性結合器を介して前記SMFからなる前記光信号伝送ラインに結合させることにより第一のリング共振器を構成し該リング共振器の入射ポートからドロップポートへの透過帯域フィルタ特性が狭帯域特性を持った楕型フィルタ特性となるように第一のリング導波路のリング長を決定し、該楕型フィルタ透過特性を第二のリング導波路内のブラッググレーティングの反射帯域幅を第一のリング共振器のFSRよりも狭くすることにより該導波路内のブラッググレーティングの反射帯域においてはセンサのスペクトル特性を単一の狭帯域反射スペクトル特性とし、同時に該導波路内のブラッググレーティングの透過帯域における第一のリング共振器の入射ポートから出射ポートへの透過スペクトルを両リングのコアの光路長を同一にすることにより平坦なスペクトルとし、換言すれば隣接して接続されるセンサを構成するリング共振器への入射スペクトルを平坦なスペクトルとし、同時に波長検波器もセンサと同等の狭帯域フィルタ特性を備えさせ、前記導波路内のブラッググレーティングの反射帯域をセンサごとに異なるようにし、更に各センサの測定範囲をそれぞれのセンサの該導波路内のブラッググレーティングの帯域幅とすることが本発明の課題に対する解決手段である。

10

【発明の効果】

20

【0006】

数値計算例を示し発明の効果を説明する。波長検波器 3 のファブリペロー干渉計およびセンサの FWHM、FSR はいずれも 15.5pm、26.6nm とし（この実現性については後述の「発明の実施の形態」で記述する）、センサの波長が 0.1pm 変化した際受光素子が受光する電力の変化量を求める。簡単のため第二のリング導波路内に描画されたブラッググレーティング(以下WBG)及び第一のリング共振器を往復した総合的な反射率を中心波長で 1、また波長検波器 3 のファブリペロー干渉計も中心波長で透過率 1、更にこれらのスペクトルは底辺 31pm の二等辺三角形形状 (FWHM=15.5pm に相当) とし、センサへの入射光量は前述の従来技術の場合と同じ 10dBm/nm=100 μW/nm とするとその差は

$$\begin{aligned}
 & 100\mu W / nm \times \int_{0pm}^{15.5pm} \left(\frac{\lambda}{15.5pm} \right)^2 d\lambda + 100\mu W / nm \times \int_{15.5pm}^{31pm} \left(\frac{\lambda}{15.5pm} \right) \left(\frac{-\lambda}{15.5pm} + 2 \right) d\lambda \\
 & - 100\mu W / nm \times \int_{0.1pm}^{15.5pm} \left(\frac{\lambda}{15.5pm} \right) \left(\frac{\lambda}{15.5pm} - \frac{1}{15.5pm} \right) d\lambda \\
 & - 100\mu W / nm \times \int_{15.5pm}^{15.6pm} \left(\frac{\lambda}{15.5pm} - \frac{1}{15.5pm} \right) \left(\frac{-\lambda}{15.5pm} + 2 \right) d\lambda \\
 & - 100\mu W / nm \times \int_{15.6pm}^{31pm} \left(\frac{-\lambda}{15.5pm} + 2 \right) \left(\frac{-\lambda}{15.5pm} + \frac{31.1}{15.5pm} \right) d\lambda = 562pW
 \end{aligned}$$

となる。前述の従来技術では受光素子への入力変化は 2.25pm の波長のシフトで 1pW であったのに比べると 0.1pm 変化で 562pW もの大きなパワー変化が受光素子への入力変化として生じ外来電磁ノイズに対しても安定なセンサとすることができる。さらに 562 pW の光量変化は充分弁別できる変化であるので 0.1pm の超狭帯域化すなわち波長分解能を実現できる。このことから本発明によれば段落番号 0010 で述べるように帯域幅 50nm の光源を用いてダイナミックレンジは 10000 以上が可能であり同時にセンサを 38 個接続できる。これに対して FBG を用いた従来技術の場合、前述の段落番号 0004 で記したように 22 個程度が接続可能なセンサ数でありダイナミックレンジは 1000 である。

以上のことから本発明は①システムに接続可能なセンサ数が多い、②各センサのダイナミックレンジが広い、③受光素子への外来電磁ノイズの影響が小さい、④信号対雑音比が大きい、⑤このため一般に信号対雑音比改善のため行われる信号の平均化処理も平均回数を従来よりも減らすことができ従ってセンサとしての応答速度を従来よりも高速にできるなどの効果がある。

【発明を実施するための最良の形態】

【0007】

第一の実施形態として分布型温度計測システムの全体構成および動作を図 1、図 2 を用いて説明する。図 1 において広帯域光源 1 から出射した光は SMF、光方向性結合器 2 (光方

10

20

30

40

50

向性結合器はサーキュレータでもよい)を経てSMFに入射する。このSMFにはN個のセンサ(Nは1以上の整数)がSMFを介して直列に接続される。1個あるいは複数のセンサからの反射光は逆の経路をたどって光方向性結合器2經由波長検波器3に導かれ該検波器においてこれらセンサからの反射スペクトルを計測することによりセンサが検出すべき温度を測定する。前記各センサは第一のリング導波路RW1とブラッググレーティングWBGを内蔵した第二のリング導波路RW2を第一の光方向性結合器DC1で結合しかつ第一のリング導波路RW1を第二の光方向性結合器DC2を介して前記SMFからなる前記光信号伝送ラインに結合させることにより第一のリング共振器を構成し該リング共振器の入射ポートIPからドロップポートDPへの透過帯域フィルタ特性を第一のリング導波路RW1のリング長を例えばミリメートル程度にすることによりピコメータオーダの例えば図2のスペクトラムS2に示すような狭帯域透過楕型フィルタ特性としこの楕型透過フィルタ特性と、第二のリング導波路RW2内のブラッググレーティングWBGの帯域幅を図2のスペクトラムS3、S6に示すように第一のリング共振器のFSRよりも狭くすることによりWBGにより反射される反射スペクトル特性をピコメータのオーダの図2のスペクトラムS4、S7に示すようなFWHMの単一の狭帯域反射スペクトル特性とする。この単一の狭帯域反射スペクトルは該リング共振器の入射ポートIPからドロップポートDPへの透過スペクトルのうちの1つであるが同時にこれはドロップポートDPから入射ポートIPに向かって入射した光の透過スペクトルに等しいはずであるのでWBGにより反射された前記単一の狭帯域反射スペクトルは入射ポートIPからドロップポートDPを経て光方向性結合器2に向かって伝播していくことになる。即ちセンサとしての反射スペクトルは図2のスペクトラムS4、S7に示すような狭帯域の単一の反射スペクトルとなる。この反射スペクトルが単一の狭帯域特性を持っているがゆえに本発明のセンサはその反射スペクトルの中心波長近傍での波長に対する反射スペクトルのエネルギー密度の変化は、これよりも遥かに広いFWHMをもったFBGを用いた従来の分布計測システムの場合よりも格段に大きくなる。この反射スペクトルの波長に対するエネルギー密度の変化をよりの確に捉えるために波長検波器3も狭帯域フィルタ特性を備えさせる。背景技術に記した非特許文献1で報告されている様に電気信号によりその楕型透過フィルタ特性を掃引することのできる例えばファブリペロー干渉計などを用いてこの特性を備えさせる。この波長検波の方法は上記の非特許文献1に記載されている方法と同じである。また各センサのWBGの反射帯域は温度変化により変化するがシステムの使用温度範囲のいずれにおいてもこの反射帯域はセンサごとに異なるようにシステム設計を行う。さらに各センサの測定範囲はそれぞれのセンサのWBGの帯域幅とする。以上が実施形態の説明である。

【0008】

10

20

30

更に詳しく実施例を説明する。まず WBG の反射帯域におけるセンサの反射スペクトルを理論的に示す。WBG の複素反射率を $R_f(\lambda)$ を結合波方程式から求め、第一のリング共振器の入射ポート IP からドロップポート DP への複素透過率を $T_r(\lambda)$ とするとセンサの反射率 $|R(\lambda)|$ は(1)式で示される。

$$|R(\lambda)| = |R_f(\lambda)T_r^2(\lambda)|, \quad (1)$$

但し

$$|R_f(\lambda)| = \frac{4\kappa^2 \sin^2(\omega L_0)}{\Theta^2 \sin^2(\omega L_0/2) + \omega^2 \cos^2(\omega L_0/2)}, \quad (2) \quad 10$$

$$|T_r^2(\lambda)| = \frac{\sin^4(\kappa'l)\exp(-\alpha L)}{\left[\{1 - \cos^2(\kappa'l)\exp(-\alpha L)\}^2 + 4\cos^2(\kappa'l)\exp(-\alpha L)\sin^2\left(\frac{\pi n'L}{\lambda}\right) \right]}, \quad (3)$$

$\omega = \sqrt{\Theta^2 - 4\kappa^2}$, $\Theta = \pi^2(\lambda - \lambda_B)/(\Lambda^2 n_0)$, $\lambda_B = 2n\Lambda$, $\kappa = \pi(n_0 - n)/\lambda$, L は該リング共振器のコア長、 L_0 は WBG の長さ、 l はリング共振器の光方向性結合器 DC1、DC2 の結合長、 α はリング共振器の単位長さ当たりの電力損失係数、 κ' はリング共振器 RR1 の光方向性結合器 DC1、DC2 の結合長、 n_0 は WBG のコア部の平均屈折率、 n は WBG の基底屈折率、 n' はリングコアの実効屈折率、 Λ は WBG のグレーティング周期、 λ は波長である。ここで WBG 長 $L_0 = 3 \text{ mm}$ 、WBG の基底屈折率 $n = 1.451$ 、グレーティング周期 $\Lambda = 533.96 \text{ nm}$ 、平均屈折率 $n_0 = 1.45125$ 、リング長 $L = 62.83 \mu\text{m}$ 、リングコア実効屈折率 $n' = 1.751$ 、 $\kappa'l = 0.0036$ 、 $\alpha L = 0.0036$ として (3) 式により m を共振次数として FSR を求めると 1550nm 近傍では m を共振次数として $m=70$ の場合共振波長は 1549.557nm、 $m=71$ の場合共振波長は 1571.693 の差として $\text{FSR} = 22.1 \text{ nm}$ となる。このときの WBG の反射率を $|R_f(\lambda)|$ とリング共振器の透過率 $|T_r(\lambda)|$ を図 8 に示す。また図 8 と同じ波長範囲でのセンサの複素反射率 $|R(\lambda)|$ を図 9 に示す。図 9 に示すスペクトルを拡大した図を図 10 に示す。これからセンサの FWHM は 15.5pm であることがわかる。

【 0 0 0 9 】

SMF から入射してくる光が WBG の透過帯域の場合について述べる。図 11 はこの場合のセンサの等価回路である。同図において光方向性結合器 DC1、光方向性結合器 DC2、リング導波路 RW1 から成り立つリング共振器の光路長と、リング導波路 RW2 の光路長を等しく設計する。リング共振器のドロップポート DP から出射する光スペクトルは図 12 のスペクトル (b) に示すような楕型スペクトルとなる。該共振器のアドポート AP から DC1 に入射するスペクトルは上記ドロップポート DP から出射するスペクトルと両リングの光路長が同じであることから同一で図 12 のスペクトル (d) のようになる。すなわちリング共振器からドロップポート DP を経て抜けた光スペクトルと同一の光スペクトルがアドポート AP から入射する。リング導波路 RW2 がなければリング共振器の出射ポート OP から出射するスペクトルは図 12 のスペクトル (c) に示すようにリング共振器のフリースペクトルレンジで決まる波長ごとに帯域阻止特性を示すが、阻止された光スペクトルが同リング共振器のアドポート AP から

20

30

40

50

入射するので結果としてリング共振器の出射ポートOPの出射スペクトルは図12のスペクトル(e)あるいは図2のスペクトラムS5のようにフラットに成る。なお前述したように各センサの測定範囲をオーバーラップさせないためにWBGの反射帯域は重なり合わないようシステム設計される。

【0010】

センサ自身の製作は本願の発明人が出願している特許文献1に記載されているようにいわゆるシリコン、石英などを材料とした平面光導波路製作技術により製作できることは明らかである。またWBGの製作方法もゲルマニウムをドーブした石英コアに空間的に周期的な紫外線を照射することにより製作できることも同文献に記載されている。石英コアにゲルマニウムをドーブしたコアを用いたリング共振器のスペクトルの温度依存性は $12\text{pm}/^\circ\text{C}$ であることが非特許文献3により知られている。さらに石英コアにゲルマニウムをドーブしたコアを用いたWBGの温度依存性も「非特許文献4」によりその反射中心波長の温度依存性は $11.5\text{pm}/^\circ\text{C}$ でありほぼリング共振器のスペクトルの温度依存性に等しい。従って図1に示すシステムの場合、センサの温度が変化するとリング共振器の線スペクトルはWBGの反射中心波長とほぼ同じ量だけ波長シフトする。従ってこの波長のシフト量を考慮して隣接するWBGの中心波長間隔は決定されねばならない。使用温度範囲が 100°C とするとこのシフト量は $100 \times 12\text{pm}/^\circ\text{C}$ で 1.2nm となる。50nmの光源帯域幅、WBGの帯域を 0.1nm とするとこのシステムで多重測定可能なセンサは $50\text{nm}/(100 + 1200)\text{pm} = 38$ 個となる。各センサの波長分解能は段落番号0006に記載したように 0.1pm が得られるのでダイナミックレンジは $1.2\text{nm}/0.1\text{pm} = 12000$ となる。

10

20

【0011】

次に第二の実施形態である分布型温度計測システムについて説明する。システム構成はセンサ部を除いて図1と同じである。この実施例のセンサ部を図3に示す。WBGの代わりに温度特性の少ない低温度特性のFBG(例:ファイバラボ社、FBG1550-ATMPKG型)を用意しこれをSMFでDC1を構成する光導波路WGに例えば光学接着剤などで接続する。センサとしての動作は基本的には第一の実施例と同じである。この場合もリング共振器とリング導波路RW2の光路長はFBGの透過帯域においては同一になるように設計する。図3に示すセンサの入射ポートIPから出射ポートOP間の挿入損失を 0.5dB とし、光方向性結合器2から出射した光が戻ってくるまでの許容損失を 50dB とすると光損失の観点からは $50\text{dB}/(0.5\text{dB} \times 2) = 50$ 個のセンサ接続が可能と成る。仮にこの損失も非常に小さくでき無視できるとすればFBGの温度特性が無視できるため接続可能なセンサ数は $50\text{nm}/(0.1 + 0)\text{nm} = 500$ 個となり大幅な接続可能なセンサ数の増加となる。ただしこの場合ダイナミックレンジは $0.1\text{nm}/0.1\text{pm} = 1000$ となる。なお光波長検波器3の直前に増幅度 50dB の光増幅器を挿入すれば前記許容損失は 100dB となるので接続可能なセンサ数は 100 個となる。

30

40

【産業上の利用可能性】

【0012】

上述の発明は建築構造物が致命的ダメージを負う前に建築構造物をメンテナンスし維持していこうとするいわゆる建築構造物(ビル、橋、鉄橋など)のヘルスマonitoringの分野のほかに、航空宇宙における例えば翼などの筐体の故障予知の分野などへの適用が可能である。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の第一の実施形態例

【図2】本発明の第一の実施形態例におけるシステムの動作原理

【図3】本発明の第二の実施形態例

【図4】第一の従来技術によるシステムの主要構成

【図5】第一の従来技術を用いたシステムの動作を示すための各個所のスペクトル

【図6】第二の従来技術によるシステムの主要構成

【図7】第二の従来技術によるシステムの動作を示すための各個所のスペクトル

【図8】WBGの反射スペクトルとリング共振器の入射ポートドロップポート間透過スペク

50

トル例

【図 9】入射ポートから光方向性結合器 2 側への反射光スペクトル例

【図 10】入射ポートから光方向性結合器 2 側への反射光スペクトル例（拡大図）

【図 11】SMFから入射してくる光がWBGの透過帯域の場合のセンサの透過回路

【図 12】SMFから入射してくる光がWBGの透過帯域の場合における各点の光スペクトル

【符号の説明】

【0014】

1・・・広帯域光源

2・・・光方向性結合器

3・・・波長検波器

10

4・・・波長温度変換部

5・・・受光素子

6・・・プリアンプ

7・・・マイクロコンピュータ

SMF・・・シングルモード光ファイバ

IP・・・リング共振器入射ポート

DP・・・リング共振器ドロップポート

AP・・・リング共振器アドポート

OP・・・リング共振器出射ポート

FBG・・・光ファイバブラッググレーティング

20

WBG・・・光導波路ブラッググレーティング

RW1・・・リング導波路1

RW2・・・リング導波路2

DC1・・・光方向性結合器

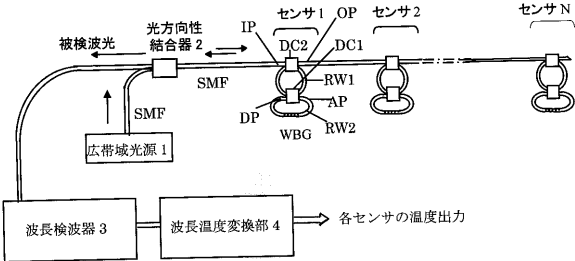
DC2・・・光方向性結合器

WG・・・光導波路

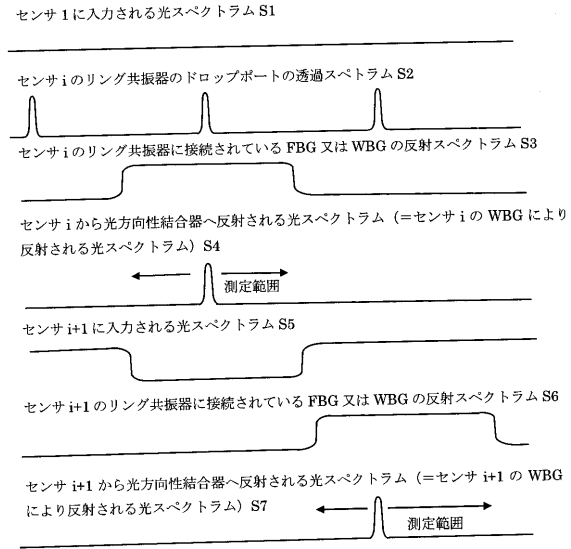
C N・・・光導波路とSMF結合部

AWG・・・アレイ導波路格子

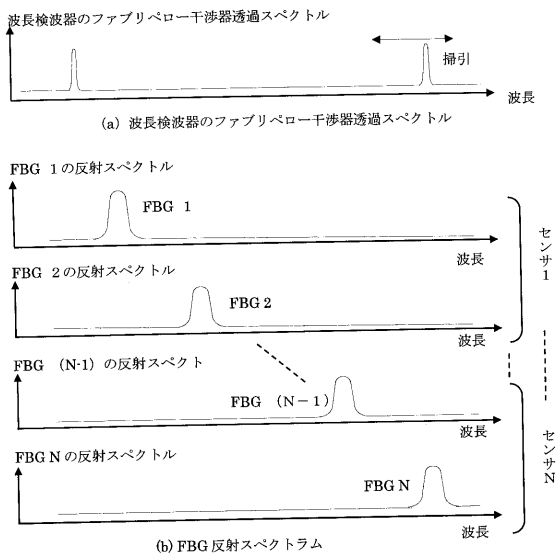
【図1】



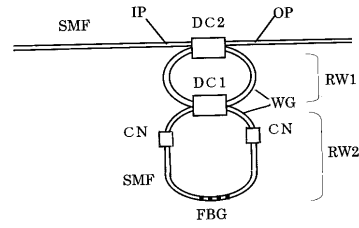
【図2】



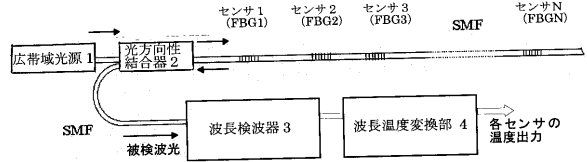
【図5】



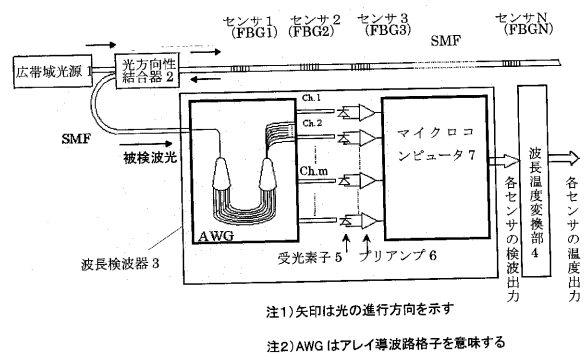
【図3】



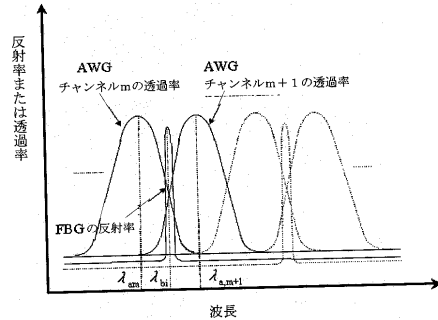
【図4】



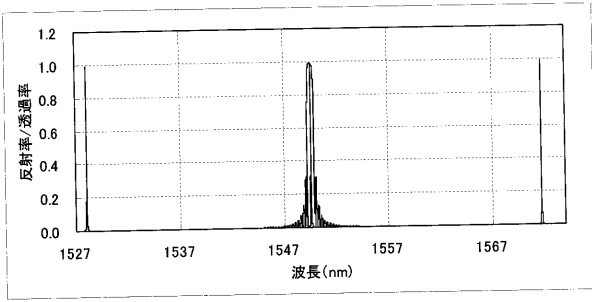
【図6】



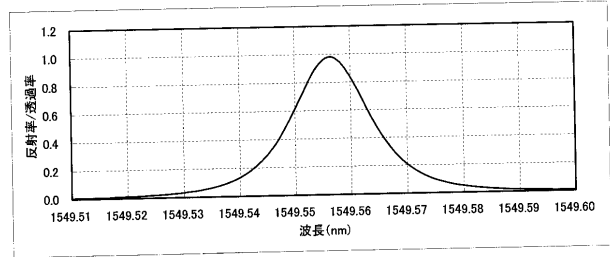
【図7】



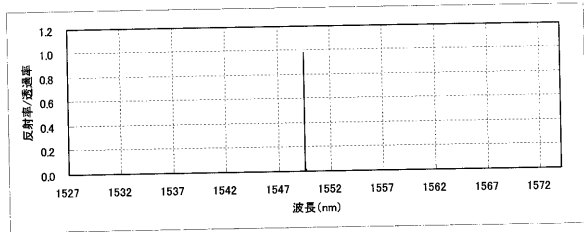
【 図 8 】



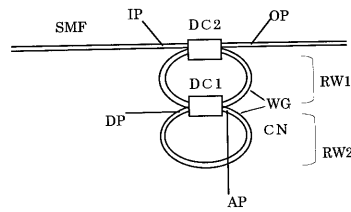
【 図 10 】



【 図 9 】



【 図 11 】



【 図 12 】

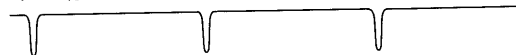
入射ポート IP に入力される光スペクトラム(a)



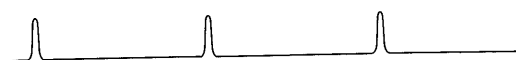
ドロップポート DP からの透過スペクトラム(b)



リング導波路 RW2 が不在の場合の出射ポート OP からの出射スペクトラム(c)



アドポート AP からの入射スペクトラム(d)



リング導波路 RW2 がある場合の出射ポート OP からの出射スペクトラム(e)=(c)+(d)



【手続補正書】

【提出日】平成20年4月3日(2008.4.3)

【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】請求項1

【補正方法】変更

【補正の内容】

【請求項1】

広帯域光源からの光を光方向性結合器あるいは光サーキュレータに入射させ該光方向性結合器あるいは該光サーキュレータからの出射光をシングルモード光ファイバから成る光信号伝送ライン経由1個のセンサに導き、あるいは複数のセンサをシングルモード光ファイバを用いて直列に接続した直列回路に導きこれら1個あるいは複数のセンサからの反射光は逆の経路をたどって前記光方向性結合器あるいは前記光サーキュレータ経由波長検波器に導かれ該検波器においてこれらセンサからの反射スペクトルを計測することによりセンサが検出すべき温度を測定する計測システムであって、前記各センサは第一のリング導波路とブラッググレーティングを内蔵した第二のリング導波路を第一の光方向性結合器で結合すると同時に第一のリング導波路を第二の光方向性結合器を介して前記シングルモード光ファイバからなる前記光信号伝送ラインに結合させることにより第一のリング共振器を構成し該リング共振器の入射ポートからドロップポートへの透過帯域フィルタ特性が狭帯域特性を持った楕型フィルタ特性となるように第一のリング導波路のリング長を決定し、第二のリング導波路内のブラッググレーティングの反射帯域幅を第一のリング共振器のフリースペクトルレンジよりも狭くすることにより該導波路内のブラッググレーティングの反射帯域においてはセンサのスペクトル特性を単一の狭帯域反射スペクトル特性とし、同時に該導波路内のブラッググレーティングの透過帯域における第一のリング共振器の入射ポートから出射ポートへの透過スペクトルを両リングのコアの光路長を同一にすることにより平坦なスペクトルとし、換言すれば隣接して接続されるセンサを構成するリング共振器への入射スペクトルを平坦なスペクトルとし、同時に波長検波器もセンサと同等の狭帯域フィルタ特性を備えさせ、前記導波路内のブラッググレーティングの反射帯域をセンサごとに異なるようにし、更に各センサの測定範囲をそれぞれのセンサの該導波路内のブラッググレーティングの帯域幅とすることによりシステムに接続可能なセンサ数を増加させることを可能とした分布型温度計測システム。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0004

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0004】

第一の背景技術の課題を述べる。FBG の反射スペクトルは一般にガウス関数で与えられそのピークにおける波長に対するスペクトル密度の微分係数は零である。従って中心波長近傍の波長では波長検波器 3 を構成するファブリペロー干渉計を經由し受光素子に入力する光量の差は非常に小さい。一般に FBG の半値全幅 (以下 FWHM) は狭くても 100pm 程度である。FBG の反射スペクトルをガウス関数で表し、FBG の FWHM を 100pm、広帯域光源 1 の代表的な光パワー密度 -10dBm/nm の光が FBG に入力したとし反射中心波長の反射率を 100% とする。ファブリペロー干渉計の FWHM を例えば 15.5pm ピーク透過率 100% としこれを簡単のためピーク透過率 100% 底辺 31pm の二等辺三角形形状のスペクトルとすれば、FBG の反射中心波長と波長検波器 3 を構成するファブリペロー干渉計の透過中心波長が一致した場合、

$$100\mu\text{W/nm} \int_0^{\infty} \exp\left\{-4\ln 2 \left(\frac{\lambda-\lambda_c}{100\text{pm}}\right)^2\right\} \exp\left\{-4\ln 2 \left(\frac{\lambda-\lambda_c}{15.5\text{pm}}\right)^2\right\} d\lambda$$

$$\cong 100\mu\text{W/nm} \int_0^{\infty} \exp\left\{-4\ln 2 \left(\frac{\lambda-\lambda_c}{15.5\text{pm}}\right)^2\right\} d\lambda \cong (100\mu\text{W/nm}) \times 0.5 \times 31\text{pm} = 1450\text{pW}$$

の光量が受光素子へ入射する。一般に光パワーメータの最高感度はノイズレベルが -90dBm 程度である。余裕をみて前記ノイズレベルの倍の -87dBm ($=2\text{pW}$) の光量変化が発生したとしこの 2pW の光量変化で FBG の中心波長が $X\text{pm}$ シフトするものとすれば X は

$$(100\mu\text{W/nm}) \times 0.5 \times 31\text{pm} - (100\mu\text{W/nm}) \times 0.5 \times 31\text{pm} \times \exp\left\{-4(\ln 2) \times (X\text{pm})^2 / (100\text{pm})^2\right\} = 2\text{pW}$$

より X は 2.25pm となる。すなわち理論的には受光回路のノイズにより 2.25pm 程度の測定分解能になってしまうことが分かる。加えて受光素子への外来電磁ノイズが受光回路内で発生するノイズに重畳されるため実際の波長測定分解能は 2.25pm よりも大きく $(2.25 + \beta)\text{pm}$ となる。従来の電気方式の温度センサなどのダイナミックレンジ (=測定範囲/測定分解能) は少なくとも 1000 以上はあるのでこれに対応するためには FBG の波長変化を測定範囲で $(2.25 + \beta)\text{pm} \times 1000 = (2.25 + \beta)\text{nm}$ としなければならない。1つの FBG で $(2.25 + \beta)\text{nm}$ の帯域を占有するので Cバンドの帯域幅の約 50nm で考えると多重できる FBG の数は 22 個程度とあまり多くの数ではなく分布計測の意味が小さく波長の利用効率が低いという課題があった。上記背景技術 1、背景技術 2 いずれの技術においても多重数を多くする目的で上記回路内部で発生するノイズを少なくすべく多数回測定によりその平均値をデータとして使用することが必要となり結局いずれの場合も計測速度が遅くなるという課題があった。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0005

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0005】

広帯域光源からの光を光方向性結合器あるいは光サーキュレータに入射させ該光方向性結

合器あるいは該光サーキュレータからの出射光をSMFから成る光信号伝送ライン経由1個のセンサに導き、あるいは複数のセンサをSMFを用いて直列に接続した直列回路に導きこれら1個あるいは複数のセンサからの反射光は逆の経路をたどって前記光方向性結合器あるいは前記光サーキュレータ経由波長検波器に導かれ該検波器においてこれらセンサからの反射光の波長を計測することによりセンサが検出すべき温度を測定する計測システムであって、前記各センサは第一のリング導波路とブラッググレーティングを内蔵した第二のリング導波路を第一の光方向性結合器で結合すると同時に第一のリング導波路を第二の光方向性結合器を介して前記SMFからなる前記光信号伝送ラインに結合させることにより第一のリング共振器を構成し該リング共振器の入射ポートからドロップポートへの透過帯域フィルタ特性が狭帯域特性を持った櫛型フィルタ特性となるように第一のリング導波路のリング長を決定し、第二のリング導波路内のブラッググレーティングの反射帯域幅を第一のリング共振器のFSRよりも狭くすることにより該導波路内のブラッググレーティングの反射帯域においてはセンサのスペクトル特性を単一の狭帯域反射スペクトル特性とし、同時に該導波路内のブラッググレーティングの透過帯域における第一のリング共振器の入射ポートから出射ポートへの透過スペクトルを両リングのコアの光路長を同一にすることにより平坦なスペクトルとし、換言すれば隣接して接続されるセンサを構成するリング共振器への入射スペクトルを平坦なスペクトルとし、同時に波長検波器もセンサと同等の狭帯域フィルタ特性を備えさせ、前記導波路内のブラッググレーティングの反射帯域をセンサごとに異なるようにし、更に各センサの測定範囲をそれぞれのセンサの該導波路内のブラッググレーティングの帯域幅とすることが本発明の課題に対する解決手段である。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0006

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0006】

数値計算例を示し発明の効果を説明する。波長検波器3のファブリペロー干渉計およびセンサのFWHM、FSRはいずれも15.5pm、22.1nmとし（この実現性については後述の「発明を実施するための最良の形態」で記述する）、センサの波長が0.1pm変化した際受光素子が受光する電力の変化量を求める。簡単のため第二のリング導波路内に描画されたブラッググレーティング（以下WBG）及び第一のリング共振器を往復した総合的な反射率を中心波長で1、また波長検波器3のファブリペロー干渉計も中心波長で透過率1、更にこれらのスペクトルは底辺31pmの二等辺三角形形状（FWHM=15.5pmに相当）とし、センサへの入射光量は前述の第一の背景技術の場合と同じ・10dBm/nm=100μW/nmとするとその差は段落番号0004の場合と同様にして、

$$\begin{aligned}
 & 100\mu W/nm \times \int_{0pm}^{15.5pm} \left(\frac{\lambda}{15.5pm} \right)^2 d\lambda + 100\mu W/nm \times \int_{15.5pm}^{31pm} \left(\frac{\lambda}{15.5pm} \right) \left(\frac{-\lambda}{15.5pm} + 2 \right) d\lambda \\
 & - 100\mu W/nm \times \int_{0.1pm}^{15.5pm} \left(\frac{\lambda}{15.5pm} \right) \left(\frac{\lambda}{15.5pm} - \frac{1}{15.5pm} \right) d\lambda - 100\mu W/nm \times \int_{15.5pm}^{15.6pm} \left(\frac{\lambda}{15.5pm} - \frac{1}{15.5pm} \right) \left(\frac{-\lambda}{15.5pm} + 2 \right) d\lambda \\
 & - 100\mu W/nm \times \int_{15.6pm}^{31pm} \left(\frac{-\lambda}{15.5pm} + 2 \right) \left(\frac{-\lambda}{15.5pm} + \frac{31.1}{15.5pm} \right) d\lambda = 562pW
 \end{aligned}$$

となる。前述の従来技術では受光素子への入力変化は2.25pmの波長のシフトで2pWであったのに比べると0.1pm変化で562pWもの大きなパワー変化が受光素子への入力変化として生じ外来電磁ノイズに対しても安定なセンサとすることができる。さらに562pWの光量変化は充分弁別できる変化であるので0.1pmの超狭帯域化すなわち波長分解能を実現できる。このことから本発明によれば段落番号0010で述べるように帯域幅50nmの光源を用いてダイナミックレンジは10000以上が可能であり同時にセンサを38個接続できる。これに対してFBGを用いた従来技術の場合、前述の段落番号0004で記したように22個程度が接続可能なセンサ数でありダイナミックレンジは1000である。

以上のことから本発明は（1）システムに接続可能なセンサ数が多い、（2）各センサのダイナミックレンジが広い、（3）受光素子への外来電磁ノイズの影響が小さい、（4）信号対雑音比が大きい、（5）このため一般に信号対雑音比改善のため行われる信号の平均化処理も平均回数を従来よりも減らすことができ従ってセンサとしての応答速度を従来よりも高速にできるなどの効果がある。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0007

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0007】

第一の実施形態として分布型温度計測システムの全体構成および動作を図1、図2を用いて説明する。図1において広帯域光源1から出射した光はSMF、光方向性結合器2（光方向性結合器はサーキュレータでもよい）を経てSMFに入射する。このSMFにはN個のセンサ（Nは1以上の整数）がSMFを介して直列に接続される。1個あるいは複数のセンサからの反射光は逆の経路をたどって光方向性結合器2經由波長検波器3に導かれ該検波器においてこれらセンサからの反射スペクトルを計測することによりセンサが検出すべき温度を測定する。前記各センサは第一のリング導波路RW1とブラッググレーティングWBGを内蔵した

第二のリング導波路RW2を第一の光方向性結合器DC1で結合しかつ第一のリング導波路RW1を第二の光方向性結合器DC2を介して前記SMFからなる前記光信号伝送ラインに結合させることにより第一のリング共振器を構成し該リング共振器の入射ポートIPからドロップポートDPへの透過帯域フィルタ特性を第一のリング導波路RW1のリング長を例えばミリメートル程度にすることによりピコメータオーダの例えば図2のスペクトラムS2に示すような狭帯域透過楕型フィルタ特性としこの楕型透過フィルタ特性と、第二のリング導波路RW2内のブラッググレーティングWBGの帯域幅を図2のスペクトラムS3、S6に示すように第一のリング共振器のFSRよりも狭くすることによりWBGにより反射される反射スペクトル特性をピコメータのオーダの図2のスペクトラムS4、S7に示すようなFWHMの単一の狭帯域反射スペクトル特性とする。この単一の狭帯域反射スペクトルは該リング共振器の入射ポートIPからドロップポートDPへの透過スペクトルのうちの1つであるが同時にこれはドロップポートDPから入射ポートIPに向かって入射した光の透過スペクトルに等しいはずであるのでWBGにより反射された前記単一の狭帯域反射スペクトルはドロップポートDPから入射ポートIPを経て光方向性結合器2に向かって伝播していくことになる。即ちセンサとしての反射スペクトルは図2のスペクトラムS4、S7に示すような狭帯域の単一の反射スペクトルとなる。この反射スペクトルが単一の狭帯域特性を持っているがゆえに本発明のセンサはその反射スペクトルの中心波長近傍での波長に対する反射スペクトルのエネルギー密度の変化は、これよりも遥かに広いFWHMをもったFBGを用いた従来の分布計測システムの場合よりも格段に大きくなる。この反射スペクトルの波長に対するエネルギー密度の変化をよりの確に捉えるために波長検波器3も狭帯域フィルタ特性を備えさせる。背景技術に記した非特許文献1で報告されている様に電気信号によりその楕型透過フィルタ特性を掃引することのできる例えばファブリペロー干渉計などを用いてこの特性を備えさせる。この波長検波の方法は上記の非特許文献1に記載されている方法と同じである。また各センサのWBGの反射帯域は温度変化により変化するがシステムの使用温度範囲のいずれにおいてもこの反射帯域はセンサごとに異なるようにシステム設計を行う。さらに各センサの測定範囲はそれぞれのセンサのWBGの帯域幅とする。以上が実施例の構成である。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0008

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0008】

更に詳しく実施形態を説明する。まず WBG の反射帯域におけるセンサの反射スペクトルを理論的に示す。WBG の複素反射率を $R_f(\lambda)$ を結合波方程式から求め、第一のリング共振器の入射ポート IP からドロップポート DP への複素透過率を $T_r(\lambda)$ とするとセンサの反射率 $|R(\lambda)|$ は(1)式で示される。

$$|R(\lambda)| = |R_f(\lambda)T_r^2(\lambda)|, \quad (1)$$

但し

$$|R_f(\lambda)| = \frac{4\kappa^2 \sin^2(\omega L_0)}{\Theta^2 \sin^2(\omega L_0/2) + \omega^2 \cos^2(\omega L_0/2)}, \quad (2)$$

$$|T_r^2(\lambda)| = \frac{\sin^4(\kappa'l)\exp(-\alpha L)}{\left[\{1 - \cos^2(\kappa'l)\exp(-\alpha L)\}^2 + 4\cos^2(\kappa'l)\exp(-\alpha L)\sin^2\left(\frac{\pi n'l}{\lambda}\right) \right]}, \quad (3)$$

$\omega = \sqrt{\Theta^2 - 4\kappa^2}$, $\Theta = \pi^2(\lambda - \lambda_B)/(\Lambda^2 n_0)$, $\lambda_B = 2n\Lambda$, $\kappa = \pi(n_0 - n)/\lambda$, L は該リング共振器のコア長、 L_0 は WBG の長さ、 l はリング共振器の光方向性結合器 DC1、DC2 の結合長、 α はリング共振器の単位長さ当たりの電力損失係数、 κ' は光方向性結合器 DC1、DC2 の単位長さ当たりの結合係数、 n_0 は WBG のコア部の平均屈折率、 n は WBG の基底屈折率、 n' はリングコアの実効屈折率、 Λ は WBG のグレーティング周期、 λ は波長である。ここで WBG 長 $L_0 = 3$ mm、WBG の基底屈折率 $n = 1.451$ 、グレーティング周期 $\Lambda = 533.96$ nm、平均屈折率 $n_0 = 1.45125$ 、リング長 $L = 62.83$ μ m、リングコア実効屈折率 $n' = 1.751$, $\kappa'l = 0.0036$, $\alpha L = 0.0036$ とし て(3)式により m を共振次数として FSR を求めると 1550nm 近傍では $m=70$ の場合共振波長は 1549.557nm、 $m=71$ の場合共振波長は 1571.693nm となり FSR=22.1nm となる。図 8 にこのときの WBG の反射率を $|R_f(\lambda)|$ (同図中央の幅広スペクトル) とリング共振器の透過率 $|T_r(\lambda)|$ (同図の櫛型線スペクトル) 示す。また図 8 と同じ波長範囲でのセンサの複素反射率 $|R(\lambda)|$ を図 9 に示す。図 9 に示すスペクトルを拡大した図を図 10 に示す。これからセンサの FWHM は 15.5pm であることがわかる。

【手続補正 7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0009

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0009】

次に SMF から入射してくる光が WBG の透過帯域の場合について述べる。図 11 はこの場合のセンサの等価回路である。同図において光方向性結合器 DC1、光方向性結合器 DC2、リング導波路 RW1 から成り立つリング共振器の光路長と、リング導波路 RW2 の光路長を等しく設計する。リング共振器のドロップポート DP から出射する光スペクトルは図 12 のスペクトル (b) に示すような櫛型スペクトルとなる。該共振器のアドポート AP から DC1 に入射するスペクトルは上記ドロップポート DP から出射するスペクトルと両リングの光路長が同じであることから同一で図 12 のスペクトル (d) のようになる。すなわちリング共振器からドロップポート DP を経て抜けた光スペクトルと同一の光スペクトルがアドポート AP から入射する。リング導波路 RW2 がなければリング共振器の出射ポート OP から出射するスペクトルは

図12のスペクトル(c)に示すようにリング共振器のフリースペクトルレンジで決まる波長ごとに帯域阻止特性を示すが、阻止された光スペクトルが同リング共振器のアポートAPから入射するので結果としてリング共振器の出射ポートOPの出射スペクトルは図12のスペクトル(e)のようにフラットに成る。なお前述したように各センサの測定範囲をオーバーラップさせないためにWBGの反射帯域は重なり合わないようシステム設計される。

【手続補正 8】

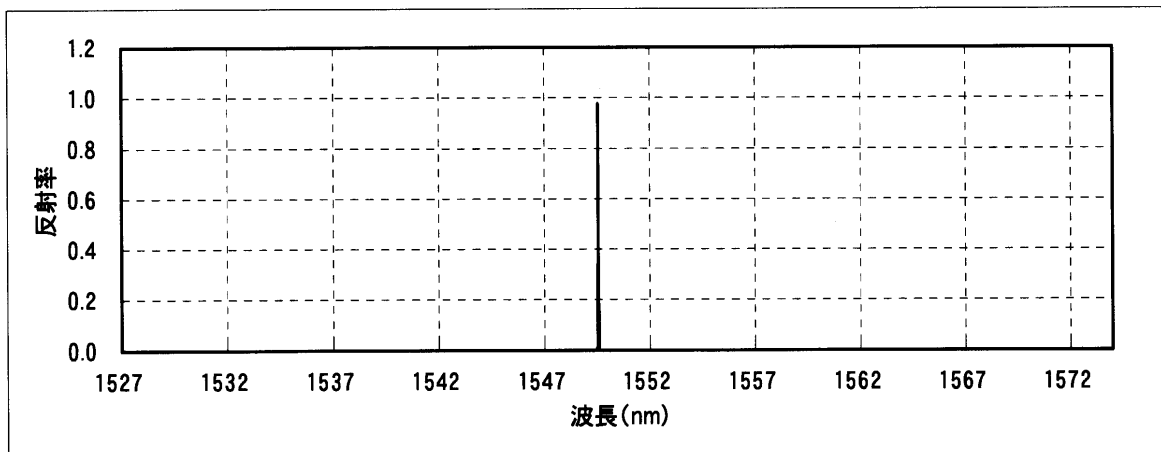
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図 9

【補正方法】変更

【補正の内容】

【図 9】



【手続補正 9】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図 1 0

【補正方法】変更

【補正の内容】

【図 1 0】

