

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7696816号
(P7696816)

(45)発行日 令和7年6月23日(2025.6.23)

(24)登録日 令和7年6月13日(2025.6.13)

(51)国際特許分類 F I
G 0 1 D 5/353(2006.01) G 0 1 D 5/353 B
G 0 1 D 5/353 C

請求項の数 14 (全15頁)

(21)出願番号	特願2021-203998(P2021-203998)	(73)特許権者	504407000
(22)出願日	令和3年12月16日(2021.12.16)		パロ アルト リサーチ センター, エル
(65)公開番号	特開2022-104561(P2022-104561 A)		エルシー
(43)公開日	令和4年7月8日(2022.7.8)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4
審査請求日	令和6年12月16日(2024.12.16)		3 0 4 パロ アルト カイオーテ ヒル
(31)優先権主張番号	17/135,356	(74)代理人	100094569
(32)優先日	令和2年12月28日(2020.12.28)		弁理士 田中 伸一郎
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)	(74)代理人	100109070
早期審査対象出願			弁理士 須田 洋之
		(74)代理人	100067013
			弁理士 大塚 文昭
		(74)代理人	
			西島 孝喜
		(74)代理人	

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光センシングシステム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

センサシステムであって、
光ファイバと、

前記光ファイバに刻まれた1組の波長シフトセンサと、を備え、前記1組の波長シフトセンサは、

入力光の第1の波長帯域を第1の光出力信号として反射するように構成された少なくとも1つの第1の波長シフトセンサであって、入力光の前記第1の波長帯域の強度を変更する光学特性の第1の値を有する、少なくとも1つの第1の波長シフトセンサと、

入力光の第2の波長帯域を第2の光出力信号として反射するように構成された少なくとも1つの第2の波長シフトセンサであって、入力光の前記第2の波長帯域の強度を変更する前記光学特性の第2の値を有し、前記第2の値は、前記第1の値とは異なる、少なくとも1つの第2の波長シフトセンサと、を含み、

前記光学特性は、反射率を含み、反射率の前記第1の値と前記第2の値との差は、前記光ファイバに刻まれた前記第1の波長シフトセンサのブラッグ波長の周期の第1の数と、前記光ファイバに刻まれた前記第2の波長シフトセンサのブラッグ波長の周期の第2の数との差の関数である、センサシステム。

【請求項 2】

前記第1の値と前記第2の値との差は、前記第1の光出力信号の強度と前記第2の光出力信号の強度との差を減少させるように構成されている、請求項1に記載のセンサシステム

ム。

【請求項 3】

前記第 1 の値と前記第 2 の値との差は、前記第 1 の光出力信号の第 1 の信号対雑音比 (S N R) 及び前記第 2 の光出力信号の第 2 の S N R のうちの少なくとも 1 つの差を減少させるように構成されている、請求項 1 に記載のセンサシステム。

【請求項 4】

前記第 1 の値と前記第 2 の値との差は、前記第 1 の光出力信号の強度及び前記第 2 の光出力信号の強度が実質的に等しくなるように構成されている、請求項 1 に記載のセンサシステム。

【請求項 5】

前記光学特性は、反射率を含み、反射率の前記第 1 の値と前記第 2 の値との差は、前記第 1 の波長シフトセンサの屈折率変調の第 1 の振幅と前記第 2 の波長シフトセンサの屈折率変調の第 2 の振幅との差の関数である、請求項 1 に記載のセンサシステム。

10

【請求項 6】

前記光学特性は、入力光の減衰を含む、請求項 1 に記載のセンサシステム。

【請求項 7】

前記第 1 の波長シフトセンサは、前記光ファイバ上の第 1 の位置に配置されており、
前記第 2 の波長シフトセンサは、前記光ファイバ上の第 2 の位置に配置されており、
前記第 1 の値と前記第 2 の値との前記差は、前記第 1 の位置と前記第 2 の位置との間の距離に基づいている、請求項 2 に記載のセンサシステム。

20

【請求項 8】

前記光ファイバは、光散乱損失が前記光ファイバに沿って発生するように構成されており、

前記第 1 の値と前記第 2 の値との差は、前記散乱損失に基づいている、請求項 1 に記載のセンサシステム。

【請求項 9】

前記散乱損失の少なくとも一部は、前記光ファイバの屈曲部によるものである、請求項 8 に記載のセンサシステム。

【請求項 10】

前記光ファイバに光学的に結合され、また、
前記第 1 の波長シフトセンサ及び前記第 2 の波長シフトセンサから前記第 1 の光出力信号及び前記第 2 の光出力信号を受信し、
前記第 1 の波長帯域における波長シフト及び前記第 2 の波長帯域における波長シフトを検出し、かつ

30

前記第 1 の波長帯域における前記波長シフトにตอบสนองする第 1 の電気信号、及び前記第 2 の波長帯域における前記波長シフトにตอบสนองする第 2 の電気信号を生成するように構成された波長シフト検出器を更に備え、前記第 1 の電気信号の振幅と前記第 2 の電気信号の振幅との差は、前記第 1 の光出力信号の強度と前記第 2 の光出力信号の強度との差にตอบสนองする、請求項 1 に記載のセンサシステム。

【請求項 11】

前記波長シフトセンサは、ファイバブラッググレーティング (F B G) センサ及びファブリペローセンサのうちの 1 つ以上を含む、請求項 1 に記載のセンサシステム。

40

【請求項 12】

方法であって、
センサシステム用の入力光を生成する段階であって、前記センサシステムは、
光ファイバと、
前記光ファイバに刻まれた 1 組の波長シフトセンサと、を備え、前記 1 組の波長シフトセンサは、

光学特性の第 1 の値を有する少なくとも 1 つの第 1 の波長シフトセンサと、

前記第 1 の値とは異なる前記光学特性の第 2 の値を有する少なくとも 1 つの第 2 の

50

波長シフトセンサと、を含む、生成する段階と、

前記入力光の第 1 の波長帯域を第 1 の光出力信号として反射する段階であって、前記光学特性の前記第 1 の値は、前記第 1 の光出力信号の強度に影響を与える、段階と、

前記入力光の第 2 の波長帯域を第 2 の光出力信号として反射する段階であって、前記光学特性の前記第 2 の値は、前記第 2 の光出力信号の強度に影響を与える、段階と、を含む、前記光学特性は、反射率を含み、反射率の前記第 1 の値と前記第 2 の値との差は、前記光ファイバに刻まれた前記第 1 の波長シフトセンサのブラッグ波長の周期の第 1 の数と、前記光ファイバに刻まれた前記第 2 の波長シフトセンサのブラッグ波長の周期の第 2 の数との差の関数である、方法。

【請求項 1 3】

前記第 1 の値と前記第 2 の値との差は、前記第 1 の光出力信号及び前記第 2 の光出力信号のうち少なくとも 1 つの信号対雑音比 (S N R) の差を減少させるように構成されている、請求項 1 2 に記載の方法。

【請求項 1 4】

前記第 1 の波長帯域のシフトを検出し、前記シフトにตอบสนองして第 1 の電気信号を生成することと、

前記第 2 の波長帯域のシフトを検出し、前記シフトにตอบสนองして第 2 の電気信号を生成することと、を更に含み、前記第 1 の電気信号の振幅と前記第 2 の電気信号の振幅との差は、前記第 1 の光出力信号の強度と前記第 2 の光出力信号の強度との前記差にตอบสนองする、請求項 1 2 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

広帯域光は、多くの光センシング応用において入力光として使用される。波長多重化センシングシステムにおいて、広帯域光は、単一の光ファイバに沿って配置された多くの光ファイバセンサへの入力光として使用することができる。例えば、多数のファイバブラッググレーティング (fiber Bragg grating、 F B G) センサを光ファイバの異なる位置に配置することができ、各 F B G センサは異なる波長帯域を反射する。各 F B G センサは、広帯域入力光の異なるスペクトル部分をセンサからの出力光として反射する。複数の F B G センサのそれぞれの出力光は、スペクトル的に分解することができ、各センサからのセンシング情報の取得を可能にする。この技術は、多くの場合、波長多重化光センシングと呼ばれる。

【発明の概要】

【0002】

本明細書に記載の実施形態は、光ファイバを備えるセンサシステムを含む。1組の波長シフトセンサは、光ファイバに刻まれている。1組の波長シフトセンサは、入力光の第 1 の波長帯域を第 1 の光出力信号として反射するように構成された少なくとも 1 つの第 1 の波長シフトセンサを含む。第 1 の波長シフトセンサは、第 1 の光出力信号の強度を変更する光学特性の第 1 の値を有する。少なくとも 1 つの第 2 の波長シフトセンサは、入力光の第 2 の波長帯域を第 2 の光出力信号として反射するように構成される。第 2 の波長シフトセンサは、第 2 の光出力信号の強度を変更する光学特性の第 2 の値を有し、第 2 の値は第 1 の値とは異なる。

【0003】

実施形態は、光ファイバ上に 1 組の波長シフトセンサを刻むことを含むセンサシステムを製造する方法を含む。1組の波長シフトセンサは、入力光の第 1 の波長帯域を第 1 の光出力信号として反射するように構成された少なくとも 1 つの第 1 の波長シフトセンサを含む。第 1 の波長シフトセンサは、第 1 の光出力信号の強度に影響を与える光学特性の第 1 の値を有する。少なくとも 1 つの第 2 の波長シフトセンサは、入力光の第 2 の波長帯域を第 2 の光出力信号として反射するように構成される。第 2 の波長シフトセンサは、第 2 の光出力信号の強度に影響を与える光学特性の第 2 の値を有し、第 1 の値は第 2 の値とは

10

20

30

40

50

異なる。

【 0 0 0 4 】

方法は、センサシステム用の入力光を生成することを含む。センサシステムは、光ファイバを含む。1組の波長シフトセンサは、光ファイバに刻まれている。1組の波長シフトセンサは、光学特性の第1の値を有する少なくとも1つの第1の波長シフトセンサを含む。少なくとも1つの第2の波長シフトセンサは、第1の値とは異なる光学特性の第2の値を有する。入力光の第1の波長帯域は、第1の光出力信号として反射される。光学特性の第1の値は、第1の光出力信号の強度に影響を与える。入力光の第2の波長帯域は、第2の光出力信号として反射される。光学特性の第2の値は、第2の光出力信号の強度に影響を与える。

10

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 0 5 】

本明細書全体を通して、添付の図面を参照する。

【 図 1 】 スーパーluminescent 発光ダイオード (superluminescent light emitting diode、SLED) を含む広帯域光源のパワー出力を示す。

【 図 2 A 】 一部の実施形態による、光ファイバと、光ファイバに沿って刻まれた複数のFBGセンサの補償されたアレイとを含むセンシングシステムを示す。

【 図 2 B 】 一部の実施形態による、光ファイバと、1つ以上の屈曲部を有する光ファイバに沿って刻まれたFBGセンサの補償されたアレイとを含むセンシングシステムを示す。

【 図 3 】 一部の実施形態による、上部に刻まれた、屈折率変調により異なる反射率を有する第1及び第2のFBGセンサを含む補償されたセンサアレイを有する光ファイバを含むシステムを示す。

20

【 図 4 】 図 3 の第 1 及び第 2 の FBG センサの屈折率変調を示すグラフである。

【 図 5 】 一部の実施形態による、上部に刻まれた第1のFBGセンサ及び第2のFBGセンサを含む補償されたセンサアレイを有する光ファイバを含むセンサシステムを示し、第1のセンサ及び第2のセンサは、異なるセンサ長により異なる反射率を有する。

【 図 6 】 一部の実施形態による、上部に刻まれた第1及び第2のFBGセンサの補償されたアレイを有する光ファイバを含むシステムを示す図であり、各センサは、センサの中心波長又は波長帯域での減衰量が異なる。

【 図 7 A 】 一部の実施形態による、補償されていないセンサアレイ (図 7 A) を含むシステム内の複数のセンサからの反射光と、補償されたセンサアレイシステム (図 7 B) を含むシステム内の複数のセンサからの反射光とを示す比較グラフを提供し、センサは、光源のスペクトル不均一性を補償する異なる反射率を有する。

30

【 図 7 B 】 一部の実施形態による、補償されていないセンサアレイ (図 7 A) を含むシステム内の複数のセンサからの反射光と、補償されたセンサアレイシステム (図 7 B) を含むシステム内の複数のセンサからの反射光とを示す比較グラフを提供し、センサは、光源のスペクトル不均一性を補償する異なる反射率を有する。

【 図 8 】 一部の実施形態による、単一の光ファイバ上に配置された複数のFBGセンサを含む補償されたアレイを含む波長多重化センサシステムを示す。

【 図 9 】 シングルモード光ファイバケーブル上に配備されたFBGセンサから反射された光の理想的な表現である。

40

【 図 10 A 】 一部の実施形態による、デマルチプレクサ出力、波長シフト検出器、及び分析器の一部を示すブロック図である。

【 図 10 B 】 一部の実施形態による波長シフト検出器をより詳細に示す。

【 0 0 0 6 】

図面は、必ずしも縮尺どおりではない。図面に使用される同様の番号は、同様の構成要素を指す。しかしながら、所与の図面における構成要素を指す番号の使用は、同じ番号でラベル付けされた別の図面における構成要素を限定することを意図していないことが理解されるであろう。

【 発明を実施するための形態 】

50

【 0 0 0 7 】

広帯域光源のパワー出力は、通常、波長に関して不均一である。図 1 は、スーパーluminescent 発光ダイオード (S L E D) を含む広帯域光源の出力強度を示す。図 1 に示されるように、広帯域光源の強度は、光源のスペクトル全体にわたって波長と共に変化する。

【 0 0 0 8 】

広帯域光源は、単一の光ファイバ上に配置され、かつ多くの異なる波長帯域の光を反射する多くの F B G センサの入力光として使用できるため、波長多重化光センシングに有用である。入力光の強度 (又は光パワー) が波長に関して不均一であり、センサがそれらの波長帯域で実質的に同じ応答を有する場合、光ファイバに沿って配置された F B G センサによって反射される光の強度 (又は光パワー) も不均一になる。再び図 1 を参照すると、補償されていないセンサアレイにおいて、入力光の強度対波長曲線のピークに近い波長に対応する波長帯域を有する F B G センサは、より高い強度の光を反射する。入力光の強度対波長曲線のエッジの近くにある波長に対応する波長帯域を有するこれらの F B G センサは、より低い強度の光を反射する。F B G センサから情報を取得するシステムは、多くの場合、最小強度閾値を使用して、受信信号をノイズから分離する。すべての F B G センサからの測定信号が最小強度閾値よりも大幅に大きい場合、システムのノイズ特性が向上する。したがって、本明細書に記載の補償された F B G センサアレイを使用することが有用である可能性があり、センサからの反射光の強度がより均一である。本明細書に記載の実施形態は、波長シフトセンサの一例として F B G センサを使用するが、センサは、任意の他のタイプの波長シフトセンサ (例えば、ファブリペローセンサ) を含むことができることを理解されたい。

【 0 0 0 9 】

本明細書に記載の一部の実施形態は、光ファイバに沿って刻まれた複数の F B G センサへの入力光のスペクトル不均一性を補償するシステム及び方法を対象とする。図 2 A は、一部の実施形態による、光ファイバ 2 7 5 と、光ファイバ 2 7 5 に沿った様々な位置に刻まれた複数の F B G センサ 2 1 0 ~ 2 6 0 を含む補償されたアレイとを含むセンシングシステム 2 0 1 を示す。各 F B G センサ 2 1 0 ~ 2 6 0 は、光源 2 9 0 からの入力光を受光し、入力光の一部分を F B G センサ 2 1 0 ~ 2 6 0 の波長帯域で反射するように構成される。

【 0 0 1 0 】

システム 2 0 1 の補償されたセンサアレイは、光学特性の第 1 の値を有する少なくとも第 1 の F B G センサ 2 1 0 を含む。第 1 の F B G センサ 2 1 0 は、第 1 の波長帯域を第 1 の F B G センサ 2 1 0 からの第 1 の光出力信号として反射するように構成される。システム 2 0 1 の補償されたセンサアレイは、光学特性の第 2 の値を有する少なくとも第 2 の F B G センサ 2 2 0 を含む。第 2 の F B G センサ 2 2 0 は、入力光の第 2 の波長帯域を第 2 の F B G センサ 2 2 0 からの第 2 の光出力信号として反射するように構成される。光学特性は、センサ 2 1 0 、 2 2 0 によって反射される光の強度に影響を与える。光学特性の第 1 の値と第 2 の値との差は、第 1 の F B G センサ 2 1 0 の第 1 の光出力信号の強度と第 2 の F B G センサ 2 2 0 の第 2 の光出力信号の強度との差を減少させるように構成される。

【 0 0 1 1 】

複数の F B G センサ 2 1 0 ~ 2 6 0 への入力光におけるスペクトル不均一性の 1 つの潜在的な原因は、図 1 に関連して前述したように、入力光源 2 9 0 のスペクトル不均一強度出力から生じる。複数の F B G センサ 2 1 0 ~ 2 6 0 への入力光における不均一性の別の潜在的な原因は、光ファイバ 2 7 5 における散乱損失から生じる。例えば、光源 2 9 0 のより近くに位置する第 1 の F B G センサ 2 1 0 は、より高い強度の入力光を受光することができ、光源 2 9 0 からより遠くに位置する第 2 の F B G センサ 2 2 0 は、入力光が光ファイバ 2 7 5 に沿って移動するとき発生する散乱損失のために、比較的低い強度の入力光を受光することができる。これらの状況では、光学特性の第 1 の値と第 2 の値との差は、センサ間の距離に基づく可能性がある。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 2 】

図 2 B に示されるように、センシングシステム 2 0 2 の一部の構成では、光ファイバ 2 7 5 は、光ファイバ 2 7 5 に 1 つ以上の屈曲部 2 8 5 を含むように構成されてもよい。屈曲部 2 8 5 は、散乱損失を増大させ、光源 2 9 0 と屈曲部 2 8 5 との間に位置付けられた F B G センサ 2 1 0 ~ 2 3 0 に、屈曲部 2 8 5 の後に位置する F B G センサ 2 4 0 ~ 2 6 0 によって受光されたより低い強度の入力光に対してより高い強度の入力光を受光させることができる。

【 0 0 1 3 】

例えば、センサ間の距離、散乱損失、光ファイバの屈曲部、入力光源のスペクトル不均一性、及び / 又は他の変動源による入力光の変動を補償するために、光ファイバ 2 7 5 に沿って配置された F B G センサ 2 1 0 の少なくとも 1 つは、少なくとも 1 つの他の F B G センサ 2 2 0 の 1 つ以上の光学特性の値とは異なる 1 つ以上の光学特性の値を有し得る。第 1 及び第 2 の F B G センサ 2 1 0、2 2 0 の 1 つ以上の光学特性の値の差は、第 1 の F B G センサ 2 1 0 の第 1 の光出力信号と第 2 の F B G センサ 2 2 0 の第 2 の光出力信号との差を減少させるように構成される。例えば、一部の実施形態では、補償された F B G センサアレイは、第 1 及び第 2 の光出力信号の強度を実質的に等しくする、又は互いに 1 0 % 以内にする、又は互いに 2 0 % 以内にする事ができる。例えば、第 1 の光信号と第 2 の光信号との強度の差は、第 1 の波長帯域における第 1 のセンサの 1 つ以上の光学特性の値が、第 2 の波長帯域における第 2 のセンサの光学特性の値と実質的に等しいシステムと比較した場合に、5 %、2 5 %、又は更には 5 0 % だけ減少する可能性がある。

【 0 0 1 4 】

一部の実施形態では、第 1 及び第 2 の F B G センサに対して異なる値を有する補償光学特性は反射率である。図 3 は、一部の実施形態による、上部に刻まれた、異なる反射率を有する第 1 及び第 2 の F B G センサ 3 1 0、3 2 0 を含む補償されたセンサアレイを有する光ファイバ 3 7 5 を含むシステム 3 0 0 を示す。図 3 のセンシングシステム 3 0 0 は 2 つの F B G センサ 3 1 0、3 2 0 を示しているが、より多くの F B G センサが光ファイバ 3 7 5 上に配置され得ることが理解されることに留意されたい。第 1 の F B G センサ 3 1 0 は第 1 の波長帯域を反射し、第 2 の F B G センサ 3 2 0 は第 1 の波長帯域とは異なる第 2 の波長帯域を反射する。第 1 のセンサ 3 1 0 は、第 1 の波長帯域で比較的低い強度の入力光を受光することができ、第 1 の波長帯域で比較的高い反射率を有する。第 2 のセンサ 3 2 0 は、第 2 の波長帯域で比較的高い強度の入力光を受光することができ、第 2 の波長帯域で比較的低い反射率を有する。この構成では、それぞれの波長帯域における第 1 の F B G センサ 3 1 0 及び第 2 の F B G センサ 3 2 0 の反射率の差は、第 1 の F B G センサ 3 1 0 の第 1 の光出力信号の強度と第 2 の F B G センサ 3 2 0 の第 2 の光出力信号の強度との差を減少させる。

【 0 0 1 5 】

F B G センサは、F B G センサに関連するブラッグ波長付近の波長帯域を出力光として反射し、他の波長を透過する光ファイバの一部として構成されてもよい。F B G センサは、光ファイバコアの長さに沿って屈折率を周期的に変化させることによって形成することができる。ブラッグ波長と呼ばれる反射波長 B は、

$$B = 2 \cdot e_{eff} \cdot \Lambda$$

式中、 e_{eff} はセンサの実効屈折率であり、 Λ はセンサの周期である。

【 0 0 1 6 】

F B G センサの反射率は、センサの長さ（周期数）と F B G センサの屈折率変調の強度の一方又は両方に依存する。図 4 は、第 1 及び第 2 の F B G センサ 3 1 0、3 2 0 の屈折率変調を示すグラフである。屈折率変調は、変調の 2 つの屈折率値の差である。第 1 のセンサ 3 1 0 の屈折率変調 $n_2 - n_1$ は、第 1 の F B G センサ 3 1 0 の第 1 の波長帯域で第 1 の反射率値を生成する。第 2 のセンサ 3 2 0 の屈折率変調 $n_3 - n_1$ は、第 2 の F B G センサ 3 2 0 の第 2 の波長帯域で第 2 の反射率値を生成する。例えば、第 1 のセンサ 3 1 0 の反射率と第 2 のセンサ 3 2 0 の反射率との差は、例えば 5 % ~ 9 5

%であってもよい。

【0017】

一部の実施態様では、FBGセンサの反射率は、FBGセンサの屈折率変調の周期数の関数であるFBGセンサの長さに依存することができる。図5は、上部に刻まれた第1のFBGセンサ510及び第2のFBGセンサ520を含む補償されたセンサアレイを有する光ファイバ575を含むセンサシステムを示し、第1のセンサ510及び第2の520は、センサ長により異なる反射率を有する。センサ510、520のそれぞれの長さは、例えば、約0.5 μ m～約10mmの範囲であり得る。第1のFBGセンサ510は、屈折率変調の周期の数 N_1 が比較的小さく、それに対応して第1のセンサ510の波長帯域における反射率がより低い。第1のFBGセンサ510と比較して、第2のFBGセンサ520は、屈折率変調の周期の数 N_2 が比較的大きく、それに対応して第2のセンサ520の波長帯域における反射率がより高い。例えば、第1のFBGセンサ510は、全長 N_1 に対して周期 λ_1 及び周期の数 N_1 を有し得る。第2のFBGセンサ520は、全長 N_2 に対して周期 λ_2 及び周期の数 N_2 を有してもよく、ここで $N_1 < N_2$ 及び/又は $N_1 \lambda_1 < N_2 \lambda_2$ である。

10

【0018】

一部の実施形態では、第1及び第2のFBGセンサに対して異なる値を有する補償光学特性は光減衰である。図6は、上部に刻まれた第1及び第2のFBGセンサ610、620を含む補償されたセンサアレイを有する光ファイバ675を含むシステム600を示す。図6のセンシングシステム600は2つのFBGセンサ610、620を示しているが、より多くのFBGセンサが光ファイバ675上に配置され得ることが理解されることに留意されたい。第1のFBGセンサ610は第1の波長帯域で動作し、第2のFBGセンサ620は第1の波長帯域とは異なる第2の波長帯域で動作する。第1のセンサ610は、第1の波長帯域で比較的低い強度の入力光を受光することができ、また、第1の波長帯域でより低い光減衰を有する。第2のセンサ620は、第2の波長帯域で比較的高い強度の入力光を受光することができ、また、第1のFBGセンサ610と比較して第2の波長帯域で比較的高い減衰を有し得る。この構成では、それぞれの波長帯域における第1及び第2のFBGセンサ610、620の減衰値の差は、第1のFBGセンサ610の第1の光出力信号の強度と第2のFBGセンサ620の第2の光出力信号の強度との差を減少させる。

20

【0019】

光の減衰は、例えば、散乱、反射、偏向、吸収、及び/又は回折などの多くのプロセスの結果であり得る。材料は、低減衰を考慮して、長距離にわたって使用されるような材料を選択することができ、及び/又は高減衰を考慮して、光ファイバ減衰器内の材料のような材料を選択することができ、これは光を吸収する。光路における不連続性もまた、散乱を導入し、光を減衰させることができる。不連続性は、例えば、材料のドーピング、導波路構造の欠陥、及び/又は材料の遷移(光ファイバコネクタ)によって導入することができる。

30

【0020】

本明細書に記載の様々な実施形態によれば、入力光の減衰には複数の例がある。減衰損失は、ファイバケーブル材料に固有のものである可能性がある。より短い距離では、この損失は無視することができるが、数百又は数千キロメートルを横断する場合、これは、例えば、散乱及び/又は吸収のために顕著になる。減衰損失は、ファイバケーブルの最大曲げ半径に固有のものである可能性がある。例えば、ファイバケーブルの鋭い屈曲部は、光が導波路から散乱することを可能にする。場合によっては、減衰損失は光路の不連続性に起因する可能性がある。例えば、光ファイバコネクタ(即ち、LC/APC、FC/APCなど)は、2つの接続導波路間の光の不完全な結合のためにシステムに損失を導入する。様々な実施形態によれば、損失は、光スプリッタに起因する可能性がある。光ファイバスプリッタは、入力光を複数の出力導波路に分割するために使用され、これにより、出力光は入力光よりも低い信号を有するようになり得る。一部の実施形態では、損失は、光

40

50

減衰器に起因する可能性がある。光ファイバ減衰器を使用して、導波路内の光の強度を意図的に減衰させることができる。この構成要素は光を吸収するために使用されることが多く、それによって透過する光のパワーを減少させる。これは、例えば読み出しセンサが飽和状態にある場合に特に有用である。

【0021】

上述のアプローチは、センサ出力信号が入力光強度の差に対して補償される、補償されたセンサアレイを有するシステムを提供する。これらのシステムは、FBGセンサからの反射光の強度の差を減少させる。図7A及び図7Bは、補償されていないシステム内の複数のセンサからの反射出力信号と補償されたアレイ内の複数のセンサからの反射出力信号を比較するグラフである。図7Aでは、補償されていないアレイ内のセンサは、入力光の強度の差に対して補償されない。図7Bでは、補償されたアレイ内の各センサは、光源のスペクトル不均一性による入力光の強度の差を補償する反射率を有する。図7A及び図7Bから、補償されていないアレイ(図7A)内のセンサから反射された光の強度の差と比較した場合、補償されたアレイ(図7B)内のセンサから反射された光の強度の差が減少することが理解されよう。

10

【0022】

先に議論され、ここで図8に示されるように、波長多重化システム800は、単一の光ファイバ811上に配置された複数のFBGセンサ821、822、823を含む補償されたセンサアレイを使用することができる。センサ821~823は、例えば、温度、歪み、及び/又は振動のうちの一つ以上を含むパラメータを感知するように構成することができる。図8に示されるように、入力光は、例えば、発光ダイオード(light emitting diode、LED)又はスーパーluminescentレーザーダイオード(superluminescent laser diode、SLD)を含むか、又はそれらであり得る光源810によって提供される。広帯域光のスペクトル特性(強度対波長)は、挿入グラフ891によって示されている。強度はスペクトルの中央付近で最も高く、スペクトルのエッジで低下する。センサ821、822、823は、センサによって反射された出力信号光の強度の差を減少させて、例えば光源のスペクトル不均一性及び/又は光ファイバにおける散乱損失に起因して強度が不均一である入力光を補償する補償、例えば、異なる反射率及び異なる減衰のうちの一つ以上を含む。入力光は光ファイバ(FO)ケーブル811を介して第1のFBGセンサ821に伝達される。第1のFBGセンサ821は、中心波長 λ_1 を有する第1の波長帯域の光の一部を反射する。第1の波長帯域内以外の波長を有する光は、第1のFBGセンサ821を透過して第2のFBGセンサ822に伝達される。第2のFBGセンサ822に伝達された光のスペクトル特性は、挿入グラフ892に示されており、 λ_1 を中心とする第1の波長帯域でノッチ881を示し、この波長帯域の光が第1のセンサ821によって反射されることを示す。

20

30

【0023】

第2のFBGセンサ822は、中心波長 λ_2 を有する第2の波長帯域の光の一部を反射する。第2のFBGセンサ822によって反射されない光は、第2のFBGセンサ822を透過して第3のFBGセンサ823に伝達される。第3のFBGセンサ823に伝達された光のスペクトル特性は、挿入グラフ893に示されており、 λ_1 及び λ_2 を中心とするノッチ881、882を含む。

40

【0024】

第3のFBGセンサ823は、中心波長又はピーク波長 λ_3 を有する第3の波長帯域の光の一部を反射する。第3のFBGセンサ823によって反射されない光は、第3のFBGセンサ823を透過する。第3のFBGセンサ823を透過した光のスペクトル特性は、挿入グラフ894に示されており、 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 を中心とするノッチ881、882、883を含む。

【0025】

中心波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 (挿入グラフ895に示されている)を有する波長帯域861、862、863の光は、FOケーブル811及び811'に沿って、それぞれ第1

50

、第2又は第3のFBGセンサ821、822、823によって光波長デマルチプレクサ850に反射される。センサ821、822、823の補償入力特性は、補償されていないセンサアレイからの強度ピークと比較した場合、光861、862、863の強度ピークの差を減少させる。

【0026】

波長デマルチプレクサ850から、センサ光861、862、863は、波長シフト検出器855に送られてもよく、それは、センサ光の中心波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 及び/又は波長帯域のシフトに応答する電気信号を生成する。波長シフト検出器855は、センサのそれぞれからの反射光を受光し、センサ821～823によって反射された光の中心波長 λ_1 、 λ_2 及び λ_3 又は波長帯域のシフトに応答して対応する電気信号を生成する。分析器856は、シフトと特徴的な基本波長(既知の波長)を比較して、センサ821～823によって感知されたパラメータの値に変化が発生したか否かを判定することができる。分析器856は、感知されたパラメータの1つ以上の値が波長シフト分析に基づいて変化したことを判定し、変化の相対的又は絶対的測定値を計算することができる。

10

【0027】

場合によっては、広帯域光を放射する代わりに、光源は波長範囲を走査して、FOケーブル上に配置された様々なセンサが敏感な狭い波長帯域の光を放射することができる。反射光は、狭帯域光の放射に対して計時されるいくつかの感知期間中に感知される。例えば、センサ1、2、及び3がFOケーブル上に配置されているシナリオを考える。センサ1は波長帯域(WB1)に敏感であり、センサ2は波長帯域WB2に敏感であり、センサ3はWB3に敏感である。光源は、期間1の間にWB1を有する光を放射し、期間1と重なる期間1aの間に反射光を感知するように制御されてもよい。期間1aに続いて、光源は、期間2の間にWB2を有する光を放射し、期間2と重なる期間2aの間に反射光を感知することができる。期間2aに続いて、光源は、期間3の間にWB3を有する光を放射し、期間3と重なる期間3aの間に反射光を感知することができる。このバージョンの時間領域多重化を使用すると、センサのそれぞれを個別の期間中に問い合わせることができる。狭帯域光源の強度が変化する場合、本明細書に記載されるような補償されたセンサアレイは、光源の強度変動を補償するのに有用であり得る。

20

【0028】

FOケーブルは、シングルモード(single mode、SM)FOケーブル(図8に示されるように)を含んでもよく、又はマルチモード(multi-mode、MM)FOケーブルを含んでもよい。シングルモード光ファイバケーブルは、より解釈しやすい信号を提供するが、より広い適用性及びより低い製造コストを達成するために、マルチモードファイバを使用してもよい。MMファイバは、通常SMファイバに使用されるシリカではなく、プラスチックで作られてもよい。プラスチックファイバは、シリカファイバの回転半径と比較した場合、より小さい回転半径を有し得る。これは、例えば、湾曲した構成又は柔軟な構成の可能性を提供することができる。更に、MMファイバは、スーパーミネセントダイオード(SLD)とのより正確な位置合わせを必要とし得るSMファイバとは対照的に、より安価な光源(例えば、LED)で動作することができる。したがって、MMファイバ内の光学センサに基づくセンシングシステムは、より低コストのシステムを生み出すことができる。

30

40

【0029】

図9は、SM FOケーブル上に配備されたFBGセンサから反射された光の理想的な表現である。特徴的な基本状態又は既知の状態では、FBGセンサは、中心(又は重心)波長 λ_0 を有する比較的狭い波長帯域910の光を反射する。FBGセンサが感知条件の変化、例えば、温度、歪み、化学的環境の変化を経験した後、センサによって反射された光は、中心(又は重心)波長 λ_s を有する異なる波長帯域920にシフトする。波長帯域920は、波長帯域910と比較した場合、幅、振幅及び他の形態学的特徴が類似しているが、波長帯域920の波長 λ_s は、感知条件の変化に関連する量だけ、波長帯域910の波長 λ_0 からシフトする930。

50

【 0 0 3 0 】

図 1 0 A は、図 8 のシステム 8 0 0 で使用できるデマルチプレクサ出力、波長シフト検出器、及び分析器の一部を示すブロック図である。デマルチプレクサ出力は、センサ 8 2 1、8 2 2、8 2 3 それぞれから逆多重化された反射光を運ぶ 3 つの光ファイバ 1 0 4 5、1 0 4 6、1 0 4 7 を含む。補償されたシステムでは、入力光に対する補償を含まない実質的に同様のシステムと比較した場合、センサのそれぞれによって運ばれる光の強度はより均一である。感知されたパラメータの値が変化するにつれて、第 1 のセンサ 8 2 1 によって反射された光の中心波長又は重心波長は、 λ_1 から $\lambda_1 + \Delta\lambda_1$ にシフトする可能性があり、第 2 のセンサ 8 2 2 によって反射された光の中心波長又は重心波長は、 λ_2 から $\lambda_2 + \Delta\lambda_2$ にシフトする可能性があり、そして、第 3 のセンサ 8 2 3 によって反射された光の中心波長又は重心波長は、 λ_3 から $\lambda_3 + \Delta\lambda_3$ にシフトする可能性がある。素子 1 0 0 0 - 1、1 0 0 0 - 2、1 0 0 0 - 3 を含む波長シフト検出器は、それぞれ、その対応する導波路 1 0 4 5、1 0 4 6、1 0 4 7 から逆多重化された反射光を受光し、反射光の中心波長又は波長帯域のシフトにตอบสนองする電気信号を生成する。分析器は、既知のベースライン又は以前の値へのシフトを示す、波長シフト検出器素子 1 0 0 0 - 1、1 0 0 0 - 2、1 0 0 0 - 3 からの各電気信号を比較して、センサによって感知されたパラメータの値に変化が発生したか否かを判定することができる。

10

【 0 0 3 1 】

図 1 0 B は、一部の実施形態による波長シフト検出器 1 0 0 0 をより詳細に示す。任意選択で、波長シフト検出器 1 0 0 0 は、デマルチプレクサの出力導波路 1 0 4 0 からの光を、線形可変透過構造 (linearly variable transmission structure、L V T S) 1 0 1 0 又は他の空間分散光学素子の入力面にわたってコリメート及び/又は拡散するように構成された拡散構成要素 1 0 0 5 を含む。出力導波路 1 0 4 0 から十分な光の拡散が生じる配置では、拡散構成要素 1 0 0 5 を使用しなくてもよい。L V T S 1 0 1 0 は、プリズム又は線形可変フィルタなどの分散素子を含む。L V T S 1 0 1 0 は、その入力面 1 0 1 0 a において導波路 1 0 4 0 及び (任意選択的に) 拡散構成要素 1 0 0 5 から光 1 0 9 1 を受光し、その出力面 1 0 1 0 b からの光を光検出器対 1 0 2 0 に伝達する。L V T S 1 0 1 0 の出力面 1 0 1 0 b において、光の波長は、出力面 1 0 1 0 b に沿った距離と共に変化する。

20

【 0 0 3 2 】

光検出器対 1 0 2 0 は、L V T S 1 0 1 0 を透過した光 1 0 9 2 が光検出器対 1 0 2 0 に入射するように、L V T S 1 0 1 0 に対して位置付けられる。例えば、波長 λ_1 を有する光 1 0 9 2 は主に光検出器 1 0 2 1 に入射する可能性があり、波長 $\lambda_1 + \Delta\lambda_1$ を有する光 1 0 9 2 は主に光検出器 1 0 2 2 に入射する可能性がある。光検出器 1 0 2 1 は、その感光面に入射する光にตอบสนองして信号 I_1 を生成し、光検出器 1 0 2 2 は、その感光面に入射する光にตอบสนองして信号 I_2 を生成する。信号 I_1 、 I_2 は、感知されたパラメータに関する情報を含み、それにより、 I_1 と I_2 の比の変化が感知されたパラメータの変化を示す。式

30

【 0 0 3 3 】

【 数 1 】

$$I_1 = \frac{I_{11} - I_{12}}{I_{11} + I_{12}}$$

40

を用いて、変化にตอบสนองする電気信号を算出することができる。図 1 0 A にされる分析器は、センサによって感知されたパラメータの値の変化を示す I の変化を検出するように構成することができる。

【 0 0 3 4 】

一部の実施形態では、システムは、第 1 及び第 2 のセンサに対応する第 1 及び第 2 の電気信号を含む。第 1 の電気信号は、第 1 のセンサによって感知されたパラメータのシフトにตอบสนองし、第 2 の電気信号は、第 2 のセンサによって感知されたパラメータのシフトに

50

応答する。入力光に対する第 1 及び第 2 のセンサの補償は、第 1 のセンサの第 1 の光出力信号の強度と第 2 のセンサの第 2 の光出力信号の強度との差を減少させる。第 1 の出力信号の強度と第 2 の出力信号の強度との差を減少させることは、それに応じて、第 1 の電気信号の振幅と第 2 の電気信号の振幅との差を減少させる。

【 0 0 3 5 】

主題は、構造的特徴及び / 又は方法論的行為に固有の言語で記載されているが、添付の特許請求の範囲で定義される主題は、必ずしも上記の特定の特徴又は行為に限定されないことを理解されたい。むしろ、上記の特定の特徴及び行為は、特許請求の範囲を実施する代表的な形態として開示されている。

10

20

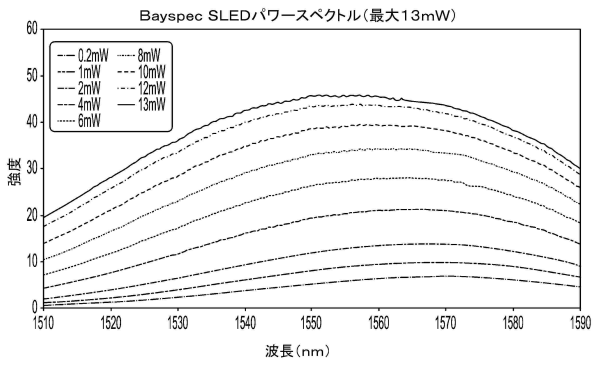
30

40

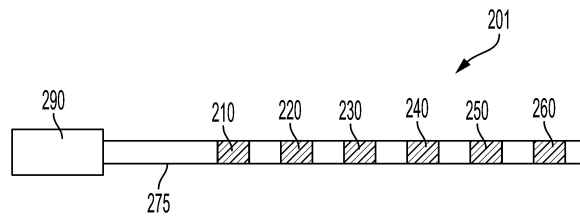
50

【図面】

【図 1】

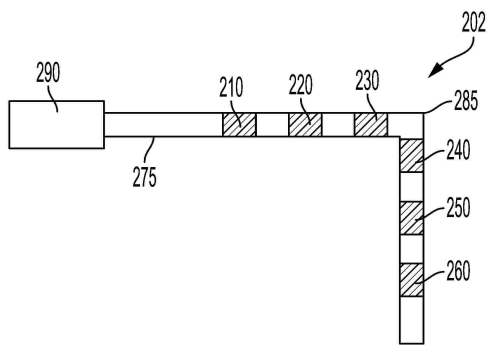


【図 2 A】

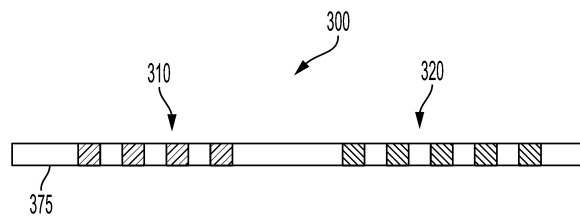


10

【図 2 B】

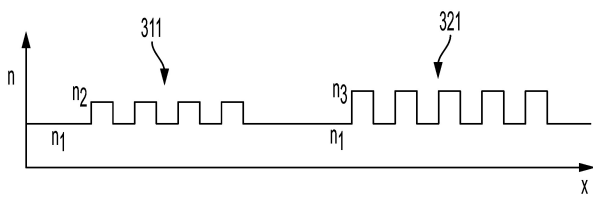


【図 3】

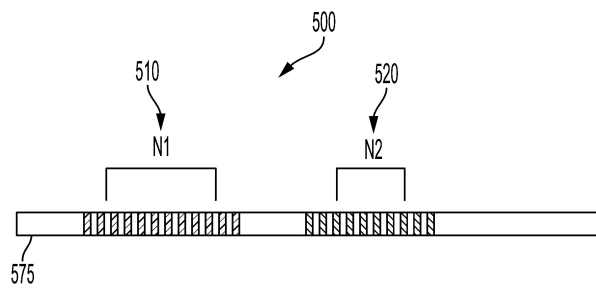


20

【図 4】



【図 5】

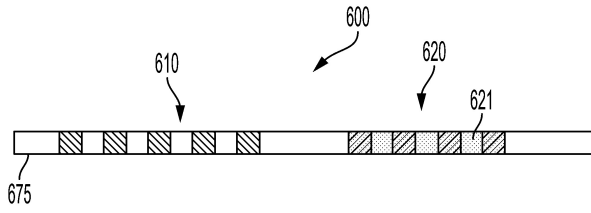


30

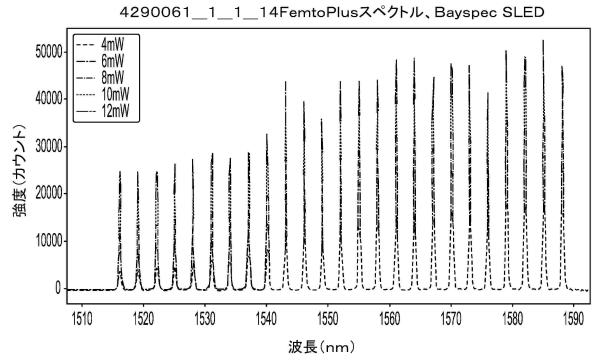
40

50

【図6】

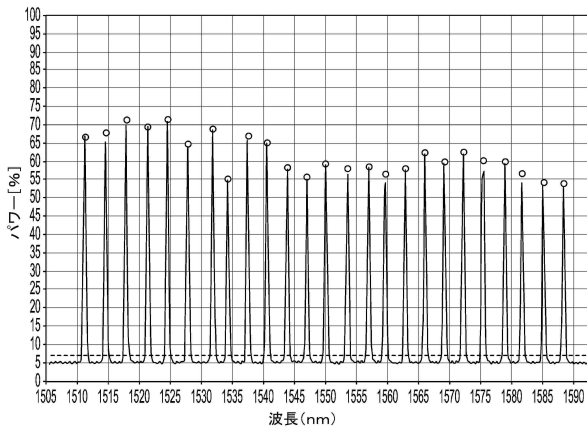


【図7A】

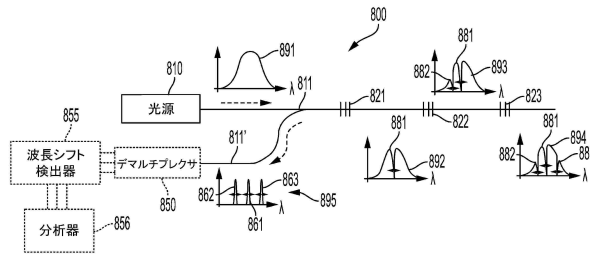


10

【図7B】

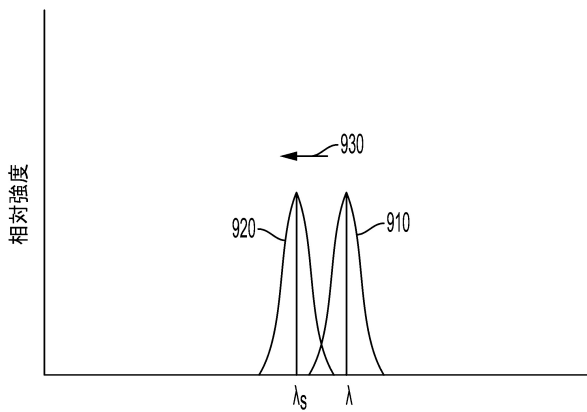


【図8】

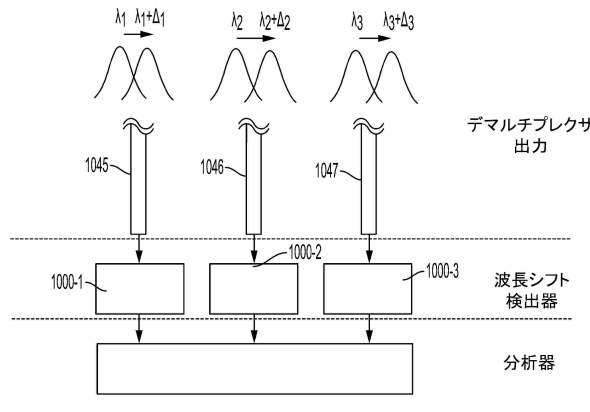


20

【図9】




【図10A】

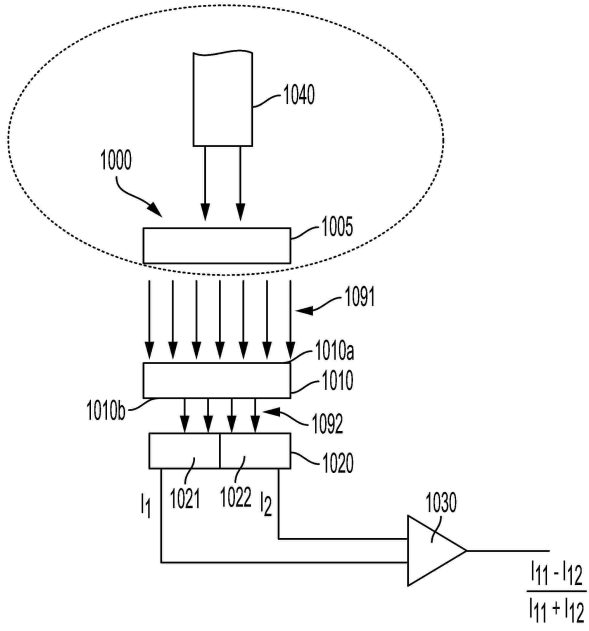


30

40

50

【 1 0 B】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- 上杉 浩
(74)代理人 100120525
弁理士 近藤 直樹
- (74)代理人 100139712
弁理士 那須 威夫
- (72)発明者 カイル・アラカキ
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 3 0 4 パロアルト, コヨーテ ヒル ロード 3 3 3 3
- (72)発明者 ピーター・キーゼル
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 3 0 4 パロアルト, コヨーテ ヒル ロード 3 3 3 3
- (72)発明者 アジェイ・ラガヴァン
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 3 0 4 パロアルト, コヨーテ ヒル ロード 3 3 3 3
- 審査官 菅藤 政明
- (56)参考文献 特開2004-334712(JP, A)
国際公開第2020/203373(WO, A1)
特表2000-503114(JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
- | | |
|---------|-----------|
| G 0 1 D | 5 / 3 5 3 |
| G 0 1 K | 1 1 / 3 2 |
| G 0 1 V | 8 / 1 6 |
| G 0 1 H | 9 / 0 0 |
| G 0 1 L | 1 / 2 4 |
| G 0 1 B | 1 1 / 1 6 |