

(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2015-31594
(P2015-31594A)

(43) 公開日 平成27年2月16日(2015.2.16)

(51) Int.Cl.

G01D 5/353 (2006.01)

F I

G01D 5/353

C

テーマコード(参考)

2F103

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2013-161032(P2013-161032)
(22) 出願日 平成25年8月2日(2013.8.2)

(71) 出願人 000000572
アンリツ株式会社
神奈川県厚木市恩名五丁目1番1号
(74) 代理人 100119677
弁理士 岡田 賢治
(74) 代理人 100115794
弁理士 今下 勝博
(72) 発明者 斉藤 崇記
神奈川県厚木市恩名五丁目1番1号 アン
リツデバイス株式会社内
Fターム(参考) 2F103 BA47 CA03 CA04 CA06 EB05
EB16 EC09 EC10

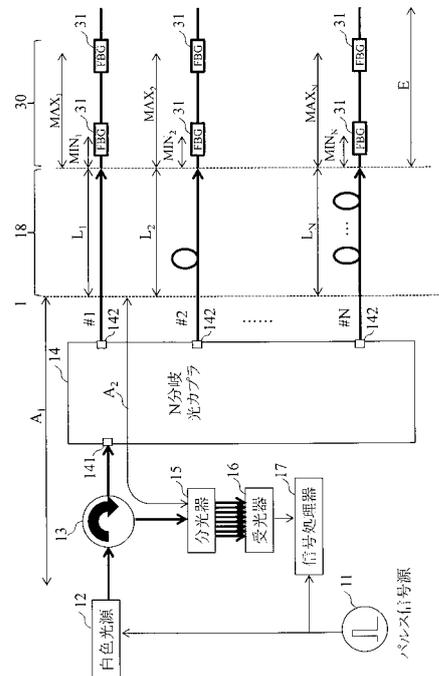
(54) 【発明の名称】 多チャンネルFBGセンサモニタシステム及び多チャンネルFBGセンサモニタ方法

(57) 【要約】

【課題】本発明は、複数個所の物理量を同時に測定することの可能な多チャンネルFBGセンサモニタシステム及び多チャンネルFBGセンサモニタ方法の提供を目的とする。

【解決手段】本発明は、光カプラ14の各出力ポートに複数のFBGが縦列に接続されたFBGラインを接続し、入力ポートから入力された測定光を光カプラ14の各出力ポートから出力し、光カプラ14の出力ポートとFBGライン30との間に挿入された光遅延器18を用いて、測定光がFBGライン30のいずれかのFBGで反射された反射光の光カプラ14への入力タイミングをずらし、光カプラ14へ戻った反射光をAWG15で波長ごとに分離し、PD16で受光する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

複数の F B G (F i b e r B r a g g G r a t i n g) が縦列に接続された F B G ラインが並列に配置された各出力ポートに接続可能であり、入力ポートから入力された測定光を各出力ポートに分岐して出力する光カプラ (1 4) と、

前記 F B G ラインに備わる F B G の少なくともいずれかの反射波長を含む測定光を出射する光源 (1 2) と、

前記光カプラの出力ポートと前記 F B G ラインの間に接続され、前記光源からの測定光が前記光カプラの各出力ポートから出力された後に前記 F B G ラインのいずれかの F B G で反射された反射光を、異なるタイミングで前記光カプラに入力させる光遅延器 (1 8) と、

前記光遅延器で遅延後の反射光をあらかじめ定められた波長ごとに分離する分光器 (1 5) と、

前記分光器で分離された反射光の光強度を前記波長ごとに検出する受光器 (1 6) と、
を備える多チャンネル F B G センサモニタシステム。

【請求項 2】

複数の F B G が縦列に接続された F B G ラインを光カプラ (1 4) の各出力ポートに接続した状態で、前記 F B G ラインに備わる F B G の少なくともいずれかの反射波長を含む測定光を前記光カプラの入力ポートに入力し、前記光カプラに入力された測定光を分岐して前記 F B G ラインに向けて出力する光出力手順と、

前記光カプラの出力ポートと前記 F B G ラインの間に接続された光遅延器 (1 8) を用いて、前記測定光が前記光カプラの各出力ポートから出力された後に前記 F B G ラインのいずれかの F B G で反射された反射光を、異なるタイミングで前記光カプラに入力させる光遅延手順と、

前記光遅延器で遅延後の反射光をあらかじめ定められた波長ごとに分離し、分離された反射光の光強度を前記波長ごとに検出する受光手順と、

を順に有する多チャンネル F B G センサモニタ方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、複数のブラッグ回折格子 (以下、 F B G (F i b e r B r a g g G r a t i n g) と記載する。) が縦列に接続された F B G ラインを用いて物理量を測定する多チャンネル F B G センサモニタシステム及び方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

測定光が入射される光ファイバに一以上の F B G が形成され、各 F B G からの反射波長を測定して各 F B G の位置における温度や歪み等の物理量を測定する F B G センサモニタシステムが提案されている。 F B G センサモニタシステムでは、各 F B G からの反射光をアレイ導波路回折格子 (A W G : A r r a y e d W a v e g u i d e G r a t i n g) に入射させ、この A W G で分離された各波長の光強度を、受光器を用いて検出する。これにより、 F B G の反射波長を測定する。

【0003】

特許文献 1 の発明は、各受光器の波長感度がほぼ直線的であるような波長範囲を用い、2 次関数を用いて波長測定を行う。これにより、 A W G の波長チャンネル間隔よりも高い精度で F B G の反射波長を測定することを可能にする。

特許文献 2 の発明は、隣接する波長チャンネルの光強度を用いて、反射波長が長波長側にシフトしたのか短波長側にシフトしたのかを判定する。これにより、特許文献 2 の発明は、 F B G の反射波長が A W G の波長チャンネルの中心波長付近である場合であっても F B G の反射波長を正確に測定することを可能にする。

【先行技術文献】

10

20

30

40

50

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2000-180270号公報

【特許文献2】特開2008-151574号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

近年、CFRP (Carbon - Fiber - Reinforced Plastic) を機体部材に使用した航空機が運用されている。CFRPは金属と比較して高強度、軽量の特徴を持つが、衝撃が印加された場合、表面は無傷でも内部に亀裂が入る場合があり、この亀裂が成長して機体強度を低下させる恐れがある。そこでCFRP表面に歪センサーとしてFBGを貼り付け、衝撃印加時の歪など、いわゆる動的歪み(動的物理量)をFBGで測定する研究が進められている。機体表面積は広大であるため、もれなく衝撃を検知するためには数十のFBGが必要である。FBGは、その反射波長をずらしながら、1つのFBGラインに縦列に接続できるが、その数は10程度である。

10

【0006】

複数のFBGラインを用いて複数個所の物理量をほぼ同時に測定することが要求されている。しかし、特許文献1及び2の発明は、1本のFBGラインの測定を前提として構成となっているため、同時に測定できる箇所は高々10程度である。

【0007】

20

そこで、本発明は、測定箇所を飛躍的に向上させた多チャンネルFBGセンサモニタシステム及び多チャンネルFBGセンサモニタ方法の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本願発明の多チャンネルFBGセンサモニタシステムは、

複数のFBG (Fiber Bragg Grating) が縦列に接続されたFBGラインが並列に配置された各出力ポートに接続可能であり、入力ポートから入力された測定光を各出力ポートに分岐して出力する光カプラ(14)と、

前記FBGラインに備わるFBGの少なくともいずれかの反射波長を含む測定光を出射する光源(12)と、

30

前記光カプラの出力ポートと前記FBGラインの間に接続され、前記光源からの測定光が前記光カプラの各出力ポートから出力された後に前記FBGラインのいずれかのFBGで反射された反射光を、異なるタイミングで前記光カプラに入力させる光遅延器(18)と、

前記光遅延器で遅延後の反射光をあらかじめ定められた波長ごとに分離する分光器(15)と、

前記分光器で分離された反射光の光強度を前記波長ごとに検出する受光器(16)と、を備える。

【0009】

40

本願発明の多チャンネルFBGセンサモニタシステムは、

複数のFBGが縦列に接続されたFBGラインを光カプラ(14)の各出力ポートに接続した状態で、前記FBGラインに備わるFBGの少なくともいずれかの反射波長を含む測定光を前記光カプラの入力ポートに入力し、前記光カプラに入力された測定光を分岐して前記FBGラインに向けて出力する光出力手順と、

前記光カプラの出力ポートと前記FBGラインの間に接続された光遅延器(18)を用いて、前記測定光が前記光カプラの各出力ポートから出力された後に前記FBGラインのいずれかのFBGで反射された反射光を、異なるタイミングで前記光カプラに入力させる光遅延手順と、

前記光遅延器で遅延後の反射光をあらかじめ定められた波長ごとに分離し、分離された反射光の光強度を前記波長ごとに検出する受光手順と、

50

を順に有する。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、複数個所の物理量を同時に測定することの可能な多チャンネルFBGセンサモニタ方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る多チャンネルFBGセンサモニタシステムの一例を示す。

【図2】本実施形態に係る測定光の一例であり、(a)は光カプラ14の各入出力ポート142から出力される測定光P_mを示し、(b)は入出力ポート142#1に接続されている光遅延器18からFBGライン30へ出力される測定光P_m#1を示し、(c)は入出力ポート142#2に接続されている光遅延器18からFBGライン30へ出力される測定光P_m#2を示し、(d)は入出力ポート142#kに接続されている光遅延器18からFBGライン30へ出力される測定光P_m#kを示す。

10

【図3】本実施形態に係る反射光の一例であり、(a)は光カプラ14の各入出力ポート142から出力される測定光P_mを示し、(b)は入出力ポート142#1に入力される反射光P_r#1を示し、(c)は入出力ポート142#2に入力される反射光P_r#2を示し、(d)は入出力ポート142#kに入力される反射光P_r#kを示し、(e)は入出力ポート141から出力される反射光P_r#1・・・P_r#kを示す。

20

【図4】分光器15から出力される反射光の反射レベルの一例を示す。

【図5】受光器16で受光される1波長チャンネルあたりの反射光レベルの一例を示す。

【図6】時刻 t_3 におけるch1～ch48の反射光レベルの一例を示す。

【図7】反射光のスペクトラムの一例であり、(a)は白色光源12から出射されたパルス幅 w_p の測定光を示し、(b)は分光器15に入力された反射光P_r#kのうちの測定光P_m#kの入出力端に最も近い位置に接続されているFBG31からの反射光のスペクトラムを示し、(c)は分光器15に入力された反射光P_r#kのうちの測定光P_m#kの入出力端に2番目に近い位置に接続されているFBG31からの反射光のスペクトラムを示し、(d)は分光器15に入力された反射光P_r#kのうちの測定光P_m#kの入出力端に最も遠い位置に接続されているFBG31からの反射光のスペクトラムを示し、(e)は分光器15に入力された反射光P_r#kのスペクトラムを示す。

30

【図8】反射光レベルの総和スペクトラムの一例であり、(a)は反射光P_r#kの反射光レベルを示し、(b)は反射光P_r#k+1の反射光レベルを示す。

【図9】光カプラ14が8分岐である場合に分光器15に入力される反射光レベルの総和スペクトラムの一例を示す。

【発明を実施するための形態】

【0012】

添付の図面を参照して本発明の実施形態を説明する。以下に説明する実施形態は本発明の実施の例であり、本発明は、以下の実施形態に制限されるものではない。なお、本明細書及び図面において符号が同じ構成要素は、相互に同一のものを示すものとする。

40

【0013】

(第1の実施形態)

図1に、本実施形態に係る多チャンネルFBGセンサモニタシステムの一例を示す。本実施形態に係る多チャンネルFBGセンサモニタシステムは、パルス信号源11と、白色光源12と、光サーキュレータ13と、光カプラ14と、分光器15と、受光器16と、光遅延器18と、信号処理部17を備える。

【0014】

光カプラ14は、入出力ポート141に光サーキュレータ13が接続され、入出力ポート142に光遅延器18が接続される。各光遅延器18に、FBGライン30が接続される。FBGライン30は、光ファイバに複数のFBG31が縦列に接続されている。

50

【 0 0 1 5 】

本実施形態に係る多チャンネルFBGセンサモニタ方法は、光出力手順と、光遅延手順と、受光手順と、を順に有する。

光出力手順では、測定光を光カプラ14の入出力ポート141に入力し、光カプラ14に入力された測定光を各入出力ポート142に分岐してFBGライン30に向けて出力する。

光遅延手順では、光カプラ14の入出力ポート142とFBGライン30の間に接続された光遅延器18を用いて、測定光が光カプラ14の各入出力ポート142から出力された後にFBGライン30のいずれかのFBG31で反射された反射光を、異なるタイミングで光カプラ14に入力させる。

受光手順では、光遅延器18で遅延後の反射光をあらかじめ定められた波長ごとに分離し、分離された反射光の光強度を波長ごとに検出する。

【 0 0 1 6 】

白色光源12は、パルス信号源11からのパルス信号に従ったパルス光を、測定光として光サーキュレータ13へ出力する。白色光源12は、例えばSLD(Super Luminescent Diode)、ASE(Amplified Spontaneous Emission)光源で構成される。光サーキュレータ13は、測定光を光カプラ14へ出力する。光カプラ14は、入力された測定光を分岐して、各入出力ポート142に出力する。これにより、各光遅延器18に測定光が入力される。光遅延器18は、あらかじめ定められた時間にわたって、測定光を遅延させる。

【 0 0 1 7 】

光遅延器18を通過した測定光は、FBGライン30に入力され、各FBG31で反射される。その反射光が光遅延器18を通過し、光カプラ14の入出力ポート142に入力される。光カプラ14は、各入出力ポート142から入力された反射光を合波して入出力ポート141から出力する。光サーキュレータ13は、光カプラ14の入出力ポート141から出力された反射光を分光器15へ出力する。分光器15は、反射光を波長ごとに分波して受光器16へ出力する。受光器16は、波長ごとに反射光の光強度である反射光レベルを検出する。例えば、48chのPD(Photodiode)を用いて、各波長チャンネルの反射光レベルを検出する。

【 0 0 1 8 】

信号処理器17は、受光器16の検出した各波長の反射光レベルを用いて、FBG31の反射波長を算出する。これにより、本実施形態に係る多チャンネルFBGセンサモニタシステムは、FBGライン30を用いて物理量を測定することができる。

【 0 0 1 9 】

図2に、本実施形態に係る測定光の一例を示す。図2(a)は光カプラ14の各入出力ポート142から出力される測定光 P_m を示し、図2(b)は入出力ポート142#1に接続されている光遅延器18からFBGライン30へ出力される測定光 $P_m\#1$ を示し、図2(c)は入出力ポート142#2に接続されている光遅延器18からFBGライン30へ出力される測定光 $P_m\#2$ を示し、図2(d)は入出力ポート142#kに接続されている光遅延器18からFBGライン30へ出力される測定光 $P_m\#k$ を示す。図2(b)から図2(d)に示すように、光遅延器18からFBGライン30への入力タイミングを、FBGライン30ごとにならざる。

【 0 0 2 0 】

図3に、本実施形態に係る反射光の一例を示す。図3(a)は光カプラ14の各入出力ポート142から出力される測定光 P_m を示し、図3(b)は入出力ポート142#1に入力される反射光 $P_r\#1$ を示し、図3(c)は入出力ポート142#2に入力される反射光 $P_r\#2$ を示し、図3(d)は入出力ポート142#kに入力される反射光 $P_r\#k$ を示し、図3(e)は入出力ポート141から出力される反射光 $P_r\#1 \cdots P_r\#k$ を示す。図3(e)に示すように、各反射光 $P_r\#1 \cdots P_r\#k$ はタイミングが異なっており、パルスが重なりあわないようになっている。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 1 】

図 4 に、受光器 1 6 の検出した各波長の反射光レベルの一例を示す。図 4 (a) は波長チャンネル c h 1 を示し、図 4 (b) は波長チャンネル c h 2 を示し、図 4 (c) は波長チャンネル c h 4 8 を示す。時刻 t_1 に反射光 P r # 1 が検出され、時刻 t_2 に反射光 P r # 2 が検出され、・・・時刻 t_k に反射光 P r # k が検出される。

【 0 0 2 2 】

図 5 に示す反射光レベルを参照しながら、信号処理器 1 7 の動作について説明する。図 5 に示す反射光レベルは、たとえば、図 4 に示す反射光 P r # 3 の波長チャンネル c h 2 の反射光レベルである。信号処理器 1 7 は、受光器 1 6 からのアナログ信号をサンプリングする。このときのサンプリング周期は、例えば $0.02 \mu s (= 1 / 50 \text{ MHz})$ である。1 チャンネルあたりの反射光レベルは、末広りの台形のような形になる。そこで、信号処理部 1 7 は、白丸で示された末広りの部分のサンプリングポイント p_d を廃棄し、それらに挟まれた黒丸で示されたほぼ平坦な部分のサンプリングポイント p_u を採用する。

10

【 0 0 2 3 】

信号処理器 1 7 は、サンプリングポイント p_u を、時刻などの入出力ポート 1 4 2 を識別可能な情報と、受光器 1 6 の波長チャンネルと、に関連付けて記憶する。このとき、記憶部 2 3 は、複数のサンプリングポイント p_u を平均化処理した後の反射光レベルを記憶してもよい。信号処理器 1 7 は、記憶されている各波長チャンネルの反射光レベルを用いて、F B G ライン 3 0 に備わる各 F B G 3 1 の反射波長を算出する。

【 0 0 2 4 】

信号処理器 1 7 は、共通の F B G ライン 3 0 に関連付けて記憶されている各波長チャンネルの反射光レベルを読み出す。例えば、図 4 に示す時刻 t_3 における c h 1 ~ c h 4 8 の反射光レベルを読み出す。図 6 に、時刻 t_3 における c h 1 ~ c h 4 8 の反射光レベルの一例を示す。1 つの F B G ライン 3 0 に 1 0 個の F B G 3 1 が接続され、各 F B G 3 1 の反射波長が受光器 1 6 の受光範囲内である場合、4 8 c h の波長チャンネルの中には、極大となる波長チャンネルが 1 0 個存在する。それぞれの極大波長チャンネルの波長を用いれば、各 F B G ライン 3 0 に備わる各 F B G 3 1 の反射波長を測定することができる。

20

【 0 0 2 5 】

本実施形態では、検出した反射光の光強度のうちの極大値が得られる波長チャンネルを検出し、当該極大値及び当該波長チャンネルに隣接する少なくとも 2 つの波長チャンネルの光強度を用いて、F B G 3 1 の反射波長を算出する。例えば、波長 λ_p に相当する波長チャンネル c h p 3 に極大波長チャンネルが存在し、その反射光レベルが y_0 であり、これに隣接するチャンネル c h (p 3 - 1) 及び c h (p 3 + 1) の反射光レベルがそれぞれ y_{-1} 及び y_{+1} であり、波長チャンネルの波長間隔が w_c である場合、次式を用いて反射波長 λ_{FBG} を求めることができる。

30

【 数 1 】

$$\lambda_{FBG} = \lambda_p + \frac{w_c(y_{+1} - y_{-1})}{2(y_{+1} + y_{-1} - 2y_0)}$$

【 0 0 2 6 】

波長チャンネル c h p 3 と同様に、1 0 本の各 F B G 3 1 の反射波長 λ_{FBG} を求める。これにより、1 つの F B G ライン 3 0 に備わる各 F B G 3 1 の反射波長 λ_{FBG} を求めることができる。なお、本実施形態では、隣接する 2 つの波長チャンネルを用いたが、極大波長チャンネルの存在する 2 以上の波長チャンネルを用いて反射波長 λ_{FBG} を求めてもよい。

40

【 0 0 2 7 】

時刻 t_3 と同様の処理を各時刻において行うことで、各 F B G ライン 3 0 に備わるすべての F B G 3 1 の反射波長 λ_{FBG} を求めることができる。

【 0 0 2 8 】

なお、光部品に光スイッチを用いた場合、光スイッチの偏波特性によって反射光の一部しか分光器 1 5 に到達しない場合がある。本実施形態に係る発明は、光スイッチを用いず

50

に光カプラ 14 を用いているため、偏波依存性の影響を受けにくくすることができる。したがって、本実施形態に係る発明は、偏波依存性の影響を受けにくく、かつ、複数個所の物理量を同時に測定することの可能な多チャンネル F B G センサモニタシステム及び多チャンネル F B G センサモニタ方法を提供することができる。

【 0 0 2 9 】

(第 2 の実施形態)

本実施形態では、接続できる F B G ライン 3 0 の最大ファイバ長、測定光のパルス幅、測定時間の関係について説明する。

測定光のパルス幅を w_p 、白色光源 1 2 から光遅延器 1 8 までの光伝搬距離を A_1 、光遅延器 1 8 から分光器 1 5 までの光伝搬距離を A_2 、 k 番目 (k は任意の正数。) の入出力ポート 1 4 2 # k に接続された光遅延器 1 8 の長さを L_k とする。また、入出力ポート 1 4 2 # k に接続された F B G ライン 3 0 に関し、測定光 P_m # k の入出力端に最も近い位置に接続されている F B G 3 1 の当該入出力端からの光伝搬距離を $M I N_k$ 、測定光の入出力端に最も遠い位置に接続されている F B G 3 1 の当該入出力端からの光伝搬距離を $M A X_k$ とする。

【 0 0 3 0 】

図 7 は、反射光のスペクトラムの一例を示す説明図である。図 7 (a) は白色光源 1 2 から出射されたパルス幅 w_p の測定光を示す。図 7 (b) は、分光器 1 5 に入力された反射光 P_r # k のうち、測定光 P_m # k の入出力端に最も近い位置に接続されている F B G 3 1 からの反射光のスペクトラムを示す。図 7 (c) は、分光器 1 5 に入力された反射光 P_r # k のうち、測定光 P_m # k の入出力端に 2 番目に近い位置に接続されている F B G 3 1 からの反射光のスペクトラムを示す。図 7 (d) は、分光器 1 5 に入力された反射光 P_r # k のうち、測定光 P_m # k の入出力端に最も遠い位置に接続されている F B G 3 1 からの反射光のスペクトラムを示す。図 7 (e) は、分光器 1 5 に入力された反射光 P_r # k のスペクトラムを示す。

【 0 0 3 1 】

k 番目の入出力ポート 1 4 2 に接続された全ての F B G 3 1 からの k 番目の総和スペクトラムは、図 7 (e) に示すように、階段状になり、 k 番目の入出力ポート 1 4 2 に接続された全ての F B G からの反射光のスペクトラムが同時に分光器に入射できるのは時間領域 B となる。

k 番目の入出力ポート 1 4 2 に接続されたすべての F B G 3 1 からの反射光のスペクトラムを T 秒間測定するためには、

(数 1)

$$B > T \quad \text{式 (1)}$$

である必要がある。

【 0 0 3 2 】

したがって、

【 数 2 】

$$\frac{2n(A_1+A_2+L_k+MAX_k)}{c} + T < \frac{2n(A_1+A_2+L_k+MIN_k)}{c} + w_p \quad \text{式 (2)}$$

を満たす必要がある。ここで、 n は光ファイバの屈折率、 c は光速である。

【 0 0 3 3 】

整理すると、

【 数 3 】

$$\frac{2n(MAX_k - MIN_k)}{c} < w_p - T \quad \text{式 (3)}$$

となる。

【 0 0 3 4 】

10

20

30

40

50

この式から、パルス幅 w_p と測定時間 T が決まっている場合、 MAX_k は上限があることがわかる。この上限、つまり接続可能な F B G ライン 30 の最大ファイバ長を E ($E > MAX_k$) とする。また、F B G 31 を光ポートの直後に接続できれば、 $MIN_k = 0$ となり、

【数 4】

$$\frac{2nE}{c} < w_p - T \quad \text{式 (4)}$$

となる。

【0035】

図 8 は、反射光レベルの総和スペクトラムの一例を示す。図 8 (a) は反射光 $Pr \# k$ の反射光レベルを示し、図 8 (b) は反射光 $Pr \# k + 1$ の反射光レベルを示す。それぞれを時間軸上で分離して測定するためには、

【数 5】

$$\frac{2n(A_1 + A_2 + L_k)}{c} + w_p < \frac{2n(A_1 + A_2 + L_{k+1})}{c} \quad \text{式 (5)}$$

を満たす必要がある。

【0036】

この式を整理すると、

【数 6】

$$L_{k+1} - L_k > \frac{cw_p}{2n} \quad \text{式 (6)}$$

となる。

【0037】

また、2 つの総和スペクトラムが分光器に到達する時間の差は

【数 7】

$$\frac{2n(A_1 + A_2 + L_{k+1})}{c} - \frac{2n(A_1 + A_2 + L_k)}{c} = \frac{2n(L_{k+1} - L_k)}{c} \quad \text{式 (7)}$$

となる。

【0038】

式 (4) 及び式 (6) より、

【数 8】

$$E + \frac{cT}{2n} < \frac{cw_p}{2n} < L_{k+1} - L_k \quad \text{式 (8)}$$

の関係が導出せる。

【0039】

パルス幅 w_p を $1 \mu s$ 、測定時間 T を $0.4 \mu s$ とすれば、

$$E < 60 \text{ [m]}$$

$$L_{k+1} - L_k > 100 \text{ [m]}$$

となる。ただし、光ファイバの屈折率 n は 1.5 であり、光速 c は $3 \times 10^8 \text{ [m/s]}$ とした。

【0040】

たとえば、10%の余裕があるように $L_{k+1} - L_k = 110 \text{ [m]}$ とする。この場合、分岐数 N が 8 の光プラ 14 の入出力ポート 142 に接続される光遅延器 18 の各長さは、 $L_1 = 0 \text{ m}$ 、 $L_2 = 110 \text{ m}$ 、 $L_3 = 220 \text{ m}$ 、 $L_4 = 330 \text{ m}$ 、 $L_5 = 440 \text{ m}$ 、 $L_6 = 550 \text{ m}$ 、 $L_7 = 660 \text{ m}$ 、 $L_8 = 770 \text{ m}$ 、となる。この場合、図 9 に示すよう

10

20

30

40

50

に、1.1 μsごとに反射光が分光器15に入力される。

【産業上の利用可能性】

【0041】

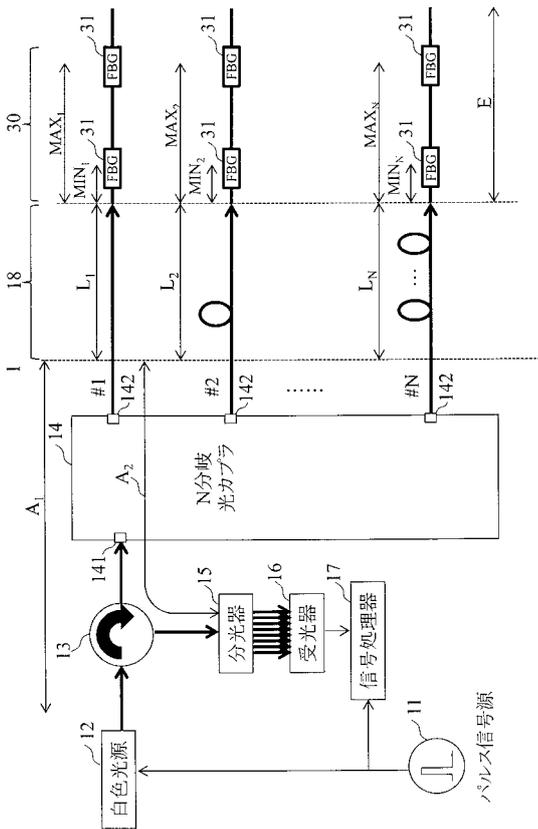
本発明は情報通信産業に適用することができる。

【符号の説明】

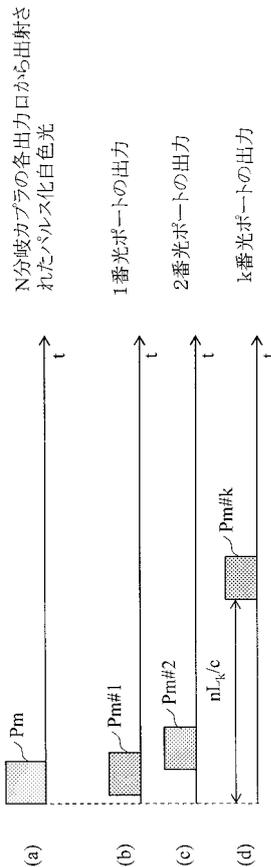
【0042】

- 11：パルス信号源
- 12：白色光源
- 13：光サーキュレータ
- 14：光カプラ
- 15：分光器
- 16：受光器
- 17：信号処理器
- 18：光遅延器
- 30：FBGライン
- 31：FBG
- 141：第1の入出力ポート
- 142：第2の入出力ポート

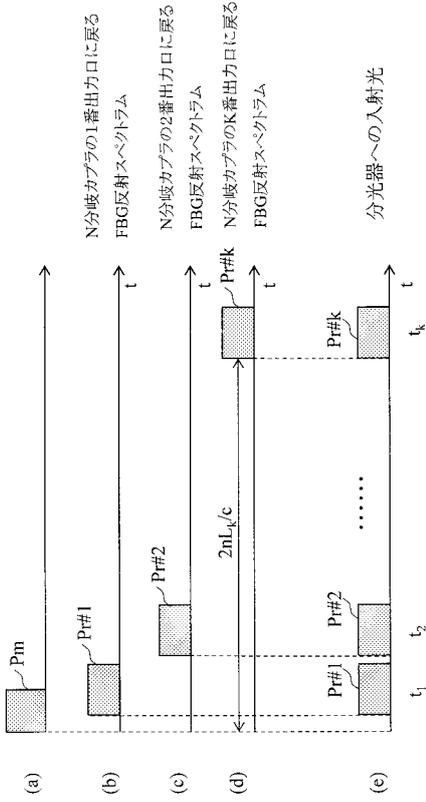
【図1】



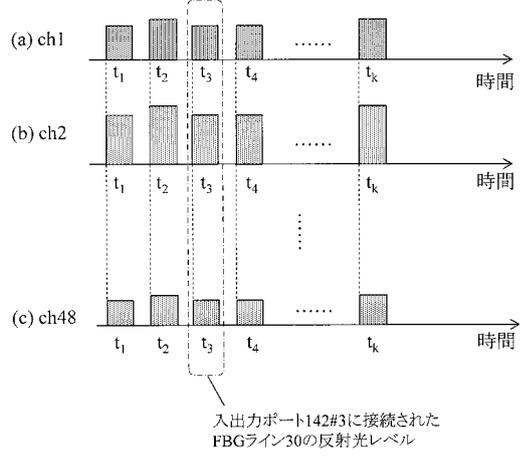
【図2】



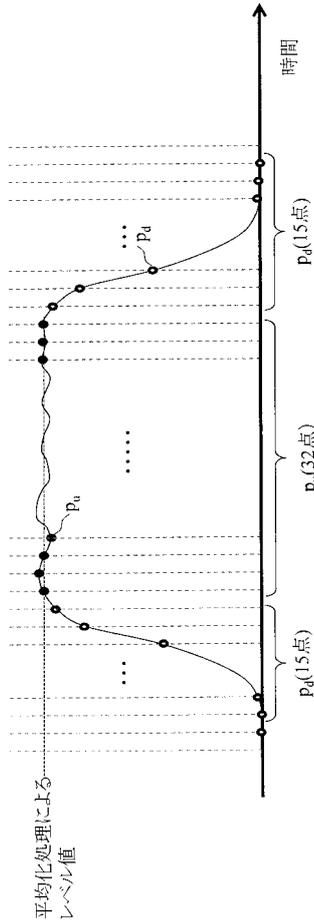
【 図 3 】



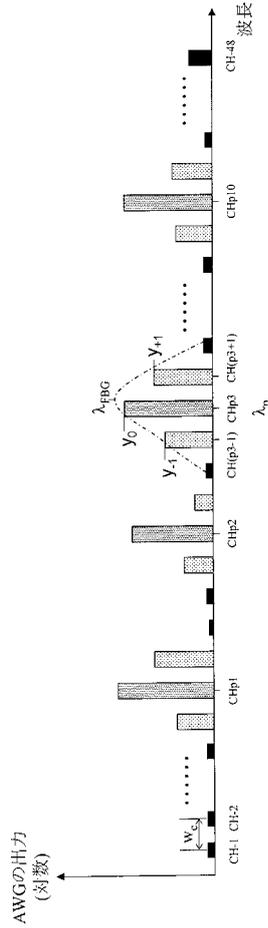
【 図 4 】



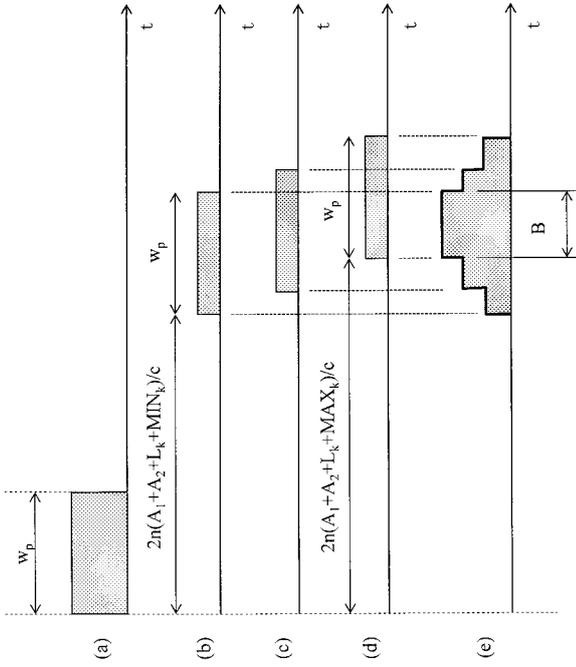
【 図 5 】



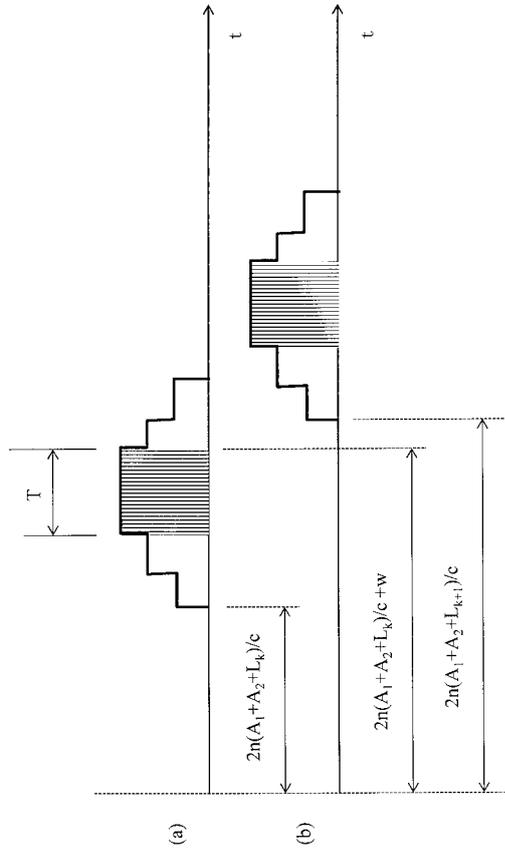
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】

