(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2001 年8 月23 日 (23.08.2001)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 01/61302 A1

(51) 国際特許分類[7]: G01M 11/02

(21) 国際出願番号: PCT/JP00/06508

(22) 国際出願日: 2000 年9 月22 日 (22.09.2000)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2000-42146 2000 年2 月21 日 (21.02.2000) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 科学技術振興事業団 (JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY CORPORATION) [JP/JP]; 〒332-0012 埼玉県川口市本町4-1-8 Saitama (JP).

(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 伊藤弘昌 (ITO, Hiromasa) [JP/JP]; 〒980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉390-82 Miyagi (JP). 吉田真人 (YOSHIDA, Masato) [JP/JP]; 〒982-0832 宮城県仙台市太白区八木山緑町16-3 せい風寮 Miyagi (JP). 中村孝一郎 (NAKAMURA, Koichiro) [JP/JP]; 〒982-0032 宮城県仙台市太白区富沢2-17-32 ピエソ富沢203 Miyagi (JP).

(74) 代理人: 橋爪 健(HASHIZUME, Takeshi); 〒104-0061 東京都中央区銀座3丁目13番17号 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): US.

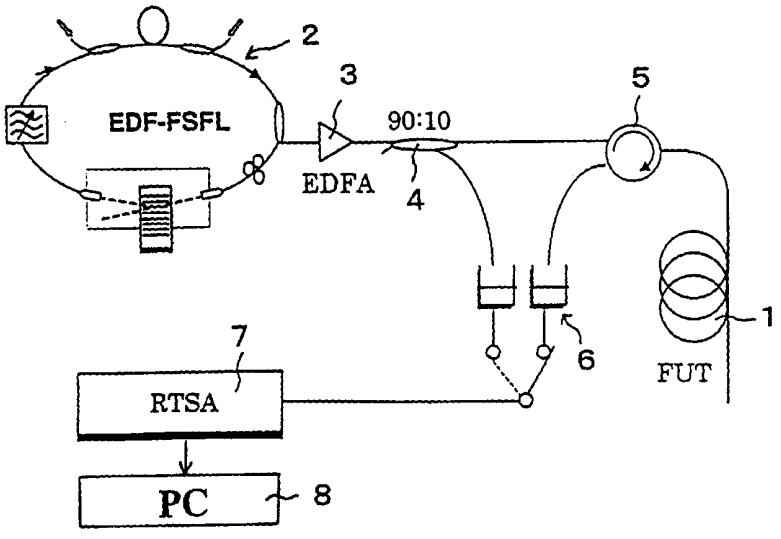
(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (DE, FR, GB, SE).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: GROUP VELOCITY DISPERSION MEASURING DEVICE AND GROUP VELOCITY DISPERSION MEASURING METHOD

(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) Abstract: A group velocity dispersion measuring device capable of measuring group velocity dispersion (GVD) with a simple configuration and in a short time, comprising an FSF laser (FSFL) (2) for generating frequency chirp light, an optical amplifier (AMP) (3) for amplifying the frequency chirp light, an optical coupler (4), a circulator (5) for branch-controlling optical signals, a photodetector (6) for receiving a ray of light before and after its propagation through an optical fiber (1) to be measured, and an RF spectrum analyzer (RFSA) (7) for observing an optical spectrum waveform. Beat signals generated between chirp lights before and after the propagation, through the optical fiber (1) to be measured, of frequency chirp light emitted from the FSF laser (2) are alternately observed to calculate a GVD value from frequency differences between these beat signals.

[続葉有]

WO 01/61302 A1

(57) 要約:

簡易な構成で短時間で群速度分散（ＧＶＤ）を測定可能とする。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）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）７とを備える。ＦＳＦレーザ２から出射された周波数チャープ光の被測定光ファイバ１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周波数の差よりＧＶＤ値を算出する。

明　細　書

群速度分散測定装置及び群速度分散測定方法

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。

背景技術

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なって、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1.55μm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。

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。

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：ＦＳＦ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。

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。

発明の開示

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、ＦＳＦ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。

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。

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、0.36ps/nm/km）。

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。

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。

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。

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。

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。

図面の簡単な説明

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。

図２は、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である。

図３は、ＦＳＦレーザ出力の瞬時周波数成分を模式的に表した図である。

図４は、ＦＳＦレーザの詳細構成を示すブロック図である。

図５は、図４のＦＳＦ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である。

図６は、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である。

図７は、ＧＶＤの測定結果を示す図である。

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。

図９は、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である。

図１０は、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である。

図１１は、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である。

図１２は、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である。

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。

発明を実施するための最良の形態

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(ＯＦＤＲ：Optical Frequency Domain Reflectometry)を用いてＧＶＤ測定を行っている。

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γ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γ'は次式で与えられる。

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

ここで、$\lambda^2\gamma^2$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。

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ΔＴ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。

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。

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δ_{fB}より、ＧＶ

D値Dは次式で与えられる。

$$D = c \delta f_B / \lambda^2 L \gamma^2 \Delta T \quad \cdots (2)$$

（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。

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。

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。

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。

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$\nu_i(t)$は

（３）式で与えられる。

$$\nu_i(t) = \nu_0 t + \frac{\nu_{FS}}{\tau_{RT}}\left(t - \frac{q}{\nu_{FS}}\right) \qquad (3)$$

（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）、ν_{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。

ＦＳＦ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、共振器周回当りの周波数シフト量に等しい割合（$\gamma = \nu_{FS} / \tau_{RT}$）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ν_{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トル形状に従って強度変化しながら周波数チャープする。

図３は、ＦＳＦ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γは、ν_{FS} / τ_{RT}となっている。

ここで、ＦＳＦレーザを用いたＧＶＤ測定の原理について説明する。

ＦＳＦレーザの出力はチャープする周波数成分が等時間間隔$\Delta T = 1/\nu_{FS}$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ＧＶＤ測定をおこなう場合、（２）式の関係は次式で与えられる。

$$D = c\,\delta f_{BN}\,\tau_{RT}^{2} / N\lambda^{2}L\,\nu_{FS} \quad \cdots \quad (4)$$

ここで、δｆBN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。

図４はＦＳＦレーザ２の詳細構成を示すブロック図である。ＦＳＦ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、1.48μm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。

ＡＯＭ２１は一対のコリメータ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ν_{FS}

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$1/\tau_{RT}$は、例えば約7.60MHzである。これにより、周波数が変化する速さを表すチャープレート$\gamma=\nu_{FS}/\tau_{RT}$は912THz/sとなる。

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ν_{BW}は90GHzであった。また、発振波長λ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。

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(Acousto-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。

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/τ_{RT}＝995.6MHz）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、ＲＦＳＡ７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。

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δf_{B131}は、δf_{B131}=＋5.00kHz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±0.14ps/nm/kmと求まる。

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。

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。

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、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。

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。

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。

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。

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（All-fiber 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。

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。

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に、出口側に測定系を設けるようにしても良い。

産業上の利用の可能性

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。

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。

請　求　の　範　囲

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、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。

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。

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。

4．　前記チャープ光生成手段は、

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。

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。

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。

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。

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。

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。

１０．　前記周波数変化量検出手段は、

周波数チャープ光の伝搬前のビート周波数を検出する第１の検出手段と、

周波数チャープ光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。

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。

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。

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。

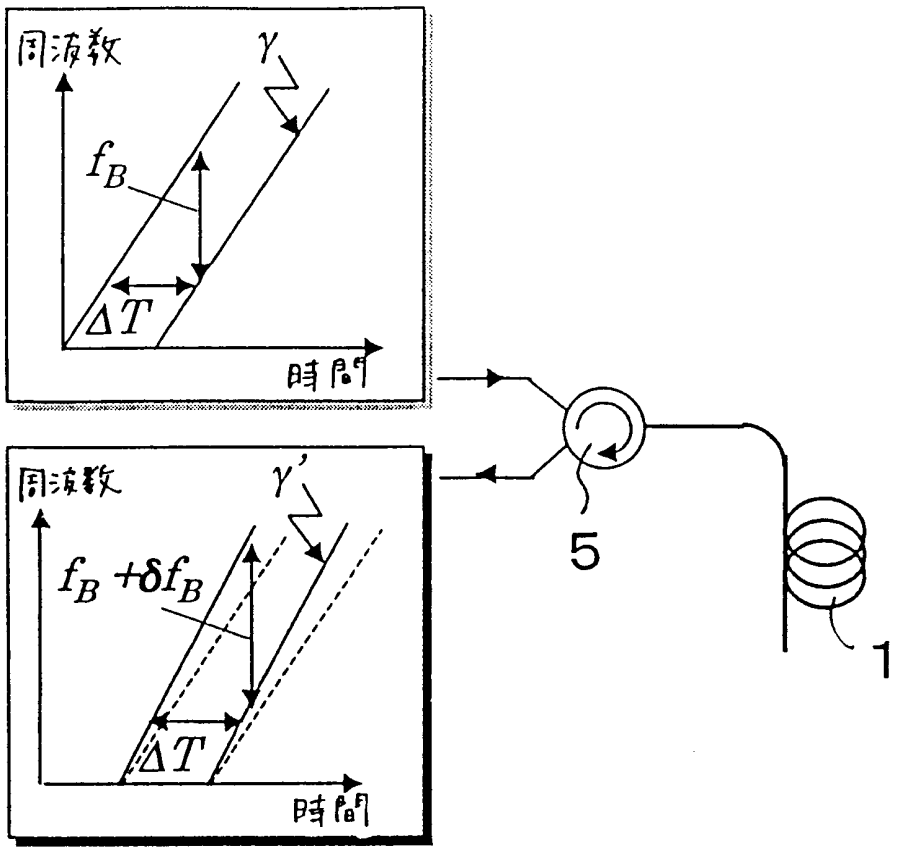


図1

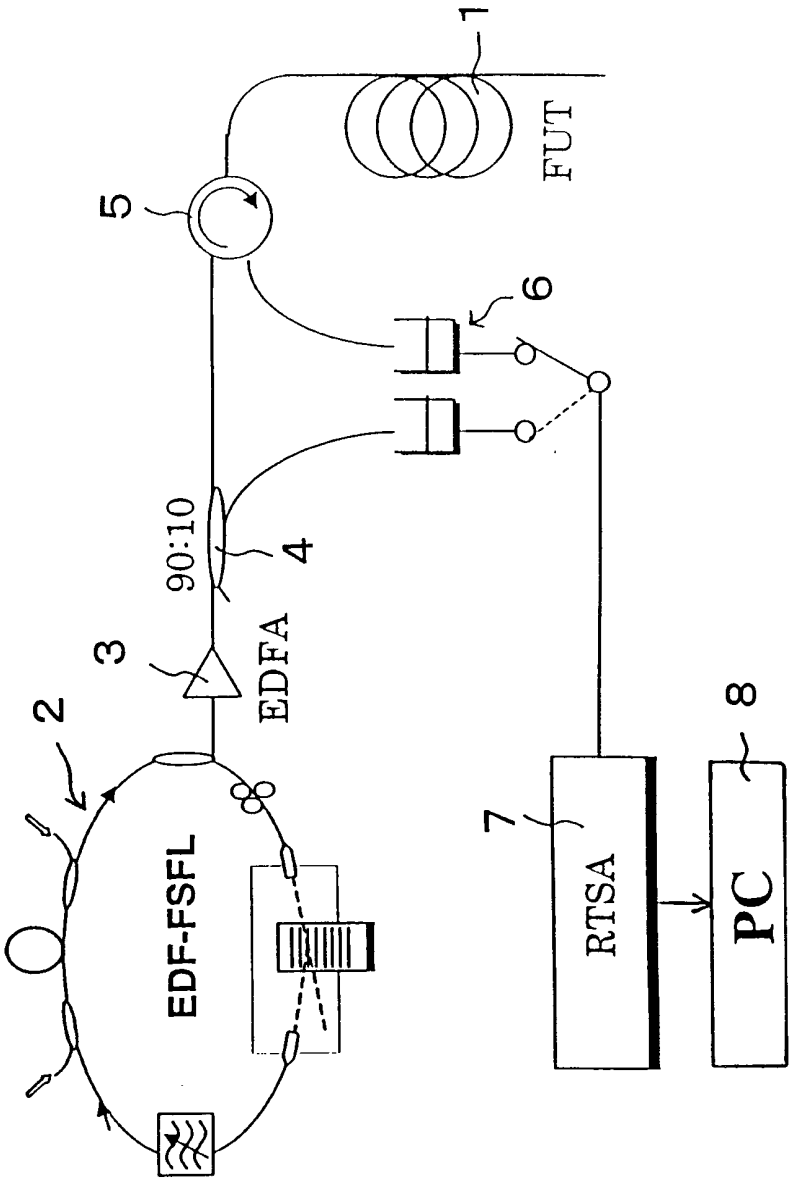
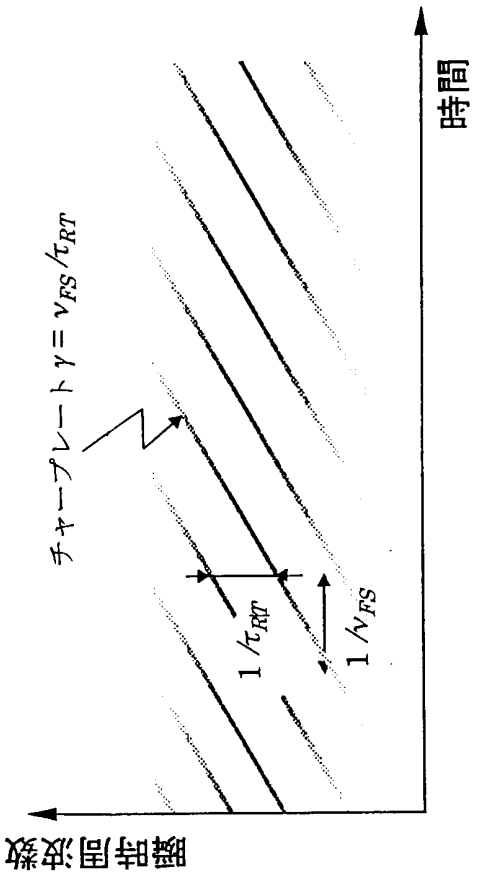


図2

図3



周波数シフト帰還型レーザ出力のチャープ周波数コム特性

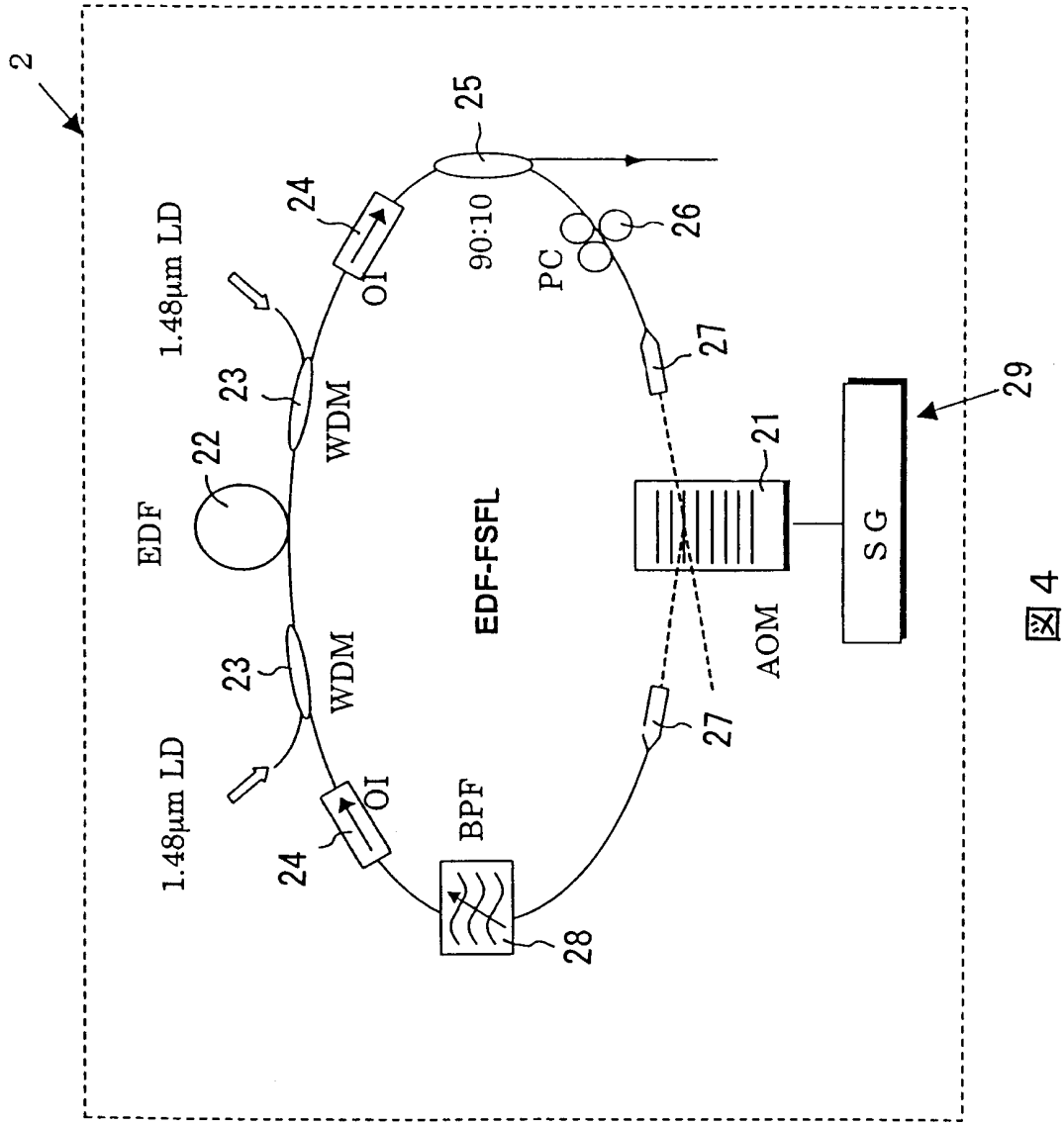

2
1.48μm LD
1.48μm LD
EDF
22
23
WDM
23
WDM
24
OI
24
OI
BPF
28
EDF-FSFL
25
90:10
PC
26
27
27
21
AOM
SG
29

図4

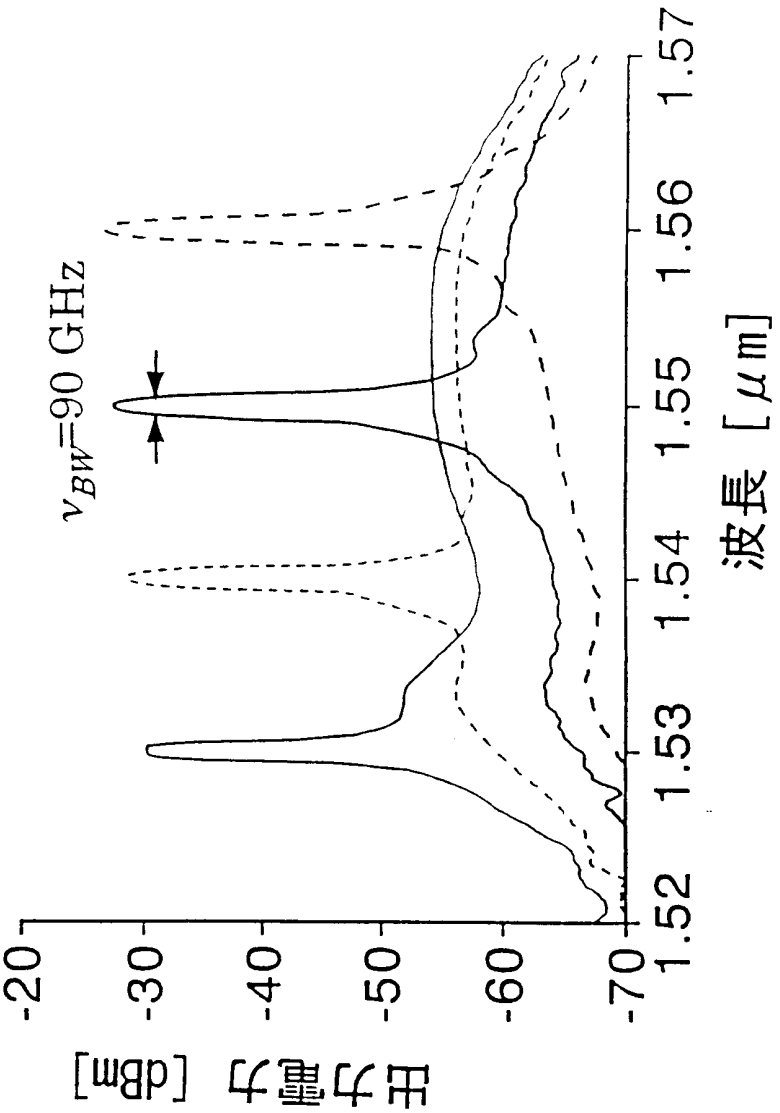
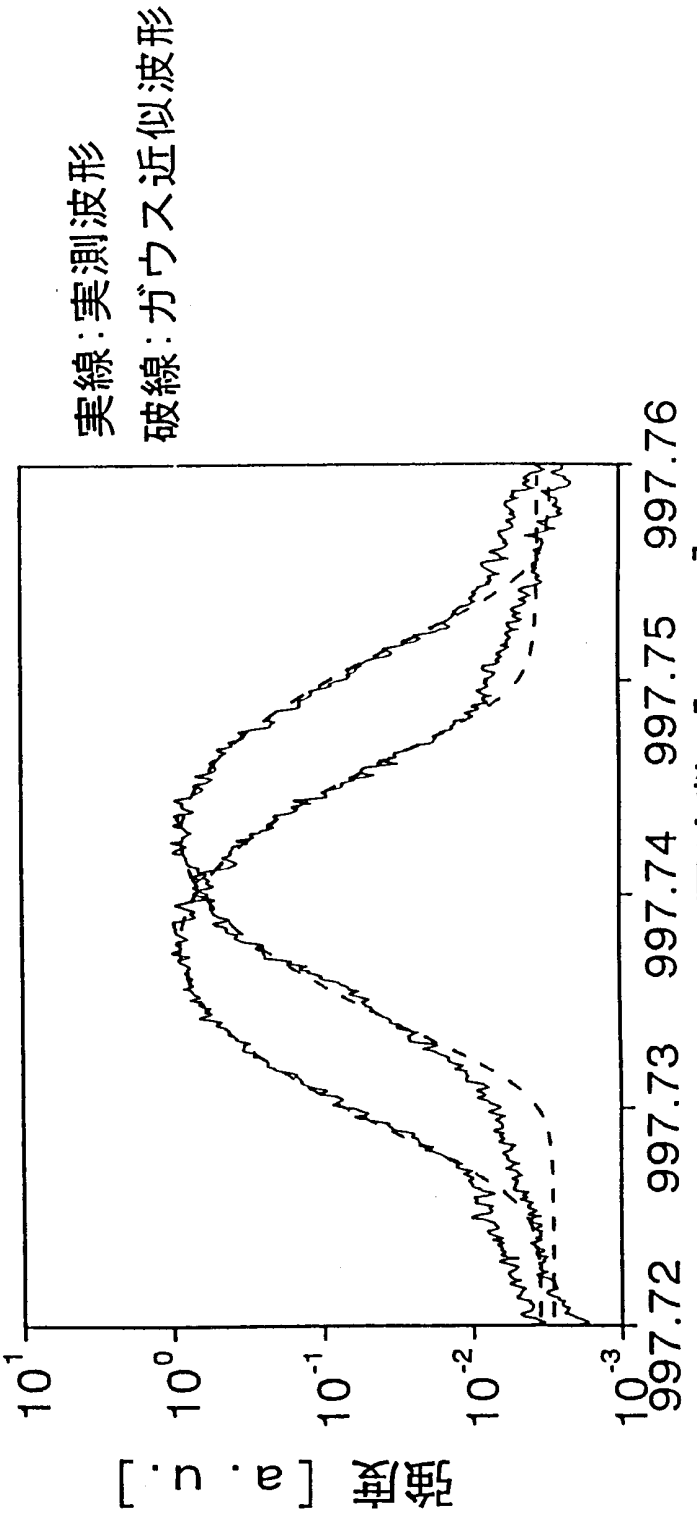

ν_{BW}=90 GHz
-20
-30
-40
-50
-60
-70
1.52
1.53
1.54
1.55
1.56
1.57
出力電力 [dBm]
波長 [μm]

図5



自己ビート信号のスペクトル波形

図6

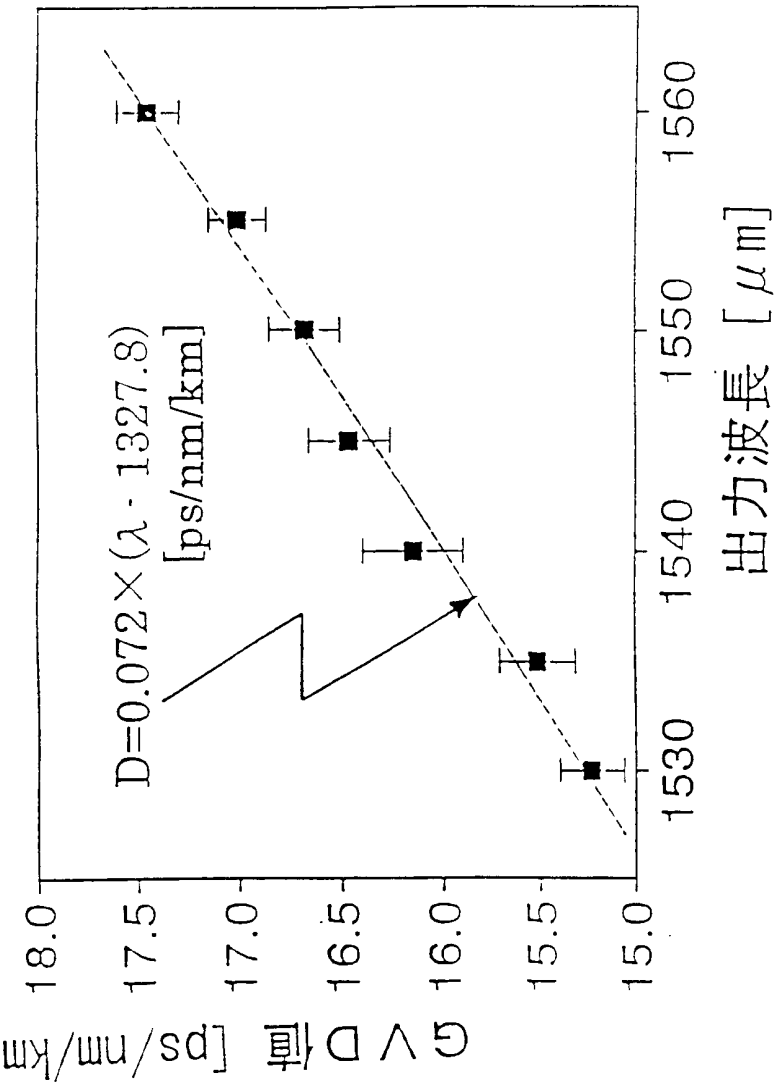

D=0.072×(λ - 1327.8)
[ps/nm/km]
GVD値 [ps/nm/km]
出力波長 [μm]
18.0
17.5
17.0
16.5
16.0
15.5
15.0
1530
1540
1550
1560

図7

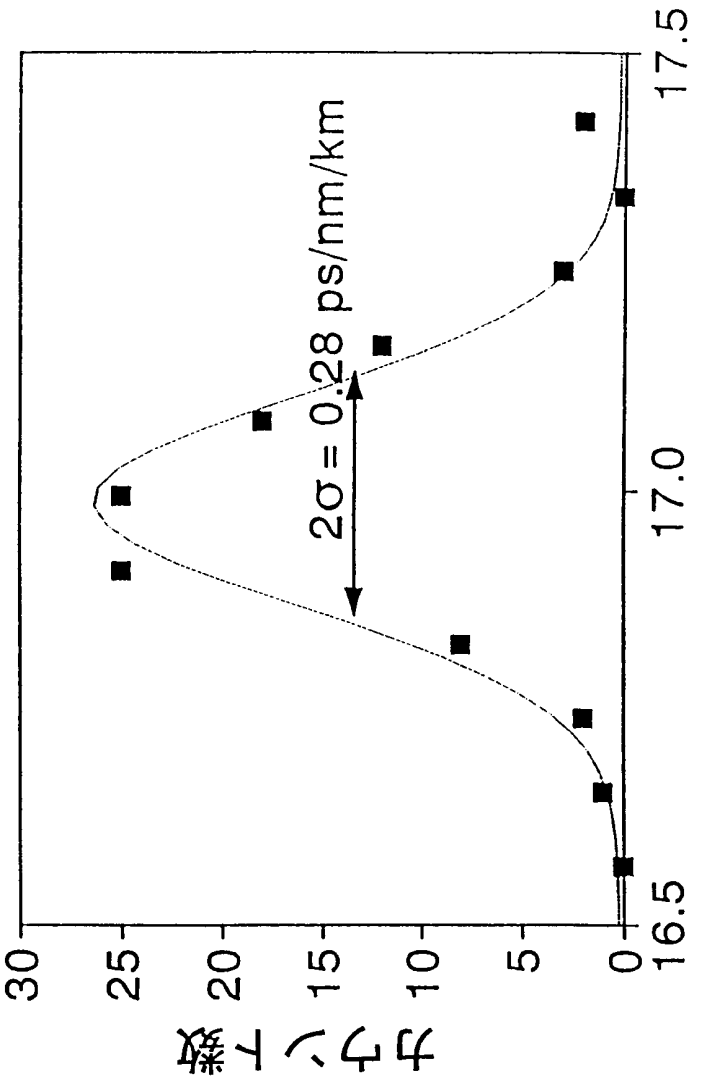


図8

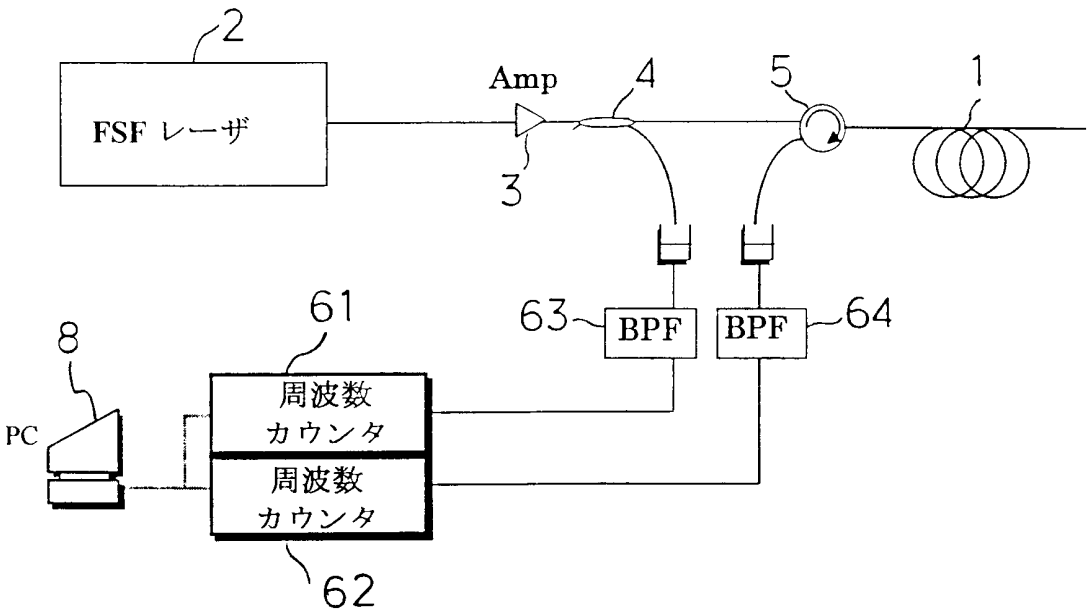


図９

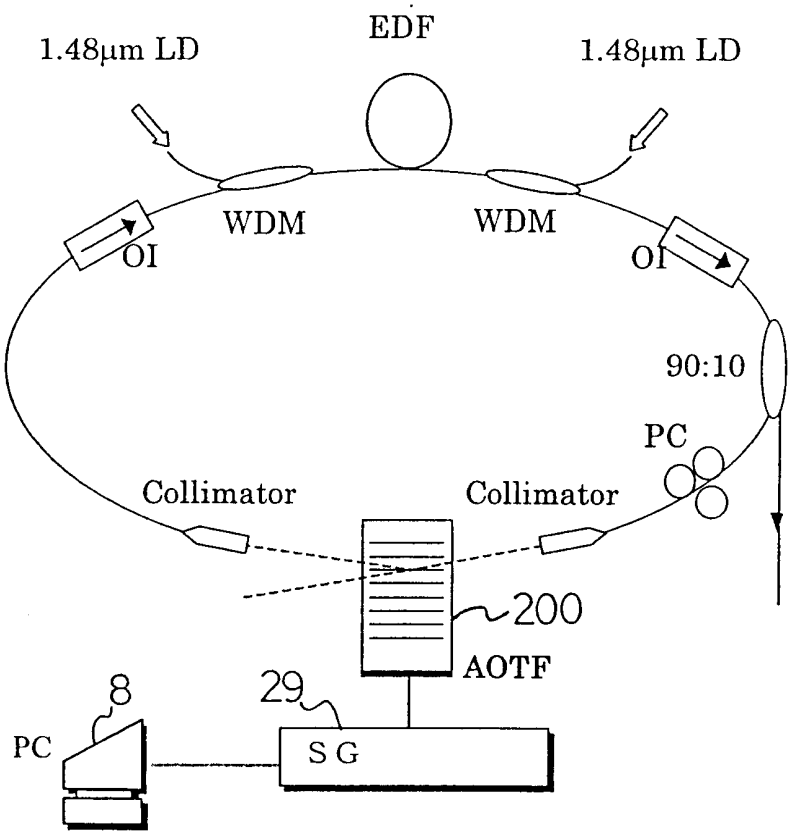

EDF
1.48μm LD
1.48μm LD
WDM
WDM
OI
OI
90:10
PC
Collimator
Collimator
200
AOTF
8
29
PC
S G

図１０

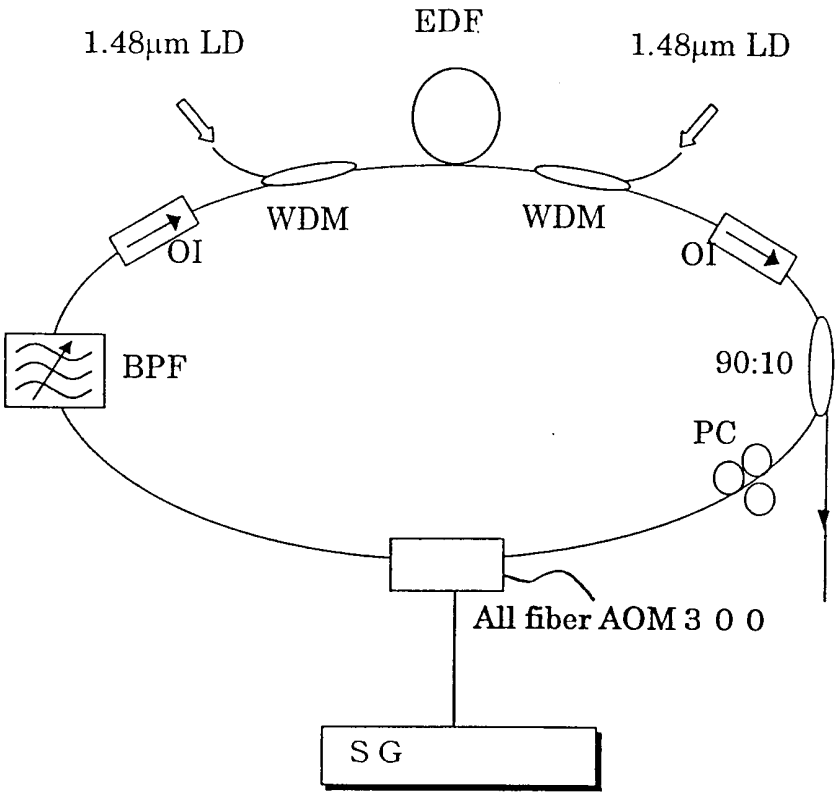

EDF
1.48μm LD
1.48μm LD
WDM
WDM
OI
OI
BPF
90:10
PC
All fiber AOM 3 0 0
S G

図１１

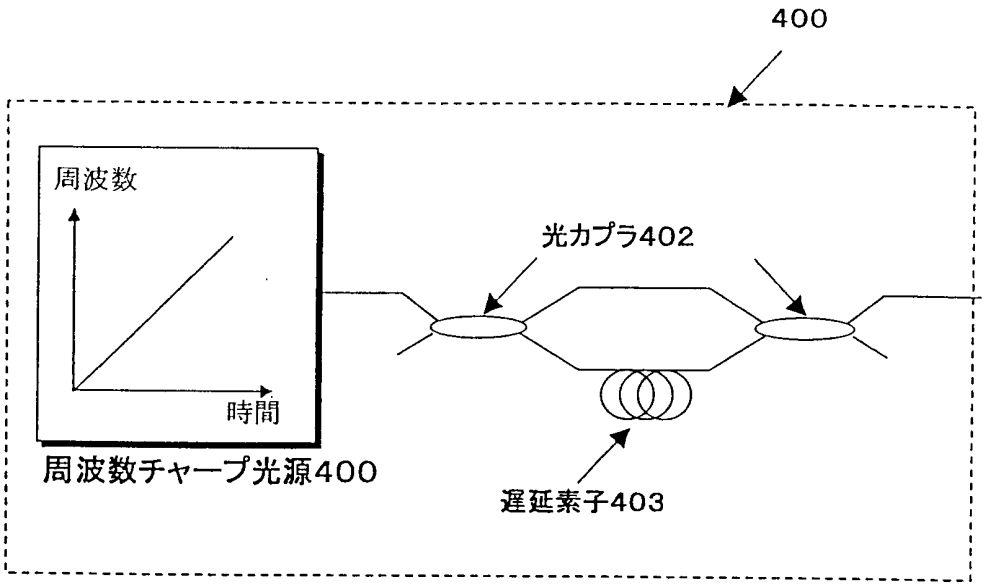


図12

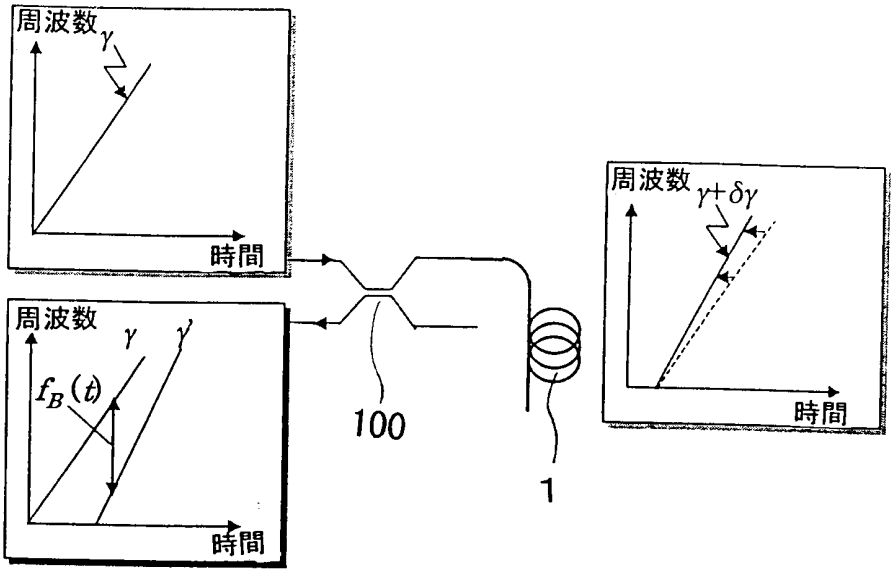


図13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP00/06508

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl[7] G01M11/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl[7] G01M11/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2000
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2000 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2000

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US, 5995228, A (Anritsu Corporation, Nippon Telegraph & Telephone Corporation), 30 November, 1999 (30.11.99), Full text; Figs. 1 to 14 & JP, 11-237312, A & EP, 937973, A2	1-13
A	JP, 4-285836, A (ANRITSU CORPORATION), 09 October, 1992 (09.10.92), Full text; Figs. 1 to 8 (Family: none)	1-13

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
04 December, 2000 (04.12.00)

Date of mailing of the international search report
12 December, 2000 (12.12.00)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Facsimile No.

Authorized officer

Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

国際調査報告

国際出願番号　PCT／JP00／06508

A.　発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int. Cl[7]　G01M11／02

B.　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int. Cl[7]　G01M11／02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報　1922－1996年
日本国公開実用新案公報　1971－2000年
日本国登録実用新案公報　1994－2000年
日本国実用新案登録公報　1996－2000年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C.　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求の範囲の番号
A	US, 5995228, A (Anritsu Corporation, Nippon Telegraph & Telephone Corporation) 30. 11月. 1999年（30. 11. 99） 全文，第1－14図 & JP, 11－237312, A & EP, 937973, A2	1－13
A	JP, 4－285836, A（アンリツ株式会社） 9. 10月. 1992（09. 10. 92） 全文，第1－8図　（ファミリーなし）	1－13

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。　☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
04. 12. 00	12.12.00

国際調査機関の名称及びあて先	特許庁審査官（権限のある職員）	2W	7324
日本国特許庁（ISA／JP） 郵便番号100－8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	菊井　広行　印		
	電話番号　03－3581－1101　内線　3252		