

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6773091号  
(P6773091)

(45) 発行日 令和2年10月21日(2020.10.21)

(24) 登録日 令和2年10月5日(2020.10.5)

(51) Int. Cl.

G O 1 D 5/353 (2006.01)

F I

G O 1 D 5/353

B

請求項の数 13 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2018-167896 (P2018-167896)  
 (22) 出願日 平成30年9月7日(2018.9.7)  
 (65) 公開番号 特開2020-41843 (P2020-41843A)  
 (43) 公開日 令和2年3月19日(2020.3.19)  
 審査請求日 令和1年10月31日(2019.10.31)

(73) 特許権者 000006507  
 横河電機株式会社  
 東京都武蔵野市中町2丁目9番32号  
 (74) 代理人 100106909  
 弁理士 棚井 澄雄  
 (74) 代理人 100146835  
 弁理士 佐伯 義文  
 (74) 代理人 100167553  
 弁理士 高橋 久典  
 (74) 代理人 100181124  
 弁理士 沖田 壮男  
 (72) 発明者 松浦 聡  
 東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横  
 河電機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバ特性測定装置及び光ファイバ特性測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

周波数変調された連続光を出力する光源部と、  
 前記連続光をポンプ光と参照光とに分岐する第1光分岐部と、  
 前記ポンプ光をパルス化するパルス化部と、  
 パルス化された前記ポンプ光を被測定光ファイバの一端から入射させ、前記被測定光ファイバ内におけるブリルアン散乱により生じた後方散乱光を出力する第2光分岐部と、  
 前記後方散乱光と前記参照光との干渉光を検出する検出部と、  
 前記検出部から出力される検出信号を、前記被測定光ファイバ内において相関ピークが現れる位置によって定められる所定時間毎に切り出す切出部と、  
 前記切出部で切り出された前記所定時間毎の検出信号を個別に用いて前記被測定光ファイバの特性を測定する測定部と、  
 を備える光ファイバ特性測定装置。

【請求項2】

前記測定部は、前記検出信号からブリルアン周波数シフト量を求める周波数分析器を備える請求項1記載の光ファイバ特性測定装置。

【請求項3】

前記周波数分析器は、複数設けられており、  
 前記切出部は、複数の前記周波数分析器の何れに前記検出部を接続するかを切り換える切替部と、

前記後方散乱光が前記検出部に到達する時間を考慮して前記切替部の切り替えを行う制御部と、

を備える請求項 2 記載の光ファイバ特性測定装置。

【請求項 4】

前記ポンプ光又は前記参照光の周波数をシフトさせる周波数シフトと、

前記検出部と前記切出部との間に設けられ、前記検出部から出力される前記検出信号をデジタル信号の検出データに変換する変換部と、

を備える請求項 1 記載の光ファイバ特性測定装置。

【請求項 5】

前記周波数シフトは、前記ポンプ光の周波数を、ブリルアン周波数シフト量に近い周波数だけシフトさせる請求項 4 記載の光ファイバ特性測定装置。

10

【請求項 6】

前記切出部は、前記検出データを記憶する複数のメモリを有する記憶部と、

前記複数のメモリの何れに前記変換部を接続するかを切り換える切替部と、

前記後方散乱光が前記検出部に到達する時間を考慮して前記切替部の切り替えを行う制御部と、

を備える請求項 4 又は請求項 5 記載の光ファイバ特性測定装置。

【請求項 7】

前記測定部は、前記複数のメモリから個別に読み出された前記検出データに対して高速フーリエ変換を行ってスペクトルデータを求める演算部と、

20

前記演算部で求められた前記スペクトルデータからブリルアン周波数シフト量を求める周波数分析部と、

を備える請求項 6 記載の光ファイバ特性測定装置。

【請求項 8】

前記周波数シフトは、前記ポンプ光の周波数のシフト量を、予め規定された周期で掃引し、

前記測定部は、前記複数のメモリから個別に読み出された前記検出データからブリルアン周波数シフト量を求める周波数分析部を備える、

請求項 6 記載の光ファイバ特性測定装置。

【請求項 9】

30

前記切出部は、前記後方散乱光が前記検出部に到達した時間を考慮して、前記検出データを前記所定時間毎に個別に読み出す読出部を備え、

前記測定部は、前記読出部によって個別に読み出された前記検出データから前記被測定光ファイバの特性を測定する、請求項 4 又は請求項 5 記載の光ファイバ特性測定装置。

【請求項 10】

前記測定部は、前記読出部によって個別に読み出された前記検出データに対して高速フーリエ変換を行ってスペクトルデータを求める演算部と、

前記演算部で求められた前記スペクトルデータからブリルアン周波数シフト量を求める周波数分析部と、

を備える請求項 9 記載の光ファイバ特性測定装置。

40

【請求項 11】

前記周波数シフトは、前記ポンプ光の周波数のシフト量を、予め規定された周期で掃引し、

前記測定部は、前記読出部によって個別に読み出された前記検出データからブリルアン周波数シフト量を求める周波数分析部を備える、

請求項 9 記載の光ファイバ特性測定装置。

【請求項 12】

前記切出部は、前記検出データを記憶するメモリを備え、

前記読出部は、前記後方散乱光が前記検出部に到達した時間を考慮して、前記メモリに記憶された前記検出データを前記所定時間毎に個別に読み出す、

50

請求項 9 から請求項 11 の何れか一項に記載の光ファイバ特性測定装置。

【請求項 13】

光源部から出力される周波数変調された連続光をパルス化するステップと、

前記パルス化された光を被測定光ファイバの一端から入射させて得られる前記被測定光ファイバ内におけるブリルアン散乱により生じた後方散乱光と、周波数変調された参照光との干渉光を検出するステップと、

前記干渉光を検出して得られた検出信号を、前記被測定光ファイバ内において相関ピークが現れる位置によって定められる所定時間毎に切り出すステップと、

切り出された前記所定時間毎の前記検出信号を個別に用いて前記被測定光ファイバの特性を測定するステップと、

を有する光ファイバ特性測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ファイバ特性測定装置及び光ファイバ特性測定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

光ファイバ特性測定装置は、連続光又はパルス光を被測定光ファイバに入射させ、被測定光ファイバ内において生ずる散乱光又は反射光を受光して被測定光ファイバの長さ方向における温度分布、歪み分布、その他の特性を測定する装置である。この光ファイバ特性測定装置では、受光される散乱光又は反射光が被測定光ファイバに影響を及ぼす物理量（例えば、温度や歪み）に応じて変化するため、被測定光ファイバそのものがセンサとして用いられる。

【0003】

このような光ファイバ特性測定装置の 1 つに、BOCDR (Brillouin Optical Correlation Domain Reflectometry) 方式のものがある。この BOCDR 方式の光ファイバ特性測定装置は、被測定光ファイバの一端から周波数変調された連続光であるポンプ光を入射させ、被測定光ファイバの一端から射出されるブリルアン散乱光と参照光（ポンプ光と同様の周波数変調がされた光）とを干渉させたものを受光してブリルアン周波数シフト量を求めることにより被測定光ファイバの特性を測定するものである。

【0004】

BOCDR 方式の光ファイバ特性測定装置では、ブリルアン散乱光と参照光とを干渉させることにより、被測定光ファイバ中において「相関ピーク」が現れる特定の位置におけるブリルアン散乱光を選択的に抽出している。ここで、被測定光ファイバ内における相関ピークの間隔は、ポンプ光及び参照光の変調周波数に反比例する。また、ポンプ光及び参照光の変調周波数を掃引することで、被測定光ファイバの長さ方向に沿って相関ピークを移動させることができる。このため、相関ピークを移動させつつ各相関ピークが現れる位置におけるブリルアン周波数シフト量を求めることにより、被測定光ファイバの長さ方向における温度分布や歪み分布を測定することができる。

【0005】

BOCDR 方式の光ファイバ特性測定装置において、被測定光ファイバの長さが上述の相関ピークの間隔よりも長くなる場合には、被測定光ファイバ中に複数の相関ピークが現れることになる。このような場合には、複数の相関ピークのうちの 1 つを選択し、選択した相関ピークが現れる位置におけるブリルアン散乱光のみが抽出され、他の相関ピークが現れる位置におけるブリルアン散乱光が抽出されないようにして、クロストークを避ける必要がある。このような相関ピークを選択する手法のひとつとして、時間ゲート法と呼ばれる手法がある。

【0006】

時間ゲート法は、ポンプ光をパルス状に整形して被測定光ファイバに入射させ、ブリルアン散乱光の受光タイミングを調整することで、被測定光ファイバの任意の相関ピークを

10

20

30

40

50

選択する手法である。ここで、複数の相関ピークのうちの1つのみが選択されるように、ポンプ光は、パルス幅が相関ピークの間隔よりも短くなるように整形される。以下、このように整形されたポンプ光を、「ポンプパルス光」という。尚、時間ゲート法の詳細については、例えば以下の特許文献1を参照されたい。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2009-139241号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0008】

ところで、従来時間ゲート法は、上述の通り、ポンプパルス光を被測定光ファイバに入射させ、ブリルアン散乱光の受光タイミングを調整することで、被測定光ファイバの任意の相関ピークを選択するものである。このため、従来時間ゲート法では、被測定光ファイバの一端からポンプパルス光が入射されてから、そのポンプパルス光が被測定光ファイバの他端に到達することによって得られるブリルアン散乱光（被測定光ファイバの他端におけるブリルアン散乱光）が被測定光ファイバの一端に戻ってくるまでは、次のポンプパルス光を被測定光ファイバに入射させることができない。

【0009】

つまり、従来時間ゲート法では、1つのポンプパルス光を被測定光ファイバに入射させてから、そのポンプパルス光が被測定光ファイバを往復するのに要する時間にポンプパルス光の幅（時間幅）を加えた時間（以下、「測定待ち時間」という）が経過してから、次のポンプパルス光を被測定光ファイバに入射させる必要があった。仮に、この測定待ち時間が経過する前に、次のポンプパルス光を被測定光ファイバに入射させてしまうと、異なる相関ピークが現れる異なる位置におけるブリルアン散乱光が同時に受光されてクロストークが生じ、測定誤差となってしまう。

20

【0010】

従来時間ゲート法は、1つのポンプパルス光によって複数の相関ピークのうちの1つを選択し、選択した相関ピークが現れる位置におけるブリルアン散乱光のみを抽出するものである。ここで、従来時間ゲート法では、ポンプパルス光を被測定光ファイバに入射させる時間間隔（周期）は、上述した測定待ち時間よりも短くすることができない。このため、従来時間ゲート法が用いられる光ファイバ特性測定装置では、被測定光ファイバの長さ方向の特性を広範囲に亘って測定しようとする、測定に要する時間が大幅に長くなるという問題があった。

30

【0011】

本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、従来よりも被測定光ファイバの特性の測定に要する時間を短縮することができる光ファイバ特性測定装置及び光ファイバ特性測定方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

40

上記課題を解決するために、本発明の一態様による光ファイバ特性測定装置は、周波数変調された連続光（L1）を出力する光源部（11）と、前記連続光をポンプ光（LP）と参照光（LR）とに分岐する第1光分岐部（12）と、前記ポンプ光をパルス化するパルス化部（13）と、パルス化された前記ポンプ光を被測定光ファイバ（FUT）の一端から入射させ、前記被測定光ファイバ内におけるブリルアン散乱により生じた後方散乱光（LS）を出力する第2光分岐部（14）と、前記後方散乱光と前記参照光との干渉光を検出する検出部（17）と、前記検出部から出力される検出信号を所定時間毎に切り出す切出部（18、20a、34、41、42a）と、前記切出部で切り出された前記所定時間毎の検出信号を個別に用いて前記被測定光ファイバの特性を測定する測定部（19、35a、35b）と、を備える。

50

また、本発明の一態様による光ファイバ特性測定装置は、前記測定部が、前記検出信号からブリルアン周波数シフト量を求める周波数分析器を備える。

また、本発明の一態様による光ファイバ特性測定装置は、前記周波数分析器が、複数設けられており(19a~19d)、前記切出部が、複数の前記周波数分析器の何れに前記検出部を接続するかを切り換える切替部(18)と、前記後方散乱光が前記検出部に到達する時間を考慮して前記切替部の切り替えを行う制御部(20a)と、を備える。

また、本発明の一態様による光ファイバ特性測定装置は、前記ポンプ光又は前記参照光の周波数をシフトさせる周波数シフタ(32)と、前記検出部と前記切出部との間に設けられ、前記検出部から出力される前記検出信号をデジタル信号の検出データに変換する変換部(33)と、を備える。

10

また、本発明の一態様による光ファイバ特性測定装置は、前記周波数シフタが、前記ポンプ光の周波数を、ブリルアン周波数シフト量に近い周波数だけシフトさせる。

また、本発明の一態様による光ファイバ特性測定装置は、前記切出部が、前記検出データを記憶する複数のメモリ(34a~34d)を有する記憶部(34)と、前記複数のメモリの何れに前記変換部を接続するかを切り換える切替部(18)と、前記後方散乱光が前記検出部に到達する時間を考慮して前記切替部の切り替えを行う制御部(20a)と、を備える。

また、本発明の一態様による光ファイバ特性測定装置は、前記測定部が、前記複数のメモリから個別に読み出された前記検出データに対して高速フーリエ変換を行ってスペクトルデータを求める演算部(35a)と、前記演算部で求められた前記スペクトルデータからブリルアン周波数シフト量を求める周波数分析部(35b)と、を備える。

20

また、本発明の一態様による光ファイバ特性測定装置は、前記周波数シフタが、前記ポンプ光の周波数のシフト量を、予め規定された周期で掃引し、前記測定部が、前記複数のメモリから個別に読み出された前記検出データからブリルアン周波数シフト量を求める周波数分析部(35b)を備える。

また、本発明の一態様による光ファイバ特性測定装置は、前記切出部が、前記後方散乱光が前記検出部に到達した時間を考慮して、前記検出データを前記所定時間毎に個別に読み出す読出部(42a)を備え、前記測定部が、前記読出部によって個別に読み出された前記検出データから前記被測定光ファイバの特性を測定する。

また、本発明の一態様による光ファイバ特性測定装置は、前記測定部が、前記読出部によって個別に読み出された前記検出データに対して高速フーリエ変換を行ってスペクトルデータを求める演算部(35a)と、前記演算部で求められた前記スペクトルデータからブリルアン周波数シフト量を求める周波数分析部(35b)と、を備える。

30

また、本発明の一態様による光ファイバ特性測定装置は、前記周波数シフタが、前記ポンプ光の周波数のシフト量を、予め規定された周期で掃引し、前記測定部が、前記読出部によって個別に読み出された前記検出データからブリルアン周波数シフト量を求める。

また、本発明の一態様による光ファイバ特性測定装置は、前記切出部が、前記検出データを記憶するメモリ(41)を備え、前記読出部が、前記後方散乱光が前記検出部に到達した時間を考慮して、前記メモリに記憶された前記検出データを前記所定時間毎に個別に読み出す。

40

本発明の一態様による光ファイバ特性測定方法は、光源部(11)から出力される周波数変調された連続光(L1)をパルス化するステップ(S12)と、前記パルス化された光を被測定光ファイバ(FUT)の一端から入射させて得られる前記被測定光ファイバ内におけるブリルアン散乱により生じた後方散乱光(LS)と、周波数変調された参照光(LR)との干渉光を検出するステップ(S14)と、前記干渉光を検出して得られた検出信号を所定時間毎に切り出すステップ(S15)と、切り出された前記所定時間毎の前記検出信号を個別に用いて前記被測定光ファイバの特性を測定するステップ(S16)と、を有する。

【発明の効果】

【0013】

50

本発明によれば、従来よりも被測定光ファイバの特性の測定に要する時間を短縮することができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明の第1実施形態による光ファイバ特性測定装置の要部構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の第1実施形態による光ファイバ特性測定装置の動作例を示すフローチャートである。

【図3】本発明の第1実施形態において設定される測定条件を説明するための図である。

【図4】本発明の第2実施形態による光ファイバ特性測定装置の要部構成を示すブロック図である。

10

【図5】本発明の第3実施形態による光ファイバ特性測定装置の要部構成を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、図面を参照して本発明の実施形態による光ファイバ特性測定装置及び光ファイバ特性測定方法について詳細に説明する。

【0016】

〔第1実施形態〕

光ファイバ特性測定装置の構成

20

図1は、本発明の第1実施形態による光ファイバ特性測定装置の要部構成を示すブロック図である。図1に示す通り、本実施形態の光ファイバ特性測定装置1は、光源部11、第1光分岐部12、パルス化部13、第2光分岐部14、光遅延部15、合波部16、検出部17、切替部18（切出部）、測定部19、及び制御装置20を備える。

【0017】

本実施形態の光ファイバ特性測定装置1は、被測定光ファイバFUTにポンプパルス光Pを入射させて得られる後方散乱光LSに基づいて被測定光ファイバFUTの特性を測定する、所謂BOCDR方式の光ファイバ特性測定装置である。尚、上記のポンプパルス光Pは、周波数変調が与えられた連続光としてのポンプ光LPをパルス化したものである。また、上記の後方散乱光LSは、被測定光ファイバFUT内におけるブリルアン散乱により生じた後方散乱光である。

30

【0018】

被測定光ファイバFUTは、ポンプパルス光Pの波長等に応じて任意のものをを用いることができる。また、本実施形態では、被測定光ファイバFUTの長さは、相関ピークの間隔dmよりも長いものとし、被測定光ファイバFUTには複数の相関ピークが存在するものとする。尚、図1では、理解を容易にするために、被測定光ファイバFUTに存在する4つの相関ピークCP1～CP4を図示している。

【0019】

光源部11は、光源11aと変調部11bとを備えており、制御装置20の制御の下で周波数変調された連続光L1を出力する。光源11aは、例えば分布帰還型レーザダイオード（DFB-LD：Distributed Feed-Back Laser Diode）等の半導体レーザ素子を備えており、変調部11bから出力される変調信号m1に応じて周波数変調された連続光L1を出力する。変調部11bは、制御装置20の制御の下で、光源11aから出力される連続光L1を周波数変調するための変調信号m1を出力する。この変調信号m1は、例えば正弦波状の信号であり、その周波数（変調周波数fm）及び振幅が制御装置20によって制御される。

40

【0020】

第1光分岐部12は、光源部11から出力された連続光L1を、予め規定された強度比（例えば、1対1）のポンプ光LPと参照光LRとに分岐する。パルス化部13は、制御装置20の制御の下で、第1光分岐部12で分岐されたポンプ光LPをパルス化する。例

50

例えば、パルス化部 13 は、ポンプ光 LP に対して強度変調を行うことによって、ポンプ光 LP をパルス状に整形する。このようなパルス化部 13 を設けるのは、時間ゲート法で用いるポンプパルス光 P を得るためである。ここで、ポンプパルス光 P のパルス幅  $t_{pw}$  は、ポンプパルス光 P が被測定光ファイバ FUT 内を伝播する際に、ポンプパルス光 P 内に相関ピークが 1 つのみ含まれるように設定される。具体的には、以下の (1) 式が満たされるように、ポンプパルス光 P のパルス幅  $t_{pw}$  が設定される。

$$t_{pw} = 1 / f_m \dots (1)$$

#### 【0021】

第 2 光分岐部 14 は、第 1 ポート、第 2 ポート、及び第 3 ポートを備える。第 1 ポートは、パルス化部 13 と接続される。第 2 ポートは、被測定光ファイバ FUT と接続される。第 3 ポートは、合波部 16 と接続される。第 2 光分岐部 14 は、第 1 ポートから入力されるポンプパルス光 P を第 2 ポートに出力する。また、第 2 ポートから入力される被測定光ファイバ FUT からの後方散乱光 LS を第 3 ポートに出力する。このような第 2 光分岐部 14 としては、例えば光サーキュレータを用いることができる。

10

#### 【0022】

光遅延部 15 は、第 1 光分岐部 12 で分岐された参照光 LR を所定の時間だけ遅延させる。光遅延部 15 は、例えば、所定の長さの光ファイバを含む。光ファイバの長さを変更することで、遅延時間を調節することができる。このような光遅延部 15 を設けるのは、変調周波数  $f_m$  の掃引を行っても現れる位置が移動しない 0 次相関ピークを被測定光ファイバ FUT の外部に配置するためである。

20

#### 【0023】

合波部 16 は、第 2 光分岐部 14 の第 3 ポートから出力される被測定光ファイバ FUT からの後方散乱光 LS と、第 1 光分岐部 12 から出力されて光遅延部 15 を介した参照光 LR とを合波する。また、合波部 16 は、合波した光を予め規定された強度比 (例えば、1 対 1) の 2 つの光に分岐して検出部 17 に出力する。合波部 16 によって分岐された 2 つの光の各々は、例えば被測定光ファイバ FUT からの後方散乱光の 50% と参照光の 50% とを含む。このような合波部 16 としては、例えば光カプラを用いることができる。

#### 【0024】

検出部 17 は、合波部 16 から出力される 2 つの光に含まれる後方散乱光 LS と参照光 LR とを干渉させることによって光ヘテロダイン検波を行う。検出部 17 は、例えば、2 つのフォトダイオード (PD: Photo Diode) 17a, 17b からなるバランスド・フォトダイオードと、合波器 17c とを備える。フォトダイオード 17a, 17b は、合波部 16 から出力される 2 つの光をそれぞれ受光する。フォトダイオード 17a, 17b の受光信号は合波器 17c に入力される。合波器 17c からは、後方散乱光 LS と参照光 LR との周波数差分を示す干渉信号 (ビート信号: 検出信号) が出力される。

30

#### 【0025】

切替部 18 は、1 つの入力端と複数 (図 1 に示す例では 5 つ) の出力端とを有し、制御装置 20 に設けられた制御部 20a の制御の下で、入力端に接続される出力端の切り替えを行う。切替部 18 の入力端には検出部 17 の合波器 17c が接続される。切替部 18 に設けられた 5 つの出力端のうちの 4 つの出力端には、測定部 19 に設けられた周波数分析器 19a ~ 19d がそれぞれ接続される。切替部 18 に設けられた 5 つの出力端のうちの残りの 1 つの出力端は、周波数分析器等の機器が接続されていない開放端とされる。このような切替部 18 として、例えば機械的スイッチ又は電子式スイッチ等を用いることができる。

40

#### 【0026】

切替部 18 は、検出部 17 の合波器 17c から出力される検出信号を、所定時間毎に切り出すために設けられる。ここで、切り出しとは、時間的に連続する信号から必要な部分を抽出することを意味する。このように、検出部 17 の合波器 17c から出力される検出信号を所定時間毎に切り出すのは、被測定光ファイバ FUT に入射したポンプパルス光 P の進行に合わせて、被測定光ファイバ FUT に現れる複数の相関ピークのうちの選択する

50

相関ピークを順次変えるためである。

【 0 0 2 7 】

つまり、従来の時間ゲート法では、1つのポンプパルス光Pを被測定光ファイバFUTに入射させた場合に、1つの相関ピークのみを選択していた。これに対し、本実施形態の時間ゲート法では、1つのポンプパルス光Pを被測定光ファイバFUTに入射させた場合に、ポンプパルス光Pの進行に合わせて、異なる相関ピークを順次選択している。このようにすることで、被測定光ファイバFUTの特性の測定に要する時間を短縮している。尚、切替部18が検出部17の合波器17cから出力される検出信号を切り出す時間(上記の所定時間)の詳細については後述する。

【 0 0 2 8 】

測定部19は、複数の周波数分析器を備えており、切替部18から出力される検出信号(所定時間毎に切り出された検出信号)を複数の周波数分析器に個別に輸入させて被測定光ファイバFUTの特性を測定する。測定部19における周波数分析器の数は、被測定光ファイバFUTに現れる相関ピークの数 considering して設定される。例えば、図1に示す通り、被測定光ファイバFUTに4つの相関ピークCP1~CP4が現れる場合には、これら4つの相関ピークCP1~CP4に対応して4つの周波数分析器19a~19dが測定部19に設けられる。

【 0 0 2 9 】

周波数分析器19a~19dは、例えばスペクトラムアナライザ(ESA:Electrical Spectrum Analyzer)を備えており、切替部18から出力される検出信号(所定時間毎に切り出された検出信号)の周波数特性を示すスペクトルデータを個別に求める。また、周波数分析器19a~19dは、個別に求めたスペクトルデータからブリルアン周波数シフト量を個別に求める。周波数分析器19a~19dは、個別に得られたブリルアン周波数シフト量を、歪みや温度等の物理情報に変換する機能を有していても良い。

【 0 0 3 0 】

制御装置20は、測定部19の測定結果を参照しつつ、光ファイバ特性測定装置1の動作を統括して制御する。例えば、制御装置20は、光源部11を制御して光源部11から出力される連続光L1の変調周波数fmを変更させる。また、制御装置20は、パルス化部13を制御してポンプパルス光Pを生成させる。また、制御装置20は、制御部20a(切出部)を備える。制御部20aは、被測定光ファイバFUTからの後方散乱光LSが検出部17に到達する時間を考慮して切替部18の切り替え制御を行う。

【 0 0 3 1 】

光ファイバ特性測定装置の動作

図2は、本発明の第1実施形態による光ファイバ特性測定装置の動作例を示すフローチャートである。尚、図2に示すフローチャートは、例えば光ファイバ特性測定装置1に対して測定開始の指示がなされることによって開始され、被測定光ファイバFUTの特性を長さ方向に亘って測定する場合には一定の周期で繰り返される。

【 0 0 3 2 】

図2に示すフローチャートの処理が繰り返される場合には、例えば測定待ち時間(ポンプパルス光Pが被測定光ファイバFUTを往復するのに要する時間にポンプパルス光Pのパルス幅tpwを加えた時間)が経過する度に繰り返される。以下では、繰り返される図2に示すフローチャートの処理のうちの第k回目(kは1以上の整数)の処理を「第k回目処理」という。

【 0 0 3 3 】

被測定光ファイバFUTの特性の測定に先立って、被測定光ファイバFUTの測定条件の設定が行われる。この測定条件の設定は、例えばユーザが制御装置20に設けられている不図示の操作部を操作することによって行われる。尚、光ファイバ特性測定装置1に対する測定条件の設定は、測定開始前に、ユーザが不図示の操作部を操作して1つ1つ設定しても良く、予め制御装置20に記憶されている複数の設定条件を選択することによって設定しても良い。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 4 】

図 3 は、本発明の第 1 実施形態において設定される測定条件を説明するための図である。図 3 に示す通り、被測定光ファイバ F U T の一端（ポンプパルス光 P が入射され、後方散乱光 L S が射出される端部）の位置を原点とする。測定条件としては、例えば、被測定光ファイバ F U T の特性を測定する範囲である測定範囲 R M、変調周波数の初期値  $f_{m0}$ 、ポンプパルス光 P のパルス幅  $t_{pw}$ 、測定間隔  $D$  等が設定される。

## 【 0 0 3 5 】

図 3 に示す例では、測定範囲 R M は、被測定光ファイバ F U T の一端（原点）からの距離が  $D_1$  から  $D_2$  までの範囲に設定されている。また、変調周波数の初期値  $f_{m0}$  は、原点からの距離が  $D_1$  である位置に相関ピーク C P 1 が現れるように設定されている。ポンプパルス光 P のパルス幅  $t_{pw}$  は、前述した ( 1 ) 式が満たされる幅に設定される。測定間隔  $D$  は、分解能等を考慮して設定される。

10

## 【 0 0 3 6 】

尚、相関ピークの間隔  $d_m$  は、被測定光ファイバ F U T 中の光の群速度を  $v_g$  とすると、以下の ( 2 ) 式で表される。従って、変調周波数  $f_m$  が設定されると、相関ピークの間隔  $d_m$  も設定されることになる。

$$d_m = v_g / ( 2 \times f_m ) \quad \dots ( 2 )$$

また、相関ピーク C P 1 の位置は、変調周波数  $f_m$  が変化すると変わる。このため、測定間隔  $D$  が設定されると、相関ピーク C P 1 の位置を測定間隔  $D$  だけ移動させるために必要な変調周波数  $f_m$  の変化量  $\Delta f_m$  も設定されることになる。

20

## 【 0 0 3 7 】

以下では、図 3 に示す通り、測定開始時点において、測定範囲 R M 内に 3 つの相関ピーク C P 1 ~ C P 3 が間隔  $d_m$  をもって現れるとする。尚、測定開始時点において、相関ピーク C P 1 ~ C P 3 が現れる位置は、以下の通りである。

相関ピーク C P 1 : 原点からの距離が  $D_1$  である位置

相関ピーク C P 2 : 原点からの距離が  $D_1 + d_m$  である位置

相関ピーク C P 3 : 原点からの距離が  $D_1 + 2 \times d_m$  である位置

## 【 0 0 3 8 】

## 《 第 1 回目処理 》

光ファイバ特性測定装置 1 に対して測定開始の指示がなされて、図 2 に示すフローチャートの処理が開始されると、まず光ファイバ特性測定装置 1 の制御装置 2 0 において、変調周波数を設定する処理が行われる ( ステップ S 1 1 ) 。ここでは、上述した変調周波数の初期値  $f_{m0}$  が変調周波数  $f_m$  として設定される。変調周波数  $f_m$  の設定が行われると、光源部 1 1 に設けられた変調部 1 1 b が制御装置 2 0 によって制御され、変調部 1 1 b から出力される変調信号  $m_1$  の周波数を変調周波数  $f_m$  に設定する処理が行われる。このような変調信号  $m_1$  が光源 1 1 a に入力されると、光源 1 1 a からは変調周波数  $f_m$  で周波数変調された連続光 L 1 が射出される。

30

## 【 0 0 3 9 】

光源 1 1 a から射出された連続光 L 1 は、第 1 光分岐部 1 2 に入射してポンプ光 L P と参照光 L R とに分岐される。分岐されたポンプ光 L P は、パルス化部 1 3 に入射する。すると、制御装置 2 0 によってパルス化部 1 3 が制御され、ポンプ光 L P をパルス状に整形してポンプパルス光 P を生成する処理が行われる ( ステップ S 1 2 ) 。パルス化部 1 3 によって生成されたポンプパルス光 P は、第 2 光分岐部 1 4 を介して被測定光ファイバ F U T に入射する。尚、ポンプパルス光 P の前縁が被測定光ファイバ F U T の一端（原点）に入射した時刻を 0 とする。

40

## 【 0 0 4 0 】

被測定光ファイバ F U T に入射したポンプパルス光 P は、被測定光ファイバ F U T 内を伝播していく。そして、相関ピーク C P 1 が現れる位置（原点からの距離が  $D_1$  である位置）、相関ピーク C P 2 が現れる位置（原点からの距離が  $D_1 + d_m$  である位置）、相関ピーク C P 3 が現れる位置（原点からの距離が  $D_1 + 2 \times d_m$  である位置）を順次通過す

50

る。ポンプパルス光 P が、相関ピーク C P 1 ~ C P 3 が現れる位置を順次通過すると、各々の位置においてブリルアン散乱による後方散乱光 L S が順次生ずる。各々の位置で生じた後方散乱光 L S は、ポンプパルス光 P が伝播する方向とは反対方向に伝播し、被測定光ファイバ F U T の一端から順次射出される。

【 0 0 4 1 】

前述したポンプパルス光 P を生成する処理が行われた後に、制御装置 2 0 では、ポンプパルス光 P が、相関ピーク C P 1 ~ C P 3 が現れる位置の各々で生じた後方散乱光 L S の戻り時間を算出する処理が行われる（ステップ S 1 3）。ここで、ポンプパルス光 P が被測定光ファイバ F U T に入射されてから、ポンプパルス光 P の前縁が、相関ピーク C P 1 ~ C P 3 が現れる位置に到達する時刻 t 1 ~ t 3 は以下の通りである。

$$\text{時刻 } t 1 = D 1 / v g$$

$$\text{時刻 } t 2 = ( D 1 + d m ) / v g$$

$$\text{時刻 } t 3 = ( D 1 + 2 \times d m ) / v g$$

【 0 0 4 2 】

ここで、相関ピーク C P 1 が現れる位置で生じた後方散乱光 L S を後方散乱光 L S 1 とし、相関ピーク C P 2 が現れる位置で生じた後方散乱光 L S を後方散乱光 L S 2 とし、相関ピーク C P 3 が現れる位置で生じた後方散乱光 L S を後方散乱光 L S 3 とする。これら後方散乱光 L S 1 ~ L S 3 が被測定光ファイバ F U T の一端（原点）に到達する時刻は以下の通りである。

$$\text{後方散乱光 } L S 1 : ( 2 \times t 1 ) \sim ( 2 \times t 1 + t p w )$$

$$\text{後方散乱光 } L S 2 : ( 2 \times t 2 ) \sim ( 2 \times t 2 + t p w )$$

$$\text{後方散乱光 } L S 3 : ( 2 \times t 3 ) \sim ( 2 \times t 3 + t p w )$$

【 0 0 4 3 】

ここで、説明を簡単にするために、被測定光ファイバ F U T の一端から射出された後方散乱光 L S が、第 2 光分岐部 1 4 及び合波部 1 6 を順次介して検出部 1 7 に至るまでに要する時間を 0 とする。すると、後方散乱光 L S 1 ~ L S 3 が検出部 1 7 に到達する時刻はそれぞれ、上記の後方散乱光 L S 1 ~ L S 3 が被測定光ファイバ F U T の一端（原点）に到達する時刻とみなすことができる。

【 0 0 4 4 】

被測定光ファイバ F U T の一端から射出された後方散乱光 L S（後方散乱光 L S 1 ~ L S 3）は、第 2 光分岐部 1 4 を介して合波部 1 6 に入射する。合波部 1 6 に入射した後方散乱光 L S は、第 1 光分岐部 1 2 で分岐されて光遅延部 1 5 を介した参照光 L R と合波され、その干渉光が検出部 1 7 で検出される（ステップ S 1 4）。上記の干渉光が検出されると、検出部 1 7 から切替部 1 8 に検出信号が出力される。

【 0 0 4 5 】

すると、ステップ S 1 3 で算出した戻り時間を考慮して切替部 1 8 を制御し、所定時間毎に検出信号を切り出す処理が制御装置 2 0 の制御部 2 0 a によって行われる（ステップ S 1 5）。具体的には、時刻  $( 2 \times t 1 )$  ~ 時刻  $( 2 \times t 1 + t p w )$  の間は、周波数分析器 1 9 a が検出部 1 7 に接続され、時刻  $( 2 \times t 2 )$  ~ 時刻  $( 2 \times t 2 + t p w )$  の間は、周波数分析器 1 9 b が検出部 1 7 に接続され、時刻  $( 2 \times t 3 )$  ~ 時刻  $( 2 \times t 3 + t p w )$  の間は、周波数分析器 1 9 c が検出部 1 7 に接続されるよう、制御装置 2 0 の制御部 2 0 a によって切替部 1 8 が制御される。尚、以上の時刻以外の時刻は、切替部 1 8 の開放端とされた出力端に検出部 1 7 に接続されるよう制御される。

【 0 0 4 6 】

つまり、検出部 1 7 から出力される検出信号のうち、時刻  $( 2 \times t 1 )$  ~ 時刻  $( 2 \times t 1 + t p w )$  の間の検出信号が切り出されて周波数分析器 1 9 a に入力される。また、検出部 1 7 から出力される検出信号のうち、時刻  $( 2 \times t 2 )$  ~ 時刻  $( 2 \times t 2 + t p w )$  の間の検出信号が切り出されて周波数分析器 1 9 b に入力される。また、検出部 1 7 から出力される検出信号のうち、時刻  $( 2 \times t 3 )$  ~ 時刻  $( 2 \times t 3 + t p w )$  の間の検出信号が切り出されて周波数分析器 1 9 c に入力される。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 7 】

切替部 18 によって切り出された検出信号が、周波数分析器 19 a ~ 19 c に入力されると、切り出された検出信号を用いて被測定光ファイバ F U T の特性を測定する処理が、周波数分析器 19 a ~ 19 c で個別に行われる（ステップ S 16）。具体的には、切替部 18 によって切り出された検出信号のスペクトルデータを求め、求めたスペクトルデータからブリルアン周波数シフト量を求める処理が周波数分析器 19 a ~ 19 c で個別に行われる。尚、求められたブリルアン周波数シフト量は制御装置 20 に出力される。

## 【 0 0 4 8 】

## 《 第 2 回目処理 》

処理が開始されると、まず制御装置 20 において、変調周波数を設定する処理が行われる（ステップ S 11）。ここでは、相関ピーク C P 1 の位置を測定間隔  $D$  だけ変えるため、変調周波数が  $(f_m + f_m)$  に設定される。尚、変調周波数が  $(f_m + f_m)$  に設定されたことで、相関ピークの間隔は  $(d_m + d_m)$  に変化したとする。

10

## 【 0 0 4 9 】

以上の設定が行われると、光源 11 a からは変調周波数  $(f_m + f_m)$  で周波数変調された連続光 L 1 が射出される。光源 11 a から射出された連続光 L 1 は、第 1 回目処理と同様に、第 1 光分岐部 12 でポンプ光 L P と参照光 L R とに分岐される。分岐されたポンプ光 L P がパルス化部 13 に入射すると、ポンプパルス光 P が生成される（ステップ S 12）。生成されたポンプパルス光 P は、第 2 光分岐部 14 を介して被測定光ファイバ F U T に入射する。尚、第 2 回目処理においても、ポンプパルス光 P の前縁が被測定光ファイバ F U T の一端（原点）に入射した時刻を 0 とする。

20

## 【 0 0 5 0 】

被測定光ファイバ F U T に入射したポンプパルス光 P は、被測定光ファイバ F U T 内を伝播していく。そして、相関ピーク C P 1 が現れる位置、相関ピーク C P 2 が現れる位置、相関ピーク C P 3 が現れる位置を順次通過する。相関ピーク C P 1 ~ C P 3 が現れる位置は以下の通りである。

相関ピーク C P 1 : 原点からの距離が  $D_1 + D$  である位置

相関ピーク C P 2 : 原点からの距離が  $D_1 + D + d_m + d_m$  である位置

相関ピーク C P 3 : 原点からの距離が  $D_1 + D + 2 \times (d_m + d_m)$  である位置

## 【 0 0 5 1 】

ここで、測定間隔  $D$  が十分な精度で維持されるように、 $D = d_m$  なる関係、及び  $D = 2 \times d_m$  なる関係が成り立つ場合には、相関ピーク C P 1 ~ C P 3 が現れる位置は、以下の通り表すことができる。

30

相関ピーク C P 1 : 原点からの距離が  $D_1 + D$  である位置

相関ピーク C P 2 : 原点からの距離が  $D_1 + d_m + D$  である位置

相関ピーク C P 3 : 原点からの距離が  $D_1 + 2 \times d_m + D$  である位置

つまり、相関ピーク C P 1 ~ C P 3 が現れる位置はそれぞれ、第 1 回目処理において相関ピーク C P 1 ~ C P 3 が現れた位置から測定間隔  $D$  だけずれた位置と表すことができる。

## 【 0 0 5 2 】

ポンプパルス光 P が、相関ピーク C P 1 ~ C P 3 が現れる位置を順次通過すると、各々の位置においてブリルアン散乱による後方散乱光 L S が順次生ずる。各々の位置で生じた後方散乱光 L S（後方散乱光 L S 1 ~ L S 3）は、ポンプパルス光 P が伝播する方向とは反対方向に伝播し、被測定光ファイバ F U T の一端から順次射出される。

40

## 【 0 0 5 3 】

前述したポンプパルス光 P を生成する処理が行われた後に、制御装置 20 では、ポンプパルス光 P が、相関ピーク C P 1 ~ C P 3 が現れる位置の各々で生じた後方散乱光 L S の戻り時間を算出する処理が行われる（ステップ S 13）。ここで、ポンプパルス光 P が被測定光ファイバ F U T に入射されてから、ポンプパルス光 P の前縁が、相関ピーク C P 1 ~ C P 3 が現れる位置に到達する時刻  $t_1 \sim t_3$  はそれぞれ、第 1 回目処理における時刻

50

$t_1 \sim t_3$ よりも測定間隔  $D$  の分だけ遅くなる。

【0054】

具体的には、以下の通りである。

$$\text{時刻 } t_1 = (D_1 + D) / v_g$$

$$\text{時刻 } t_2 = (D_1 + d_m + D) / v_g$$

$$\text{時刻 } t_3 = (D_1 + 2 \times d_m + D) / v_g$$

このため、相関ピーク  $CP_1 \sim CP_3$  が現れる位置で生じた後方散乱光  $LS_1 \sim LS_3$  が被測定光ファイバ  $FUT$  の一端（原点）に到達する時刻は、光が相関ピークまでを往復する時間となるため、測定間隔  $D$  の2倍に相当する分だけ変化する。

【0055】

被測定光ファイバ  $FUT$  の一端から射出された後方散乱光  $LS$ （後方散乱光  $LS_1 \sim LS_3$ ）は、第2光分岐部14を介して合波部16に入射する。合波部16に入射した後方散乱光  $LS$  は、第1光分岐部12で分岐されて光遅延部15を介した参照光  $LR$  と合波され、その干渉光が検出部17で検出される（ステップ  $S_{14}$ ）。上記の干渉光が検出されると、検出部17から切替部18に検出信号が出力される。

【0056】

すると、ステップ  $S_{13}$  で算出した戻り時間を考慮して切替部18を制御し、所定時間毎に検出信号を切り出す処理が制御装置20の制御部20aによって行われる（ステップ  $S_{15}$ ）。ここで、行われる処理は、基本的には第1回目処理にて行われた処理と同様の処理であるが、周波数分析器19a～19cを検出部17に接続させるタイミング（検出信号を切り出すタイミング）が測定間隔  $D$  の2倍に相当する分だけ変化する。

【0057】

切替部18によって切り出された検出信号が、周波数分析器19a～19cに入力されると、第1回目処理と同様に、切り出された検出信号を用いて被測定光ファイバ  $FUT$  の特性を測定する処理が、周波数分析器19a～19cで個別に行われる（ステップ  $S_{16}$ ）。尚、求められたブリルアン周波数シフト量は制御装置20に出力される。

【0058】

第3回目処理以降は、第2回目処理と同様の処理が行われる。つまり、変調周波数を  $f_m$  ずつ変化させ、相関ピーク  $CP_1 \sim CP_3$  の位置を測定間隔  $D$  ずつ移動させながら被測定光ファイバ  $FUT$  の特性を測定する処理が行われる。このため、第3回目処理以降の処理の説明については省略する。尚、図2に示すフローチャートの処理は、第  $M$  回目処理まで行われる。ここで、 $M = [d_m / D]$  である。尚、左式中の記号“ $[ ]$ ”はガウス記号（商を超えない最大の整数を与えるもの）である。

【0059】

以上の通り、本実施形態では、周波数変調されたポンプ光  $LP$  をパルス化してポンプパルス光  $P$  を生成し、生成したポンプパルス光  $P$  を被測定光ファイバ  $FUT$  の一端から入射させている。ポンプパルス光  $P$  が入射されることで被測定光ファイバ  $FUT$  内におけるブリルアン散乱により生じた後方散乱光  $LS$  と、周波数変調された参照光  $LR$  との干渉光を検出している。そして、干渉光を検出して得られた検出信号を所定時間毎に切り出し、切り出された所定時間毎の検出信号を個別に用いて被測定光ファイバ  $FUT$  の特性を測定している。これにより、1つのポンプパルス光  $P$  を被測定光ファイバ  $FUT$  に入射させることで、相関ピークが現れる複数箇所の特性を測定することができるため、従来よりも被測定光ファイバの特性の測定に要する時間を短縮することができる。

【0060】

具体的に、図3に示す通り、被測定光ファイバ  $FUT$  の測定範囲  $RM$  内において3つの相関ピーク  $CP_1 \sim CP_3$  が現れる場合には、1つのポンプパルス光  $P$  を被測定光ファイバ  $FUT$  に入射させることで、相関ピーク  $CP_1 \sim CP_3$  が現れる3箇所の特性を測定することができる。このため、被測定光ファイバ  $FUT$  の特性の測定に要する時間を従来の  $1/3$  に短縮することができる。

【0061】

10

20

30

40

50

図3に示す例において、相関ピークCP1～CP3を被測定光ファイバFUTの長さ方向に移動させた場合に、相関ピークCP3が現れる位置が、測定範囲RMを超えてしまう場合がある。このような場合には、1つのポンプパルス光Pを被測定光ファイバFUTに入射させることで、相関ピークCP1, CP2が現れる2箇所の特性を測定することができるため、被測定光ファイバFUTの特性の測定に要する時間は、従来の1/2となる。

【0062】

尚、上記実施形態では、被測定光ファイバFUTに現れる相関ピークの数 considering、測定部19に4つの周波数分析器19a～19dが設けられる例について説明した。しかしながら、測定部19に設けられる周波数分析器の数は、被測定光ファイバFUTに現れる相関ピークの数と同数である必要は必ずしも無く、異なっても良い(相関ピークの数よりも多くても良く、少なくとも良い)。

10

【0063】

また、ポンプパルス光Pのパルス幅tpwよりも十分短い時間で処理が可能な周波数分析器、或いはパイプライン処理が可能な周波数分析器であれば、測定部19に設けられる周波数分析器の数は1つのみであっても良い。測定部19に設けられる周波数分析器が1つの場合には、切替部18によって順次切り出される検出信号を順次1つの周波数分析器で処理することとなる。

【0064】

また、上記実施形態では、測定部19に設けられる周波数分析器19a～19dがスペクトラムアナライザを備える例について説明したが、測定部19に設けられる周波数分析器は、スペクトルデータが得られるのであれば、必ずしもスペクトラムアナライザを備えるものである必要はない。測定部19に設けられる周波数分析器は、A/D変換器及び高速フーリエ変換器を備えるものであっても良い。

20

【0065】

また、上記実施形態において、相関ピークCP1～CP3を移動させた場合に生ずる相関ピークの間隔dmの変化量 $N \times dm$ (Nは測定範囲内に存在する相関ピークの数)が十分小さいとみなしていた。つまり、 $D \geq N \times dm$ なる関係が成り立つ場合を考えていた。この関係が成り立たない場合には、観測したい場所と相関ピークが現れる位置との間に誤差が生じる可能性が考えられる。相関ピークの間隔dmが測定間隔Dとなるよう変調周波数fmを設定することで、上記の誤差が生ずるのを防止することができる。

30

【0066】

尚、上記実施形態では、ポンプパルス光Pを生成する処理(図2中のステップS12)が行われた後で、後方散乱光の戻り時間を算出する処理(図2中のステップS13)が行われる例について説明した。しかしながら、図2中のステップS13は、ステップS11とステップS12との間で行われても良く、或いはステップS12と並列して行われても良い。

【0067】

〔第2実施形態〕

光ファイバ特性測定装置の構成

図4は、本発明の第2実施形態による光ファイバ特性測定装置の要部構成を示すブロック図である。尚、図4において、図1に示した構成と同様の構成には同一の符号を付してある。図4に示す通り、本実施形態の光ファイバ特性測定装置2は、図1に示す光ファイバ特性測定装置1に発振器31、周波数シフタ32、及びA/D変換部33(変換部)を追加し、光ファイバ特性測定装置1の測定部19及び制御装置20をそれぞれ記憶部34(切出部)及び制御装置35に代えた構成である。

40

【0068】

本実施形態の光ファイバ特性測定装置2は、検出部17から出力される検出信号(後方散乱光LSと参照光LRとの周波数差分を示す干渉信号)の周波数領域を、直流近傍の周波数領域に変換するものである。このような変換を行うことで、検出信号に対する処理(被測定光ファイバFUTの特性を求める処理)を容易に行うことができるようにしたもの

50

である。

【 0 0 6 9 】

発振器 3 1 は、制御装置 3 5 の制御の下で、例えば正弦波状の信号 S 1 を出力する。発振器 3 1 から出力される信号 S 1 の周波数は、制御装置 3 5 によって制御される。具体的に、制御装置 3 5 の動作モードが第 1 モード（高速フーリエ変換を行う動作モード）である場合には、信号 S 1 の周波数が一定の周波数になるように制御される。これに対し、制御装置 3 5 の動作モードが第 2 モード（高速フーリエ変換を行わない動作モード）である場合には、信号 S 1 の周波数が予め規定された周期で変化するように制御される。ここで、信号 S 1 の周波数が変化する周期は、例えばポンプパルス光 P が被測定光ファイバ F U T を往復するのに要する時間である。

10

【 0 0 7 0 】

周波数シフタ 3 2 は、例えば S S B (Single Side Band) 変調素子を備えており、発振器 3 1 から出力される信号 S 1 を用いて、第 1 光分岐部 1 2 で分岐されたポンプ光 L P の周波数を信号 S 1 の周波数分シフトさせる。具体的に、周波数シフタ 3 2 は、ポンプ光 L P の周波数を、被測定光ファイバ F U T で生ずるブリルアン周波数シフト量に近い周波数だけシフトさせる。つまり、周波数シフタ 3 2 は、ブリルアン周波数シフト量とポンプ光 L P との周波数差が、直流近傍の周波数領域となるようにポンプ光 L P の周波数をシフトさせる。

【 0 0 7 1 】

例えば、被測定光ファイバ F U T のブリルアン周波数シフト量が 1 0 G H z 程度である場合において、制御装置 3 5 の動作モードが第 1 モードであるときには、発振器 3 1 から出力される信号 S 1 の周波数は 1 1 G H z 程度であり、周波数シフタ 3 2 は、ポンプ光 L P の周波数を信号 S 1 の周波数分シフトさせる。これに対し、制御装置 3 5 の動作モードが第 2 モードであるときには、発振器 3 1 から出力される信号 S 1 の周波数は 9 . 5 G H z 程度から 1 0 . 5 G H z 程度の範囲内を上記の周期で変化するものになり、周波数シフタ 3 2 は、ポンプ光 L P の周波数を信号 S 1 の周波数分シフトさせる。つまり、第 2 モードにおいて、周波数シフタ 3 2 は、ポンプ光 L P の周波数のシフト量を、上記の周期で掃引する。

20

【 0 0 7 2 】

A / D 変換部 3 3 は、検出部 1 7 と切替部 1 8 との間に設けられており、検出部 1 7 から出力される検出信号をデジタル信号の検出データに変換して切替部 1 8 に出力する。ここで、第 1 実施形態のように周波数シフタ 3 2 を持たない構成では、検出部 1 7 から出力される検出信号の周波数領域が 1 0 G H z 程度の高い周波数であるため、これを直接 A / D 変換部 3 3 に入力することは価格や消費電力、データ量の点から困難である。本実施形態では、上記の周波数シフタ 3 2 を設けて、検出部 1 7 から出力される検出信号の周波数領域を、直流近傍の周波数領域（例えば、1 G H z 程度の周波数領域）にすることで、A / D 変換部 3 3 の使用を容易にしている。

30

【 0 0 7 3 】

記憶部 3 4 は、複数のメモリを備えており、切替部 1 8 から出力される検出データ（所定時間毎に切り出された検出データ）を複数のメモリに個別に記憶する。記憶部 3 4 におけるメモリの数は、図 1 に示す測定部 1 9 における周波数分析器の数と同様に、被測定光ファイバ F U T に現れる相関ピークの数と考慮して設定される。例えば、図 4 に示す通り、被測定光ファイバ F U T に 4 つの相関ピーク C P 1 ~ C P 4 が現れる場合には、これら 4 つの相関ピーク C P 1 ~ C P 4 に対応して 4 つのメモリ 3 4 a ~ 3 4 d が記憶部 3 4 に設けられる。

40

【 0 0 7 4 】

メモリ 3 4 a ~ 3 4 d としては、例えば R A M (Random Access Memory) 等の揮発性の半導体メモリ、フラッシュメモリ等の不揮発性の半導体メモリ等を用いることができる。また、メモリ 3 4 a ~ 3 4 d は、半導体メモリに制限される訳ではなく、半導体メモリ以外に、H D D (ハードディスクドライブ) や S S D (ソリッドステートドライブ) 等を用

50

いることもできる。

【 0 0 7 5 】

制御装置 3 5 は、光ファイバ特性測定装置 2 の動作を統括して制御する。例えば、制御装置 3 5 は、図 1 に示す制御装置 2 0 と同様に、光源部 1 1 を制御して光源部 1 1 から出力される連続光 L 1 の変調周波数  $f_m$  を変更させ、パルス化部 1 3 を制御してポンプパルス光 P を生成させ、被測定光ファイバ F U T からの後方散乱光 L S が検出部 1 7 に到達する時間を考慮して切替部 1 8 の切り替え制御を行う。また、制御装置 3 5 は、発振器 3 1 を制御して、周波数が一定の信号 S 1 又は周波数が予め規定された周期で変化する信号 S 1 を出力させる。

【 0 0 7 6 】

制御装置 3 5 は、F F T 演算部 3 5 a ( 演算部、測定部 )、周波数分析部 3 5 b ( 測定部 )、及び制御部 2 0 a ( 切出部 ) を備える。F F T 演算部 3 5 a は、メモリ 3 4 a ~ 3 4 d から個別に読み出された検出データに対して高速フーリエ変換を行って、検出データ ( 所定時間毎に切り出された検出データ ) の周波数特性を示すスペクトルデータを求める。周波数分析部 3 5 b は、F F T 演算部 3 5 a によって求められたスペクトルデータ、或いはメモリ 3 4 a ~ 3 4 d から個別に読み出された検出データからブリルアン周波数シフト量を求める。

【 0 0 7 7 】

ここで、制御装置 3 5 には、以下に示す 2 つの動作モードが用意されている。制御装置 3 5 を何れのモードにするかは、例えばユーザが制御装置 3 5 に設けられている不図示の操作部を操作することによって行われる。

第 1 モード：高速フーリエ変換を行う動作モード

第 2 モード：高速フーリエ変換を行わない動作モード

【 0 0 7 8 】

制御装置 3 5 の動作モードが第 1 モードである場合には、信号 S 1 の周波数が一定の周波数になるように発振器 3 1 が制御される。また、制御装置 3 5 の F F T 演算部 3 5 a は動作状態にされ、周波数分析部 3 5 b は、F F T 演算部 3 5 a によって求められたスペクトルデータからブリルアン周波数シフト量を求めるように設定される。これに対し、制御装置 3 5 の動作モードが第 2 モードである場合には、信号 S 1 の周波数が変化するように発振器 3 1 が制御される。また、制御装置 3 5 の F F T 演算部 3 5 a は停止状態にされ、周波数分析部 3 5 b は、メモリ 3 4 a ~ 3 4 d から個別に読み出された検出データからブリルアン周波数シフト量を求めるように設定される。

【 0 0 7 9 】

光ファイバ特性測定装置の動作

光ファイバ特性測定装置 2 の基本的な動作は、図 1 に示す光ファイバ特性測定装置 1 と同様である。このため、光ファイバ特性測定装置 2 においても、基本的には、図 2 に示すフローチャートの処理と同様の処理が行われる。以下では、光ファイバ特性測定装置 2 の動作のうち、光ファイバ特性測定装置 1 と異なるものを主に説明する。また、制御装置 3 5 の動作モードが第 1 モードである場合と、第 2 モードである場合とで、若干動作が異なるため、以下では、制御装置 3 5 の動作モードが第 1 モードである場合の動作と、第 2 モードである場合の動作とを分けて説明する。

【 0 0 8 0 】

( 1 ) 第 1 モード

制御装置 3 5 の動作モードが第 1 モードである場合には、周波数シフト 3 2 に入力される信号 S 1 の周波数が一定の周波数になるように発振器 3 1 が制御される。第 1 光分岐部 1 2 で分岐されたポンプ光 L P が周波数シフト 3 2 に入射すると、ポンプ光 L P の周波数は、被測定光ファイバ F U T で生ずるブリルアン周波数シフト量 ( 例えば、1 0 G H z 程度 ) に近い周波数 ( 例えば、1 1 G H z 程度 ) だけシフトする。周波数がシフトしたポンプ光 L P は、パルス化部 1 3 でパルス状に整形される。パルス化部 1 3 で生成されたポンプパルス光 P は、第 2 光分岐部 1 4 を介して被測定光ファイバ F U T に入射する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 8 1 】

被測定光ファイバFUTに入射したポンプパルス光Pが、被測定光ファイバFUT内を伝播していくと、第1実施形態と同様に、後方散乱光LS（後方散乱光LS1～LS3）が順次生じて、被測定光ファイバFUTの一端から順次射出される。被測定光ファイバFUTの一端から射出された後方散乱光LS（後方散乱光LS1～LS3）は、第2光分岐部14を介して合波部16に入射する。合波部16に入射した後方散乱光LSは、第1光分岐部12で分岐されて光遅延部15を介した参照光LRと合波され、その干渉光が検出部17で検出される。

## 【 0 0 8 2 】

上記の干渉光が検出されると、検出部17からA/D変換部33に検出信号が出力される。ここで、ポンプ光LPの周波数を11GHz程度シフトさせているため、被測定光ファイバFUTのブリルアン周波数シフト量が10GHz程度であるとすると、検出部17から出力される検出信号の周波数は1GHz程度になる。検出部17からA/D変換部33に出力された検出信号は、A/D変換部33でデジタル信号の検出データに変換されて切替部18に出力される。

10

## 【 0 0 8 3 】

すると、第1実施形態と同様に、後方散乱光LSの戻り時間を考慮して切替部18を制御し、所定時間毎に検出データを切り出す処理が制御装置35の制御部20aによって行われる。所定時間毎に切り出された検出データは、メモリ34a～34cに順次記憶される。そして、制御装置35の制御によってメモリ34a～34cに記憶された検出データが個別に順次読み出される。

20

## 【 0 0 8 4 】

続いて、メモリ34a～34cから読み出された検出データに対して高速フーリエ変換を行って、検出データの周波数特性を示すスペクトルデータを求める処理が、FFT演算部35aで順次行われる。FFT演算部35aで求められたスペクトルデータは、周波数分析部35bに順次出力される。そして、FFT演算部35aによって求められたスペクトルデータからブリルアン周波数シフト量を求める処理が周波数分析部35bで行われる。変調周波数をfmずつ変化させ、相関ピークCP1～CP3の位置を測定間隔Dずつ移動させながら、以上の処理が繰り返し行われる。

30

## 【 0 0 8 5 】

## (2) 第2モード

制御装置35の動作モードが第2モードである場合には、周波数シフタ32に入力される信号S1の周波数が変化するように発振器31が制御される。第1光分岐部12で分岐されたポンプ光LPが周波数シフタ32に入射すると、制御装置35の動作モードが第1モードである場合と同様に、ポンプ光LPの周波数は、被測定光ファイバFUTで生ずるブリルアン周波数シフト量に近い周波数（例えば、9.5GHzから10.5GHz程度の範囲内）だけシフトする。但し、ポンプ光LPの周波数のシフト量は、予め規定された周期（例えば、ポンプパルス光Pが被測定光ファイバFUTを往復するのに要する時間）で掃引される。周波数がシフトしたポンプ光LPは、パルス化部13でパルス状に整形される。パルス化部13で生成されたポンプパルス光Pは、第2光分岐部14を介して被測定光ファイバFUTに入射する。

40

## 【 0 0 8 6 】

被測定光ファイバFUTに入射したポンプパルス光Pが、被測定光ファイバFUT内を伝播していくと、制御装置35の動作モードが第1モードである場合と同様に、後方散乱光LS（後方散乱光LS1～LS3）が順次生じて、被測定光ファイバFUTの一端から順次射出される。被測定光ファイバFUTの一端から射出された後方散乱光LS（後方散乱光LS1～LS3）は、第2光分岐部14を介して合波部16に入射する。合波部16に入射した後方散乱光LSは、第1光分岐部12で分岐されて光遅延部15を介した参照光LRと合波され、その干渉光が検出部17で検出される。

## 【 0 0 8 7 】

50

検出部 17 から A / D 変換部 33 に出力された検出信号は、A / D 変換部 33 でデジタル信号の検出データに変換されて切替部 18 に出力される。すると、制御装置 35 の動作モードが第 1 モードである場合と同様に、後方散乱光 L S の戻り時間を考慮して切替部 18 を制御し、所定時間毎に検出データを切り出す処理が制御装置 35 の制御部 20 a によって行われる。所定時間毎に切り出された検出データは、メモリ 34 a ~ 34 c に順次記憶される。ここで、ポンプ光 L P の周波数のシフト量は予め規定された周期で掃引されるため、メモリ 34 a ~ 34 c に記憶された検出データは、スペクトルデータとなっている。

【 0 0 8 8 】

メモリ 34 a ~ 34 c に記憶された検出データは、制御装置 35 の制御によって個別に順次読み出される。すると、メモリ 34 a ~ 34 c から個別に順次読み出された検出データからブリルアン周波数シフト量を求める処理が周波数分析部 35 b で行われる。変調周波数を  $f_m$  ずつ変化させ、相関ピーク C P 1 ~ C P 3 の位置を測定間隔  $D$  ずつ移動させながら、以上の処理が繰り返し行われる。

【 0 0 8 9 】

以上の通り、本実施形態では、周波数シフト 32 によってポンプ光 L P の周波数を、被測定光ファイバ F U T で生ずるブリルアン周波数シフト量に近い周波数だけシフトさせることで、検出部 17 から出力される検出信号の周波数領域を、直流近傍の周波数領域に変換している。このため、検出信号をデジタル信号である検出データに変換して、被測定光ファイバ F U T の特性を求める処理を容易に行うことができる。

【 0 0 9 0 】

また、本実施形態でも、第 1 実施形態と同様に、検出データを所定時間毎に切り出し、切り出された所定時間毎の検出データを個別に用いて被測定光ファイバ F U T の特性を測定している。これにより、1 つのポンプパルス光 P を被測定光ファイバ F U T に入射させることで、相関ピークが現れる複数箇所の特性を測定することができるため、従来よりも被測定光ファイバの特性の測定に要する時間を短縮することができる。

【 0 0 9 1 】

尚、上記実施形態では、被測定光ファイバ F U T に現れる相関ピークの数 considering、記憶部 34 に 4 つのメモリ 34 a ~ 34 d が設けられる例について説明した。しかしながら、記憶部 34 に設けられるメモリの数は、被測定光ファイバ F U T に現れる相関ピークの数と同数である必要は必ずしも無く、異なっても良い（相関ピークの数よりも多くても良く、少なくても良い）。

【 0 0 9 2 】

また、上記実施形態では、第 1 光分岐部 12 で分岐されたポンプ光 L P の周波数をシフトさせる例について説明した。しかしながら、ポンプ光 L P の周波数をシフトさせることなく、第 1 光分岐部 12 で分岐された参照光 L R の周波数をシフトさせるようにしても良い。つまり、第 1 光分岐部 12 で分岐されたポンプ光 L P 及び参照光 L R の何れか一方の周波数をシフトさせればよい。

【 0 0 9 3 】

〔 第 3 実施形態 〕

光ファイバ特性測定装置の構成

図 5 は、本発明の第 3 実施形態による光ファイバ特性測定装置の要部構成を示すブロック図である。尚、図 5 において、図 4 に示した構成と同様の構成には同一の符号を付してある。図 5 に示す通り、本実施形態の光ファイバ特性測定装置 3 は、図 4 に示す光ファイバ特性測定装置 2 の切替部 18 を省略し、光ファイバ特性測定装置 2 の記憶部 34 及び制御装置 35 をそれぞれメモリ 41（切出部）及び制御装置 42 に代えた構成である。

【 0 0 9 4 】

図 4 に示す光ファイバ特性測定装置 2 は、切替部 18 によって所定時間毎に切り出された検出データを複数のメモリに個別に記憶するものであった。これに対し、本実施形態の光ファイバ特性測定装置 3 は、検出データを全てメモリ 41 に記憶し、後方散乱光 L S が

10

20

30

40

50

検出部 17 に到達した時間を考慮して、メモリ 41 に記憶された検出データを所定時間毎に個別に読み出すようにしたものである。つまり、図 4 に示す光ファイバ特性測定装置 2 は、メモリに記憶させる前に検出データの切り出しを行うものであるのに対し、本実施形態の光ファイバ特性測定装置 3 は、検出データをメモリに記憶した後に検出データの切り出しを行うものである。

【0095】

メモリ 41 は、図 4 に示すメモリ 34a ~ 34d と同様に、例えば RAM 等の揮発性の半導体メモリ、フラッシュメモリ等の不揮発性の半導体メモリ等を用いることができる。また、メモリ 41 は、半導体メモリに制限される訳ではなく、半導体メモリ以外に、HDD (ハードディスクドライブ) や SSD (ソリッドステートドライブ) 等を用いることも

10

【0096】

制御装置 42 は、光ファイバ特性測定装置 3 の動作を統括して制御する。例えば、制御装置 42 は、図 4 に示す制御装置 35 と同様に、光源部 11 を制御して光源部 11 から出力される連続光 L1 の変調周波数  $f_m$  を変更させ、パルス化部 13 を制御してポンパルス光 P を生成させ、発振器 31 を制御して周波数が一定の信号 S1 又は周波数が予め規定された周期で変化する信号 S1 を出力させる。

【0097】

制御装置 42 は、図 4 に示す FFT 演算部 35a 及び周波数分析部 35b に加えて、読出部 42a (切出部) を備える。読出部 42a は、後方散乱光 LS が検出部 17 に到達した時間を考慮して、メモリ 41 に記憶された検出データを所定時間毎に個別に読み出す。尚、後方散乱光 LS が検出部 17 に到達した時間 (後方散乱光 LS の戻り時間) は、制御装置 42 で図 2 に示すステップ S13 と同様の処理が行われることによって求められる。

20

【0098】

ここで、A/D 変換部 33 から出力される検出データがメモリ 41 にアドレス順に書き込まれる場合には、検出データがメモリ 41 に書き込まれた時刻とメモリ 41 のアドレスとが 1 対 1 で対応することとなる。読出部 42a は、メモリ 41 に対する検出データの書き込みが開始された時刻、メモリ 41 に対する検出データの書き込み開始アドレス、A/D 変換部 33 のサンプリング周波数を用い、後方散乱光 LS が検出部 17 に到達した時間をアドレスに変換して、必要な検出データの読み出しを行う。

30

【0099】

尚、A/D 変換部 33 から出力される検出データのみをメモリ 41 に書き込むのではなく、A/D 変換部 33 から出力される検出データとともに、検出データのデータ順を示す付加情報をメモリ 41 に書き込むようにしても良い。このような付加情報としては、例えば時刻情報やデータ番号 (シリアル番号) を用いることができる。付加情報として時刻情報が用いられる場合には、読出部 42a は付加情報としての時刻情報を参照して必要な検出データの読み出しを行う。付加情報としてデータ番号が用いられる場合には、読出部 42a は、メモリ 41 に対する検出データの書き込みが開始された時刻、A/D 変換部 33 のサンプリング周波数を用い、後方散乱光 LS が検出部 17 に到達した時間をデータ番号に変換して必要な検出データの読み出しを行う。

40

【0100】

ここで、制御装置 42 にも、図 4 に示す制御装置 35 と同様に、2 つの動作モード (第 1 モード及び第 2 モード) が用意されている。制御装置 42 の動作モードが第 1 モードである場合には、信号 S1 の周波数が一定の周波数になるように発振器 31 が制御される。また、制御装置 42 の FFT 演算部 35a は動作状態にされて、読出部 42a で読み出された検出データを処理するようにされ、周波数分析部 35b は、FFT 演算部 35a によって求められたスペクトルデータからブリルアン周波数シフト量を求めるように設定される。これに対し、制御装置 42 の動作モードが第 2 モードである場合には、信号 S1 の周波数が変化するように発振器 31 が制御される。また、制御装置 42 の FFT 演算部 35a は停止状態にされ、周波数分析部 35b は、読出部 42a によって読み出された検出デ

50

ータからブリルアン周波数シフト量を求めるように設定される。

【0101】

光ファイバ特性測定装置の動作

光ファイバ特性測定装置3の動作は、A/D変換部33から出力される検出データを切り出すタイミングを除き、図4に示す光ファイバ特性測定装置2と同様である。このため、光ファイバ特性測定装置3においても、基本的には、図2に示すフローチャートの処理と同様の処理が行われる。以下では、光ファイバ特性測定装置3の動作のうち、光ファイバ特性測定装置2と異なるものを主に説明する。尚、以下では、説明を簡略化するため、制御装置42の動作モードが第1モードである場合を例に挙げて説明する。

【0102】

光源11aから連続光L1が射出されてから、後方散乱光LSと参照光LRとの干渉光が検出部17で検出されるまでの動作は、図4に示す光ファイバ特性測定装置2で行われる動作と同様である。検出部17からA/D変換部33に出力された検出信号は、A/D変換部33でデジタル信号の検出データに変換されてメモリ41に出力され、メモリ41に順次記憶される。

【0103】

メモリ41に検出データが記憶されると、後方散乱光LSが検出部17に到達した時間を考慮して、メモリ41に記憶された検出データを所定時間毎に個別に読み出す処理が読出部42aによって行われる。読出部42aによって個別に読み出されたデータは、FFT演算部35aに順次出力され、検出データの周波数特性を示すスペクトルデータを求める処理がFFT演算部35aで順次行われる。

【0104】

FFT演算部35aで求められたスペクトルデータは、周波数分析部35bに順次出力される。そして、FFT演算部35aによって求められたスペクトルデータからブリルアン周波数シフト量を求める処理が周波数分析部35bで行われる。変調周波数を $f_m$ ずつ変化させ、相関ピークCP1~CP3の位置を測定間隔Dずつ移動させながら、以上の処理が繰り返し行われる。

【0105】

尚、読出部42aによる検出データの読み出しは、第2実施形態と同様に、メモリ41に検出データが書き込まれる度に行われても良く、第2実施形態とは異なるタイミングで行われても良い。例えば、メモリ41の容量に余裕がある場合には、測定中に得られる検出データを全てメモリ41に記憶し、測定終了後に一括して読出部42aが検出データの読み出しを行うようにしても良い。また、制御装置42の処理が十分に速い場合には、メモリ41を省略することも可能である。かかる場合には、制御装置42に設けられた読出部42aによって、A/D変換部33から出力される検出データの切り出しが直接行われることになる。

【0106】

以上の通り、本実施形態では、A/D変換部33から出力される検出データをメモリ41に記憶させた後に、読出部42aが、後方散乱光LSが検出部17に到達した時間を考慮して、メモリ41に記憶された検出データを所定時間毎に個別に読み出すようにしている。これにより、図4に示す切替部18や複数のメモリ34a~34dを省略することができるため、装置構成の簡略化することができる。また、例えば、測定終了後に一括してメモリ41に記憶された検出データの読み出しを行って、被測定光ファイバFUTの特性を一括して求める、といった柔軟な使い方も可能である。

【0107】

また、本実施形態と第2実施形態とは、検出データをメモリに記憶した後に検出データの切り出しを行うのか、メモリに記憶させる前に検出データの切り出しを行うのかが異なるだけである。このため、本実施形態においても、第2実施形態で得られる作用効果と同様の作用効果が得られる。具体的には、検出部17から出力される検出信号をデジタル信号である検出データに変換して、被測定光ファイバFUTの特性を求める処理を容易に

10

20

30

40

50

行うことができるという作用効果、及び、従来よりも被測定光ファイバの特性の測定に要する時間を短縮することができるという作用効果が得られる。

【 0 1 0 8 】

以上、本発明の実施形態による光ファイバ特性測定装置及び光ファイバ特性測定方法について説明したが、本発明は上記実施形態に制限される訳ではなく、本発明の範囲内で自由に変更が可能である。例えば、上述した実施形態において、パルス化部 1 3 は、ポンプ光 L P に対して強度変調を行うことによって、ポンプ光 L P をパルス状に整形するものであった。しかしながら、ポンプ光 L P をパルス化する方法は、ポンプ光 L P に対して強度変調する方法に制限される訳ではない。例えば、ポンプ光 L P に対して周波数変調を行い、ポンプ光 L P の光周波数をパルス状に変化させる（光周波数を大きく振る）ものであっても良い。

10

【 0 1 0 9 】

また、光遅延部 1 5 は、第 1 光分岐部 1 2 と合波部 1 6 との間以外に、第 1 光分岐部 1 2 と第 2 光分岐部 1 4 との間、又は第 2 光分岐部 1 4 と合波部 1 6 との間に設けられていても良い。また、ポンプ光 L P を増幅する第 1 光増幅部を、第 1 光分岐部 1 2 と第 2 光分岐部 1 4 との間に備えてもよい。また、後方散乱光 L S を増幅する第 2 光増幅部を、第 2 光分岐部 1 4 と合波部 1 6 の間に備えてもよい。また、参照光 L R を増幅する第 3 光増幅部を、第 1 光分岐部 1 2 と合波部 1 6 の間に備えてもよい。

【 符号の説明 】

【 0 1 1 0 】

20

1 ~ 3	光ファイバ特性測定装置
1 1	光源部
1 2	第 1 光分岐部
1 3	パルス化部
1 4	第 2 光分岐部
1 7	検出部
1 8	切替部
1 9	測定部
1 9 a ~ 1 9 d	周波数分析器
2 0	制御装置
2 0 a	制御部
3 2	周波数シフタ
3 3	A / D 変換部
3 4	記憶部
3 4 a ~ 3 4 d	メモリ
3 5	制御装置
3 5 a	F F T 演算部
3 5 b	周波数分析部
4 0	記憶部
4 1	メモリ
4 2 a	読出部
F U T	被測定光ファイバ
L 1	連続光
L P	ポンプ光
L R	参照光
L S	後方散乱光

30

40

【図1】

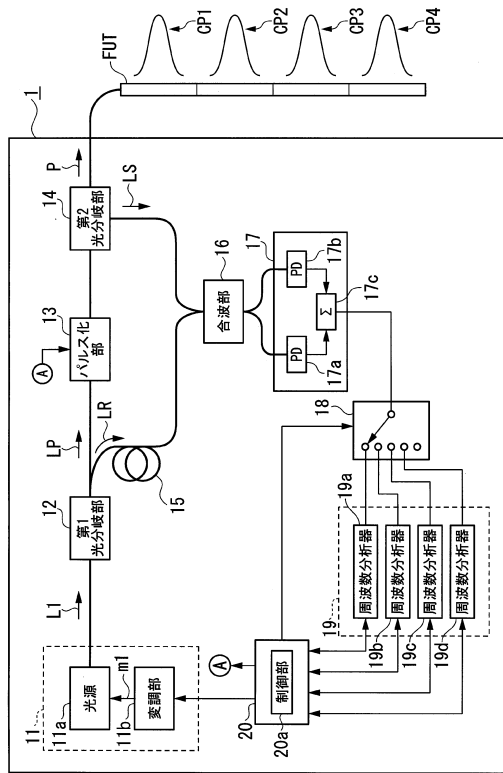


図1

【図2】

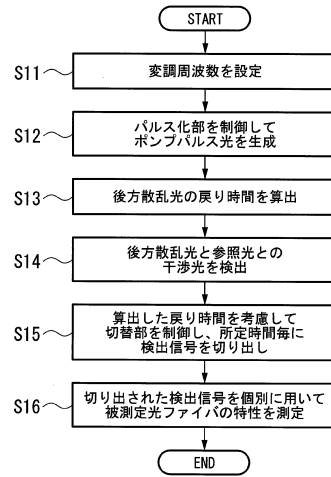


図2

【図3】

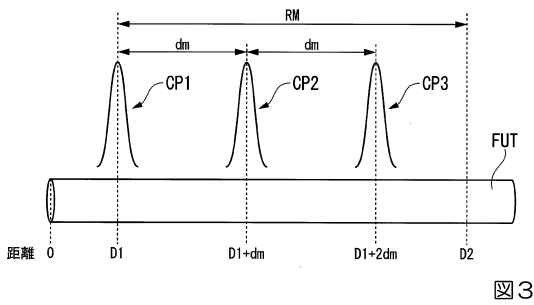


図3

【図4】

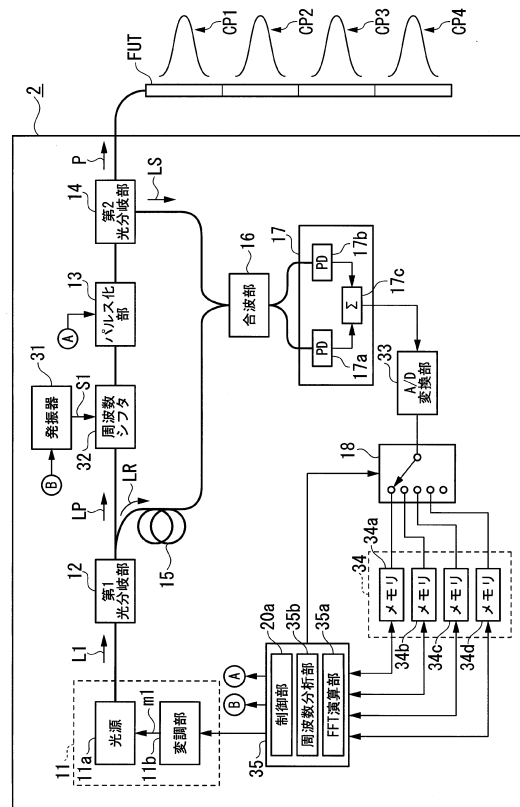


図4

【 図 5 】

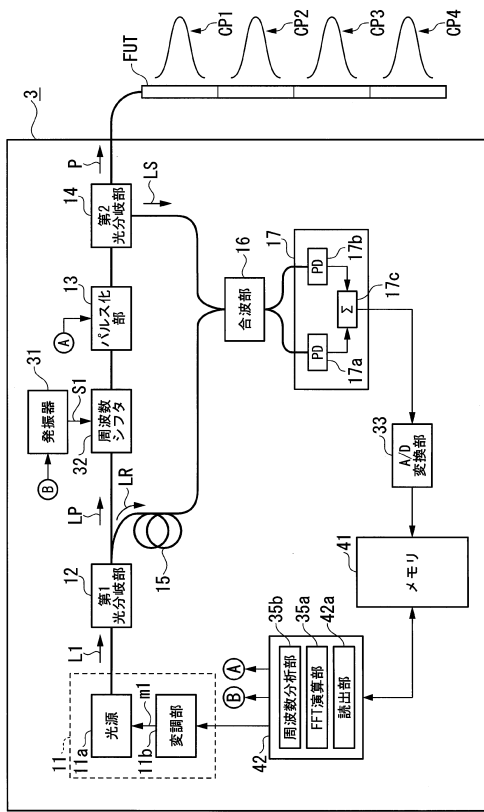


図5

---

フロントページの続き

審査官 細見 斉子

- (56)参考文献 特開2009-139241(JP,A)  
特開2007-225488(JP,A)  
特開2017-156094(JP,A)  
特開2017-053645(JP,A)  
特開2015-197384(JP,A)  
特開2015-021748(JP,A)  
特開2010-271137(JP,A)  
特開2015-132562(JP,A)  
米国特許第06246497(US,B1)  
米国特許出願公開第2010/0165327(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01D 5/26 - 5/353  
G01K 11/32  
G01L 1/24  
G01B 11/16  
G02B 6/00  
G01M 11/00 - 11/02