

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3631653号

(P3631653)

(45) 発行日 平成17年3月23日(2005.3.23)

(24) 登録日 平成16年12月24日(2004.12.24)

(51) Int. Cl.⁷

F I

GO 1 M 11/02

GO 1 M 11/02

K

GO 2 B 6/00

GO 2 B 6/00

A

請求項の数 13 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2000-42146 (P2000-42146)	(73) 特許権者	503360115
(22) 出願日	平成12年2月21日(2000.2.21)		独立行政法人科学技術振興機構
(65) 公開番号	特開2001-228053 (P2001-228053A)		埼玉県川口市本町4丁目1番8号
(43) 公開日	平成13年8月24日(2001.8.24)	(74) 代理人	100107010
審査請求日	平成15年3月19日(2003.3.19)		弁理士 橋爪 健
		(72) 発明者	伊藤 弘昌
			宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉390-82
		(72) 発明者	吉田 真人
			宮城県仙台市太白区八木山緑町16-3
			せい風寮
		(72) 発明者	中村 孝一郎
			宮城県仙台市太白区富沢2-17-32
			ピエソ富沢203

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 群速度分散測定装置および群速度分散測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

所定周波数間隔にある少なくとも2つの又は等周波数間隔にある複数本の周波数チャープ光を生成するチャープ光生成手段と、
被測定光ファイバへ前記チャープ光生成手段により生成された周波数チャープ光が伝搬された際に、複数本の周波数チャープ光間の伝搬前のビート周波数と複数本の周波数チャープ光間の伝搬後のビート周波数との周波数変化量を検出する周波数変化量検出手段と、
前記周波数変化量検出手段により検出された変化量に基づいて、被測定光ファイバの群速度分散値を検出する群速度分散検出手段とを備えた群速度分散測定装置。

【請求項2】

前記チャープ光生成手段は、
周波数をシフトするための周波数シフト素子を有し、周波数シフトされた回折光を帰還させて周波数チャープ光を生成することを特徴とする請求項1に記載の群速度分散測定装置。

【請求項3】

前記チャープ光生成手段は、
利得媒質、励起光源、光結合器、及び、周波数シフト素子をリング状に接続したリング共振器を有することを特徴とする請求項1又は2に記載の群速度分散測定装置。

【請求項4】

前記チャープ光生成手段は、

10

20

前記リング共振器内の光波が前記周波数シフト素子により共振器周回毎に受ける周波数シフト量に等しい割合で周波数が変化する周波数チャープ光を生成することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の群速度分散測定装置。

【請求項 5】

前記チャープ光生成手段は、
バンドパスフィルタをさらに備え、
周波数チャープ光の発振波長を同調させることを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の群速度分散測定装置。

【請求項 6】

前記チャープ光生成手段は、
周波数シフト素子として音響光学波長可変フィルタを用い、その駆動周波数により発振波長を同調させることを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の群速度分散測定装置。

10

【請求項 7】

前記チャープ光生成手段は、
周波数シフト素子として媒体に光ファイバを用いた音響光学素子を有することを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の群速度分散測定装置。

【請求項 8】

前記チャープ光生成手段は、
時間に対して発振周波数がシフトするような周波数チャープ光源と、
前記周波数チャープ光源を分岐し、一方の光に遅延を与えた後、他方の光と結合する光分岐結合部とを備え、
少なくとも 2 つの周波数チャープ光を生成することを特徴とする請求項 1 に記載の群速度分散測定装置。

20

【請求項 9】

前記周波数変化量検出手段は、
ビート信号のスペクトル波形を観測するスペクトル観測手段と、
前記スペクトル観測手段により観測されたスペクトル波形を近似することによりビート信号の中心周波数を検出する中心周波数検出手段と

を備え、

前記周波数変化量検出手段は、被測定光ファイバへの周波数チャープ光の伝搬前後における中心周波数同士のずれにより、ビート周波数の変化量を検出することを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の群速度分散測定装置。

30

【請求項 10】

前記周波数変化量検出手段は、
複数本の周波数チャープ光間の伝搬前のビート周波数を検出する第 1 の検出手段と、
複数本の周波数チャープ光間の伝搬後のビート周波数を検出する第 2 の検出手段と、
前記第 1 又は第 2 の検出手段を切り替える切り替え手段と

を備え、

前記切り替え手段により切り替えることで、周波数チャープ光の伝搬前後における中心周波数同士のずれを検出することを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の群速度分散測定装置。

40

【請求項 11】

前記周波数変化量検出手段は、
被測定ファイバへの伝搬前及び伝播後における光の自己ビート信号の中心周波数を測定する第 1 及び第 2 の周波数カウンタを備えた

ことを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれかに記載の群速度分散測定装置。

【請求項 12】

所定周波数間隔にある少なくとも 2 つの又は等周波数間隔にある複数本の周波数チャープ光を生成するステップと、

被測定光ファイバへ前記生成するステップにより生成された周波数チャープ光を伝搬する

50

ステップと、

複数本の周波数チャープ光間の伝搬前のビート周波数と複数本の周波数チャープ光間の伝搬後のビート周波数との周波数の変化量を検出するステップと、

検出された変化量に基づいて、被測定光ファイバの群速度分散値を検出するステップとを含む群速度分散測定方法。

【請求項 13】

前記検出するステップは、

隣り合う又は複数離れた周波数成分間で生じるビート周波数の変化量を検出することを特徴とする請求項 12 に記載の群速度分散測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光伝送用ファイバの群速度分散を測定する群速度分散測定装置および群速度分散測定方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

長距離光通信の分野では、光通信システムの高性能化に伴って、光伝送用ファイバの波長分散特性の管理および制御が重要となりつつある。

一般に、光伝送用ファイバは、光通信波長帯（例えば 1.55 μm 帯）において負の群速度分散（GVD: Group Velocity Dispersion）をもち、この GVD は光パルス信号の伝送特性の劣化要因となる。このため、光伝送路の分散特性を制御・補償する必要があり、光ファイバのもつ総分散量を測定することはきわめて重要である。

【0003】

GVD の測定手法の一つに、波長を可変可能な CW 光源やパルス光源を用いて光伝搬時間の波長依存性を測定する手法がある。この手法では、波長をパラメータとした多点計測方式を採用するが、計測に時間を要し、リアルタイムでの GVD 特性の制御が困難である。

【0004】

これまでに、本発明者は、光周波数領域リフレクトメトリ（OFDR: Optical Frequency Domain Reflectometry）法を用いた新しい GVD 測定法を提案した（吉田真人，宮本敏行，原武文，中村孝一郎，伊藤弘昌，“周波数シフト帰還型レーザを用いた光ファイバの群速度分散測定，”信学技報，OCS98-103（1999）25）。また、周波数チャープ光源として周波数シフト帰還型レーザ（Frequency-Shifted Feedback レーザ: FSS レーザ）を用いた GVD 測定装置（宮本敏行，吉田真人，原武文，中村孝一郎，伊藤弘昌，“周波数シフト帰還型ファイバレーザを用いた群速度分散自動測定システム，”春信学会，C-3（1999））とを提案している。

【0005】

本発明者がこれまでに提案した GVD 測定法は、光伝搬時における光のチャープレートの変化量に基づいて、光伝送路のもつ GVD 値を直接算出するものであり、短時間で測定可能であるという特徴をもつ。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

図 13 は、本発明者がこれまでに提案した GVD 測定法の概略を説明する模式図である。この図の GVD 測定法は、自己遅延ヘテロダイン検波信号を測定対象としている。この測定方法は、FSS レーザから出射された周波数チャープ光を被測定光ファイバ（FUT）1 に伝搬させた後、ビート信号のスペクトルの広がりにより GVD 値を算出するものである。

【0007】

詳細には、光分岐手段 100 の一方の第 1 端子には光源が接続され、第 2 端子には光電変

10

20

30

40

50

換手段が接続される。また、他方の端子には、被測定光ファイバ1が接続される。光源から出力された周波数チャープ光（測定光）は、光分岐手段100により2方向に分岐され、一方の周波数チャープ光は被測定光ファイバ1に入射される。このとき、被測定光ファイバ1中を伝播する測定光のチャープレートは、被測定ファイバ1の波長分散の影響により変化する。被測定光ファイバの出口端等からの反射光は、その入射端から出射され、光分岐手段100を経て光電変換手段により受光され、ビート信号を受信する。受信されたビート信号により、GVD値が算出される。

【0008】

しかしながら、上述の測定法は、被測定光ファイバ長の揺らぎに起因した測定誤差が大きいという課題があり、測定精度に限界がある（例えば、 0.36 ps/nm/km ）。

10

【0009】

本発明は、以上の点に鑑みてなされたものであり、その目的は、簡易な構成で短時間にGVDを測定可能な群速度分散測定装置および群速度分散測定方法を提供することにある。すなわち、本発明は、等周波数間隔にある複数本の周波数チャープ光を被測定光ファイバに伝搬させる前後でのチャープ光間で生じるビート信号の周波数の差によりGVD値を算出することにより、従来のように計測用光源の波長をパラメータとして多点計測を行う方式と比較して、高速かつ短時間でGVD値を計測することを目的とする。

【0010】

また、本発明は、周波数チャープ光源として、測定にOFDR法を用いることにより、被測定光ファイバの入力端のみでの計測を可能とし、既設の光伝送網にも容易に適用可能とすることを目的とする。また、本発明は、レーザー共振器の安定化や発振スペクトル幅の広帯域化により、測定精度の改善を図ることを目的とする。

20

【0011】**【課題を解決するための手段】**

上述した課題を解決するために、本発明の第1の解決手段によると、
所定周波数間隔にある少なくとも2つの又は等周波数間隔にある複数本の周波数チャープ光を生成するチャープ光生成手段と、
被測定光ファイバへ前記チャープ光生成手段により生成された周波数チャープ光が伝搬された際に、その伝播前後におけるチャープ光間で生じるビート信号の周波数の変化量を検出する周波数変化量検出手段と、
前記周波数変化量検出手段により検出された変化量に基づいて、被測定光ファイバの群速度分散値を検出する群速度分散検出手段と
を備えた群速度分散測定装置を提供する。
また、本発明の第2の解決手段によると、
所定周波数間隔にある少なくとも2つの又は等周波数間隔にある複数本の周波数チャープ光を生成するステップと、
被測定光ファイバへ前記生成するステップにより生成された周波数チャープ光を伝搬するステップと、
その伝播前後におけるチャープ光間で生じるビート信号の周波数の変化量を検出するステップと、
検出された変化量に基づいて、被測定光ファイバの群速度分散値を検出するステップと
を含む群速度分散測定方法を提供する。

30

40

【0012】

また、本発明では、等周波数間隔にある複数本の周波数チャープ光の被測定光ファイバへの伝搬前後におけるチャープ光間で生じるビート信号の周波数の変化量を検出し、その検出結果に基づいて群速度分散値を求めるため、被測定光ファイバのもつ群速度分散値を簡易かつ短時間で測定できる。また、本発明では、測定にOFDR法を用いるため、被測定光ファイバの入力端での計測が可能になり、既設の光伝送網にも容易に適用できる。また、本発明では、被測定光ファイバへの周波数チャープ光の伝搬前後における中心周波数同士のずれにより、ビート周波数の変化量を検出することで、変化量を簡易に検出すること

50

ができる。また、本発明では、複数回のスペクトル波形の観測結果を考慮に入れて中心周波数同士のずれを検出することにより、測定誤差を相殺することができる。

【0013】

また、本発明では、リング共振器内に周波数シフト素子を挿入し、ドップラ効果により周波数シフトを受けた1次回折光を帰還させることにより、等周波数間隔にある複数本の周波数チャープ光を生成することができる。また、本発明では、リング共振器内のバンドパスフィルタにより、発振波長を同調させることができる。また、本発明では、あるいは、前記周波数シフト素子として音響光学波長可変フィルタ(AOTF: Acousto-Optic Tunable Filter)を用いて、その駆動周波数により発振波長を電子同調できる。また、本発明では、前記周波数シフト素子として媒体に光ファイバを用いた全ファイバ構成の音響光学素子を用い、測定装置を全ファイバ構成にできる。また、本発明では、時間に対して発振周波数がシフトするような周波数チャープ光を分岐し、一方の光に遅延を与えた後、他方の光と結合することにより、等周波数間隔にある複数本の周波数チャープ光を生成することができる。

【0014】

【発明の実施の形態】

以下、本発明に係る群速度分散測定装置および群速度分散測定方法について、図面を参照しながら具体的に説明する。本発明は、主に、光周波数領域リフレクトメトリ(OFRD: Optical Frequency Domain Reflectometry)を用いてGVD測定を行っている。

【0015】

まず、本発明の原理について説明する。周波数が時間に応じて変化するような周波数チャープ光が光ファイバ中を伝搬する際、光ファイバのもつGVDの影響により、光のチャープレートが変化する。ここで、チャープレートとは、周波数が変化する速さをいう。光ファイバ伝搬後のチャープレートは次式で与えられる。

【0016】

【数1】

$$\gamma' = \gamma + \frac{\lambda^2 DL \gamma^2 / c}{1 + \lambda^2 DL \gamma / c} \approx \gamma + \lambda^2 DL \gamma^2 / c \quad (1)$$

【0017】

ここで、 $\lambda^2 DL / c$ はチャープレートの変化量、 λ は周波数チャープ光源の中心波長、Dは光ファイバのGVD値、Lは光ファイバ長、cは光速である。(1)式は周波数チャープレートの変化量より光ファイバのGVD値を直接測定可能であることを示している。

【0018】

図1は、本発明に係る群速度分散測定装置のGVD測定原理を説明する図である。本発明のGVD測定法では、光の自己ビート信号を用いている。この測定法では、遅延時間Tからなる複数本の周波数チャープ光を光源とし、各周波数成分間で生じるビート信号の中心周波数を測定対象とする。

【0019】

詳細には、サーキュレータ5の一方の第1端子(図中左上端子)には光源が接続され、第2端子(図中左下端子)には光電変換手段が接続される。また、他方の端子(図中右端子)には、被測定光ファイバ1が接続される。光源から出力された周波数チャープ光(測定

光)は、サーキュレータ5により被測定光ファイバ1に入射される。このとき、被測定光ファイバ1中を伝播する測定光のチャープレートは、被測定ファイバ1の波長分散の影響により変化する。被測定光ファイバの出口端(又は、出口に設けられた反射鏡)等からの反射光は、被測定光ファイバ1の入射端から出射され、サーキュレータ5を経て光電変換手段により受光され、ビート信号を受信する。受信されたビート信号により、GVD値が算出される。

【0020】

被測定光ファイバ1の伝搬前後におけるビート周波数の変化量 f_B より、GVD値Dは次式で与えられる。

$$D = c \cdot f_B / \omega^2 L^2 T \cdots (2)$$

10

【0021】

(2)式に基づいてGVD値Dを求める場合、ビート周波数の読み取り精度により、GVDの総分散量DLの測定精度が制限される。したがって、計測用光源としてはチャープの線形性が高く、周波数チャープ幅の広帯域な光源が有用である。

【0022】

図2は、本発明に係る群速度分散測定装置の一実施形態の全体構成を示すブロック図である。図2の群速度分散測定装置は、周波数チャープ光を生成するFSFレーザ(FSFL:チャープ光生成手段)2と、周波数チャープ光を増幅する光増幅器(Amp)3と、光カプラ4と、光信号の分岐制御を行うサーキュレータ5と、被測定光ファイバ1を伝搬する前後の光を受光する光検出器6と、光のスペクトル波形を観測するRFスペクトルアナライザ(RFSA:周波数変化量検出手段、スペクトル観測手段)7と、RFSA7の観測結果に基づいてGVD値を検出するコンピュータ(PC:中心周波数検出手段)とを備えている。なお、被測定光ファイバ1の出口端(サーキュレータ5と反対側の端子)又はその近傍には、反射鏡を設けるようにしてもよい。

20

【0023】

この群速度分散測定装置では、FSFレーザ2から出射された複数本の周波数チャープ光の被測定光ファイバ1(例えば、SMF、ファイバ長20km)への伝搬前後における、チャープ光間で生ずるビート信号を交互に観測し、これらビート信号のビート周波数の差よりGVD値を算出する。そのため、光検出器6とRFSA7とは、切り替えスイッチを設けること、又は、時分割的に検出信号を伝送することなどにより、周波数チャープ光が被測定光ファイバ1を伝播する前及び伝播する後のビート周波数を、それぞれ検出することができる。

30

【0024】

ここで、周波数チャープ光を発生するためのFSFレーザ2について、詳説する。

図2におけるFSFレーザ2は、共振器内部に周波数シフト素子である音響光学変調器(AOM:Acoust-Optic Modulator)を挿入し、ドップラー効果によって周波数シフトされた1次回折光を帰還させて発振するレーザである。

【0025】

本発明者は、FSFレーザ2の出力の瞬時周波数成分が時間とともにチャープする複数の成分(チャープ周波数コム)からなることを理論的・実験的に解明している。このような共振器では、定在波は存在できず、その瞬時周波数 $\omega_i(t)$ は(3)式で与えられる。

40

【0026】

【数2】

$$v_i(t) = v_0 t + \frac{v_{FS}}{\tau_{RT}} \left(t - \frac{q}{v_{FS}} \right) \quad (3)$$

10

(3)式において、ここで、 τ_{RT} は共振器の周回時間($1/\tau_{RT}$ は共振器の縦モード周波数)、 v_{FS} は共振器の周回当たりの周波数シフト量、 q は整数である。

【0027】

F S Fレーザ2で用いられる周波数シフト帰還型の共振器では、ある瞬間に許される瞬時周波数は共振器縦モード周波数($1/\tau_{RT}$)間隔毎に存在し、かつそれぞれの瞬時周波数成分(周波数コム成分)は、共振器周回当たりの周波数シフト量に等しい割合(v_{FS}/τ_{RT})で連続に周波数チャープを受けている。また、周波数チャープ幅 BW は利得媒質のスペクトル形状によりある一定の幅に制限され、各周波数成分は利得のスペク

20

【0028】

図3は、F S Fレーザ2の出力の瞬時周波数成分を模式的に表した図である。図中、グレー階調はその強度変化を示している。また、チャープレートは、 v_{FS}/τ_{RT} となっている。

【0029】

ここで、F S Fレーザを用いたG V D測定の原理について説明する。

F S Fレーザの出力はチャープする周波数成分が等時間間隔 $T = 1/\tau_{RT}$ にコム状に存在するチャープ周波数コムからなり、等周波数間隔に自己ビート信号が生ずる。このビート信号を用いて上述のような方式によりG V D測定をおこなう場合、(2)式の関係

30

$$D = c \cdot f_{BN} \tau_{RT}^2 / N^2 L_{FS} \cdots (4)$$

ここで、 f_{BN} はN本隣り合う周波数コム成分間で生ずるビート信号の周波数変化量であり、Nをビートの次数と定義する。(4)式は、高次のビート信号を用いるほど高精度な測定が可能であることを示しており、光検出系の性能により測定精度が決まる。

【0030】

図4はF S Fレーザ2の詳細構成を示すブロック図である。F S Fレーザ2は、周波数シフト素子である音響光学素子(AOM:伝搬媒質は、例えば、 TeO_2)21を用いて、リング状のレーザ共振器を構成している。このレーザ共振器内には、光ファイバとの整合性に優れたエルビウム添加ファイバ(EDF:例えば、 Er^{3+} ドープ量900ppm、ファイバ長15m)22と、励起光源である半導体レーザ(LD:例えば、 $1.48\mu\text{m}$ 帯、最大励起電力67mW)が入射される波長分割用光結合器(WDM:Wavelength Division Multiplexing coupler)23と、光アイソレータ(OI:Optical Isolator)24と、出力カプラ(Output Coupler、分岐比は、例えば、90:10(10dB))25と、偏波制御素子(PC:Polarization Controller)26と、コリメータ27と、バンドパスフィルタ(BPF)28とAOM21を駆動する信号発生器(SG:Signal Generator)29を備える。

40

【0031】

AOM21は一對のコリメータ27の間に挿入されており、その回折効率を含む光結合効

50

率は、例えば25%である。共振器一周回当りの周波数シフト量 F_S は、AOM21の駆動周波数に等しく、例えば120MHzであり、共振器縦モード周波数 $1/R_T$ は、例えば約7.60MHzである。これにより、周波数が増加する速さを表すチャープレート $= F_S / R_T$ は912THz/sとなる。

【0032】

図5は、図4のFSFレーザ2の発振スペクトルを光スペクトラムアナライザ(OSA)で観測した結果を示す図である。この例では、レーザ出力光は、このスペクトル形状に沿って強度変化しながらチャープする周波数コム成分(チャープ周波数コム)からなり、発振スペクトル半値全幅より周波数チャープ幅 B_W は90GHzであった。また、発振波長は共振器内に挿入したBPFにより同調を行い、同調範囲1530~1560nmを得た。

10

【0033】

なお、周波数シフト素子としてAOMの代わりに音響光学波長可変フィルタ(Acoustic-Optic Tunable Filter: AOTF)を用いるようにしてもよい。AOTFは、狭帯域な波長透過特性をもつ周波数シフト素子である。AOTFにより、発振波長の電子同調が可能となるので、共振器内のBPFが不要となり、装置構成の簡素化が可能となる。

【0034】

つぎに、GVD測定の結果について説明する。本実施の形態において、一例として、1GHzの周波数帯域の光検出器と $N=131$ 次のビート信号($N/R_T=995.6$ MHz)を用いてGVD値の測定実験を行った。レーザの発振スペクトルはほぼガウス波形であるため、RFS7より観測したビートスペクトルをガウス近似した波形により、ビート信号の中心周波数を求めた。より詳細には、図4のFSFレーザ2のレーザ共振器内に挿入したバンドパスフィルタ(BSF)28により発振波長を同調し、上述した(2)式に基づいて光通信波長帯(例えば、1530~1560nm)におけるGVD値を測定した。

20

【0035】

図6は、被測定光ファイバ1に周波数チャープ光を伝搬させる前後における光の自己ビート信号のスペクトル波形図である。実線は実測波形、破線はガウス近似波形をそれぞれ示す。ここでは、一例として、各ビートスペクトルは50回平均した波形であり、計測時間は15秒以下である。SMF伝搬後における中心周波数の変化量 f_{B131} は、 $f_{B131} = +5.00$ kHzであり、この値を(4)式(又は(2)式)に代入すると、GVD値Dは、 $D = 17.0 \pm 0.14$ ps/nm/kmと求まる。

30

【0036】

図7は、GVDの測定結果を示す図であり、出力波長とGVD値との関係を示している。図示のように、GVD値は波長にほぼ線形に変化しており、本方式の妥当性が実証できる。なお、波長1540nm付近において利得媒質であるEDFの利得が低いいため、発振スペクトル幅が狭まり、GVDの測定精度が幾分低下しているものの、概して大きな影響はなく、線形性が認められる。

【0037】

図8は、GVD測定を100回行った結果を示すヒストグラム図である。この例では、測定値の標準分散値は0.14 ps/nm/kmである。測定精度の劣化要因としては、共振器長の変動による自己ビート信号の中心周波数の読み取り誤差が挙げられる。測定に高次の自己ビート信号を用いることにより、GVDの影響による中心周波数の変動量が増大し測定感度は向上するが、同時に共振器長の変動による測定誤差が大きくなる場合がある。測定精度の改善法としては、共振器長の安定化、光検出系の周波数帯域の拡大、光ファイバ伝搬前後における光のビート信号を同時計測することなどが挙げられる。

40

【0038】

つぎに、本発明の他の実施の形態及び変形例について説明する。

本発明において、自動的に周波数変化量を求めるために、周波数変化量検出手段として、

50

ビート信号のスペクトル波形を観測するスペクトル観測手段と、スペクトル観測手段により観測されたスペクトル波形を近似することによりビート信号の中心周波数を検出する中心周波数検出手段とを備えるようにしてもよい。そして、周波数変化量検出手段は、被測定光ファイバへの周波数チャープ光の伝搬前後における中心周波数同士のずれにより、ビート周波数の変化量を検出することができる。さらに、中心周波数検出手段は、スペクトル観測手段による複数回のスペクトル波形の観測結果に基づいて、周波数チャープ光の伝搬前後における中心周波数同士のずれを検出するようにしてもよい。

【0039】

また、図9に、本発明に係る群速度分散測定装置の第2の実施形態の全体構成を示すブロック図を示す。ここでは、第1及び第2の周波数カウンタ61及び62をさらに備える。第1及び第2の周波数カウンタ61及び62は、被測定ファイバへの伝搬前及び伝播後における光の自己ビート信号の中心周波数を測定する。これにより、被測定光ファイバ伝播前後のビート信号を同時に測定することができる。また、各周波数カウンタ61及び62は、それらの入力側にバンドパスフィルタ63及び64をそれぞれ設け、所望の信号のみを入力する。周波数カウンタ61及び62によるビート周波数の測定結果に基づいてGVD値を検出するコンピュータ(PC)8を備えている。

【0040】

以下に、チャープ光生成手段の他の実施の形態を示す。これらのチャープ光生成手段は、上述の測定装置におけるFSFレーザ2に置換され得る構成である。

【0041】

図10に、チャープ光生成手段の他の実施の形態2の構成図を示す。図4における周波数チャープ素子として音響光学波長可変フィルタ(AOTF)200を用い、BPF28を省略したものである。駆動信号源である信号発生器29をPC8で制御することで、発振波長を電子制御できる。

【0042】

図11に、チャープ光生成手段の他の実施の形態3の構成図を示す。図4における周波数チャープ素子として、媒体に光ファイバを用いた全ファイバ構成の音響光学素子(AIIFiber AOM)300を用い、コリメータ27を省略したものであるり、測定装置を全ファイバ構成にできる。

【0043】

図12に、チャープ光生成手段の他の実施の形態4の構成図を示す。チャープ光生成手段400は、時間に対して発振周波数がシフトするような周波数チャープ光源401と、周波数チャープ光源401を分岐し、一方の光に遅延403を与えた後、他方の光と結合する光分岐結合部402を備える。このような構成により、少なくとも2つの周波数チャープ光を生成することができる。

【0044】

なお、周波数チャープ光源は、時間に対して発振周波数がシフトするような光源であれば、適宜のものを採用することができる。また、以上のべたように、被測定光ファイバ1の入射側で測定する場合のほか、出口側に測定系を設けるようにしても良い。

【0045】

【発明の効果】

以上詳細に説明したように、本発明によれば、簡易な構成で短時間にGVDを測定可能な群速度分散測定装置および群速度分散測定方法を提供することができる。すなわち、本発明によれば、等周波数間隔にある複数本の周波数チャープ光を被測定光ファイバに伝搬させる前後でのチャープ光間で生ずるビート信号の周波数の差によりGVD値を算出するため、従来のように計測用光源の波長をパラメータとして多点計測を行う方式と比較して、短時間でGVD値を計測できる。

【0046】

また、測定にOFDR法を用いるため、被測定光ファイバの入力端での計測が可能となり、また、既設の光伝送網にも容易に適用可能である。また、本発明によれば、レーザー共

10

20

30

40

50

振器長の安定化や周波数チャープ幅の広帯域化により、測定精度の改善を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る群速度分散測定装置の G V D 測定原理を説明する図。

【図 2】本発明に係る群速度分散測定装置の第 1 の実施形態の全体構成を示すブロック図。

【図 3】 F S F レーザ出力の瞬時周波数成分を模式的に表した図。

【図 4】 F S F レーザの詳細構成を示すブロック図。

【図 5】図 4 の F S F レーザの発振スペクトルを光スペクトラムアナライザで観測した結果を示す図。

【図 6】被測定光ファイバに周波数チャープ光を伝搬させる前後におけるチャープ光間で生ずるビート信号のスペクトル波形図。

【図 7】 G V D の測定結果を示す図。

【図 8】 G V D 測定を 100 回行った結果を示すヒストグラム図。

【図 9】本発明に係る群速度分散測定装置の第 2 の実施形態の全体構成を示すブロック図。

【図 10】チャープ光生成手段の第 2 の実施の形態の構成図を示す。

【図 11】チャープ光生成手段の第 3 の実施の形態の構成図を示す。

【図 12】チャープ光生成手段の第 4 の実施の形態の構成図を示す。

【図 13】本発明者がこれまでに提案した G V D 測定法の概略を説明する模式図。

【符号の説明】

- 1 被測定光ファイバ (F U T)
- 2 F S F レーザ (F S F L)
- 3 光増幅器 (A M P)
- 4 光カプラ
- 5 サークキュレータ
- 6 光検出器
- 7 R F スペクトルアナライザ (R F S A)
- 2 1 音響光学素子 (A O M)
- 2 2 エルビウム添加ファイバ (E D F)
- 2 3 波長分割用光結合器 (W D M)
- 2 4 光アイソレータ (O I)
- 2 5 出力カプラ
- 2 6 偏波制御素子 (P C)
- 2 7 コリメータ
- 2 8 バンドパスフィルタ (B P F)
- 2 9 信号発生器 (S G)
- 6 1 第 1 の周波数カウンタ
- 6 2 第 2 の周波数カウンタ
- 6 3 第 1 のバンドパスフィルタ
- 6 4 第 2 のバンドパスフィルタ
- 2 0 0 音響光学波長可変フィルタ (A O T F)
- 3 0 0 全ファイバ構成音響光学素子
- 4 0 0 複数本の周波数チャープ光発生系
- 4 0 1 周波数チャープ光源
- 4 0 2 光カプラ
- 4 0 3 遅延素子

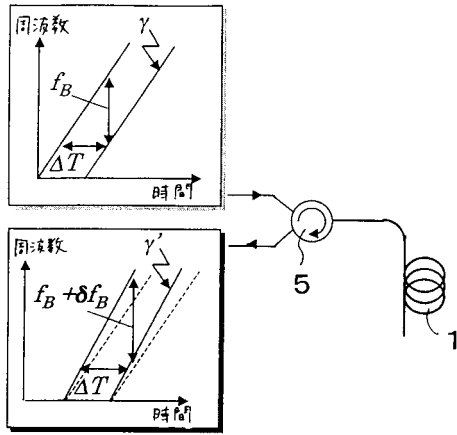
10

20

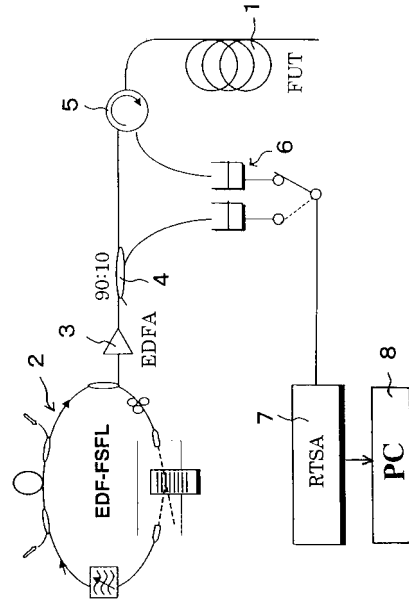
30

40

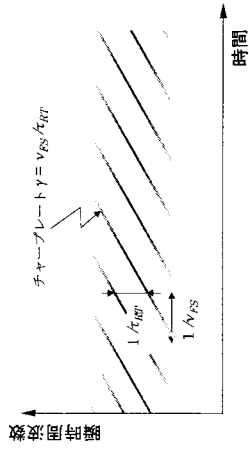
【 図 1 】



【 図 2 】

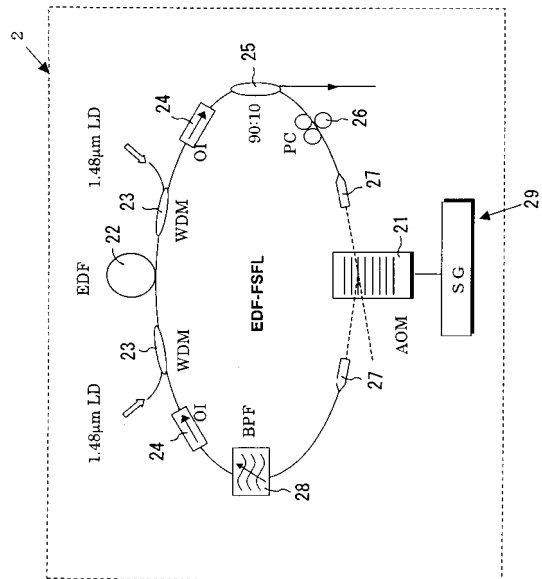


【 図 3 】

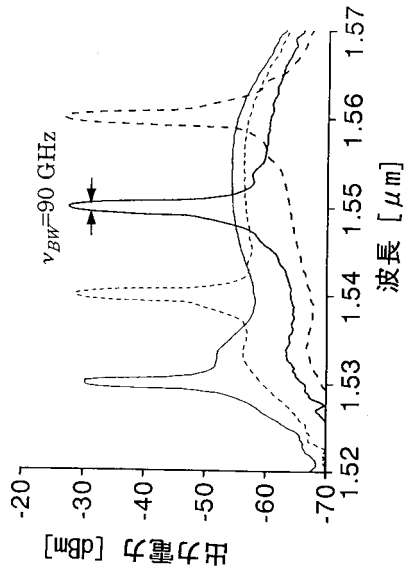


周波数シフト掃選型レーザー出力のチャープ周波数コム特性

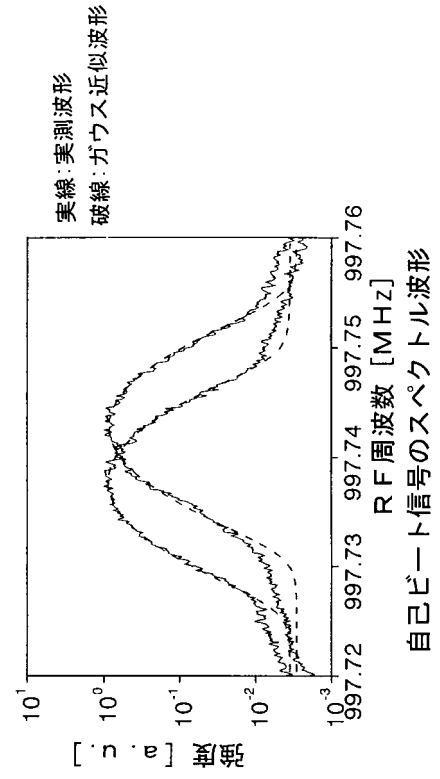
【 図 4 】



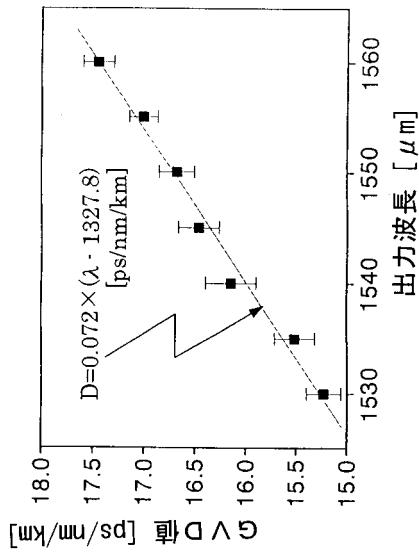
【 図 5 】



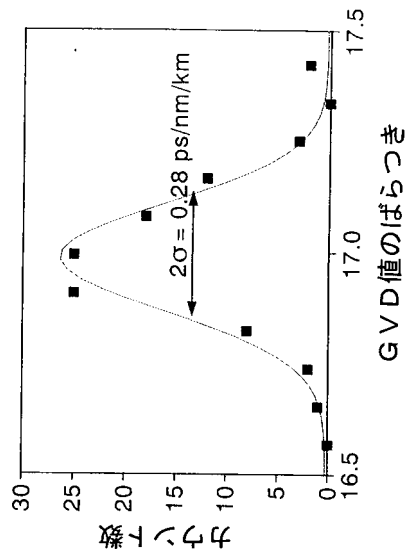
【 図 6 】



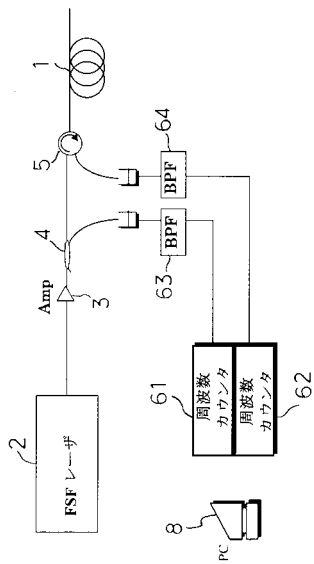
【 図 7 】



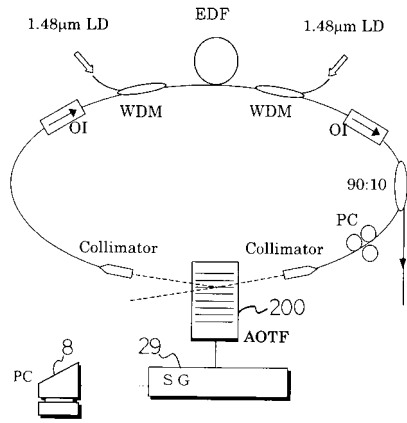
【 図 8 】



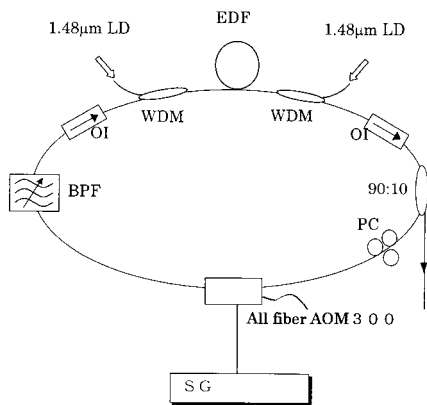
【 図 9 】



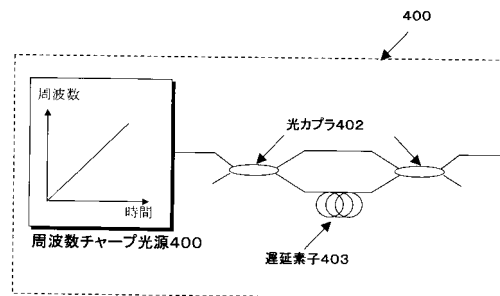
【 図 10 】



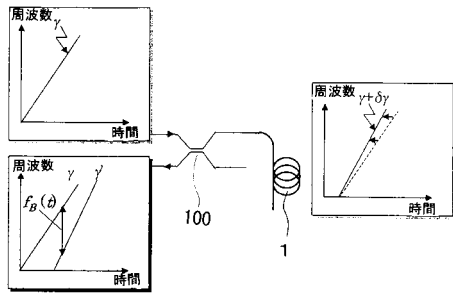
【 図 11 】



【 図 12 】



【 図 1 3 】



フロントページの続き

審査官 平田 佳規

- (56)参考文献 特開2001-267667(JP,A)
特開2001-228054(JP,A)
特開2000-081374(JP,A)
特開平01-248996(JP,A)
電子情報通信学会技術研究報告, 電子情報通信学会, 2000年 2月23日, Vol.99 No.651, p.73~78
電子情報通信学会技術研究報告, 電子情報通信学会, 1999年 3月 8日, Vol.98 No.644, p.25~30
電子情報通信学会技術研究報告, 電子情報通信学会, 1999年 2月10日, Vol.98 No.586, p.19~24
2000年電子情報通信学会総合大会講演論文集 エレクトロニクス(1), 電子情報通信学会, 2000年 3月 7日, p.328
1999年電子情報通信学会総合大会講演論文集 エレクトロニクス(1), 電子情報通信学会, 1999年 3月 8日, p.225
1998年電子情報通信学会総合大会講演論文集 エレクトロニクス(1), 電子情報通信学会, 1998年 3月 6日, p.369
1999年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会講演論文集1, 電子情報通信学会, 1999年 8月16日, p.172
レーザー研究, (社)レーザー学会, 1999年 7月15日, 第27巻 第7号, p.490~49

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

G01M 11/00- 11/02
G01J 1/00
G01J 3/28
G02B 6/00
H04B 3/46- 3/48
H04B 10/08- 10/12
H04B 17/00- 17/02