

(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2010-25725

(P2010-25725A)

(43) 公開日 平成22年2月4日(2010.2.4)

(51) Int.Cl.

F I

テーマコード (参考)

G O 1 M 11/02 (2006.01)

G O 1 M 11/02

K

G O 1 M 11/02

Z

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2008-186856 (P2008-186856)
 (22) 出願日 平成20年7月18日 (2008.7.18)

(71) 出願人 000004226
 日本電信電話株式会社
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号
 (74) 代理人 100078499
 弁理士 光石 俊郎
 (74) 代理人 100102945
 弁理士 田中 康幸
 (74) 代理人 100120673
 弁理士 松元 洋
 (72) 発明者 山本 貴司
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
 本電信電話株式会社内
 (72) 発明者 黒河 賢二
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
 本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長分散測定装置及び波長分散測定方法

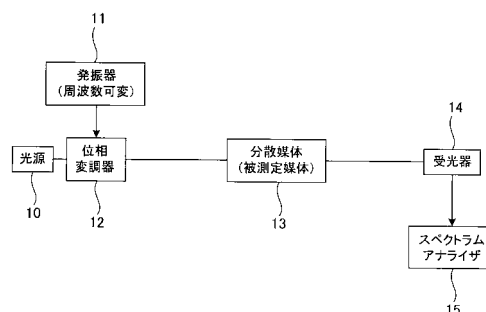
(57) 【要約】

【課題】測定誤差を増大させる要因である変調器の α パラメータ、変調指数、測定系の損失の影響を含有せず、高精度な波長分散測定を可能とする波長分散測定装置を提供する。

【解決手段】光源10から出力される連続光に対し、任意の変調指数の位相変調を位相変調器12により与えた後に分散媒体13に入射する。位相変調器12は周波数可変発振器11出力の正弦波信号により駆動される。分散媒体13の出力光を受光器14で電気信号に変換し、スペクトラムアナライザ15により交流成分を観測する。分散媒体13中においては位相変調-強度変調変換が起こるが、位相変調周波数を掃引させると、分散媒体13の出力光の時間波形が強度変調成分を持たない、すなわち連続光になる変調周波数が存在する。この変調周波数の値から分散媒体の波長分散を高精度で直接導出する。

。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

被測定媒体の波長分散値を求める波長分散測定装置において、
連続光を発生させる光源と、
周波数掃引可能な正弦波信号を発生する電気信号発生器と、
前記電気信号発生器から出力される正弦波信号によって駆動され、前記光源の出力光に対して位相変調を行う位相変調器と、
前記位相変調器から出力される出力光を、前記被測定媒体に入射した際の出力光を電気信号に変換する受光器と、
前記受光器から出力される電気信号の交流成分の強度を観測する交流成分観測手段と
を具備し、
前記交流成分観測手段により交流成分が極小値を取る周波数を求め、この周波数から被測定媒体の波長分散値を求める
ことを特徴とする波長分散測定装置。

10

【請求項 2】

被測定媒体の波長分散値を求める波長分散測定装置において、
連続光を発生させる光源と、
広帯域な電気雑音成分を発生する雑音発生器と、
前記雑音発生器から出力される電気雑音成分によって駆動され、前記光源の出力光に対して位相変調を行う位相変調器と、
前記位相変調器から出力される出力光を前記被測定媒体に入射した際の出力光を電気信号に変換する受光器と、
前記受光器から出力される電気信号の交流成分の強度を観測する交流成分観測手段と
を具備し、
前記交流成分観測手段により交流成分が極小値を取る周波数を求め、この周波数から被測定媒体の波長分散値を求める
ことを特徴とする波長分散測定装置。

20

【請求項 3】

前記位相変調器の後段に波長分散値が既知である分散媒体を具備し、
前記位相変調器から出力される出力光を前記波長分散値が既知である分散媒体を通した後、前記被測定媒体に入射した場合と、前記位相変調器から出力される出力光を前記被測定媒体に直接入射した場合との 2 通りについて前記交流成分観測手段により交流成分が極小値を取る周波数を求め、これらの周波数から前記被測定媒体の波長分散値を符号も含めて求める
ことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の波長分散測定装置。

30

【請求項 4】

前記光源は前記連続光の波長が可変の波長可変光源であり、
前記被測定媒体の波長分散値の波長依存性を測定する
ことを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の波長分散測定装置。

【請求項 5】

被測定媒体の波長分散値を求める波長分散測定方法において、
連続光を発生する工程と、
周波数掃引可能な正弦波信号を発生する工程と、
前記正弦波信号を用いて前記連続光に対して位相変調を行う工程と、
位相変調された前記連続光を前記被測定媒体に入射した際の出力光を電気信号に変換する工程と、
前記電気信号の交流成分の強度を観測する工程と、
前記交流成分が極小値を取る周波数を求め、この周波数から被測定媒体の波長分散値を求める工程と
を具備する

40

50

ことを特徴とする波長分散測定方法。

【請求項 6】

被測定媒体の波長分散値を求める波長分散測定方法において、
連続光を発生させる工程と、
広帯域な電気雑音成分を発生させる工程と、
前記電気雑音成分を用いて前記連続光に対して位相変調を行う工程と、
位相変調された前記連続光を前記被測定媒体に入射した際の出力光を電気信号に変換する工程と、
前記電気信号の交流成分の強度を観測する工程と、
前記交流成分が極小値を取る周波数を求め、この周波数から被測定媒体の波長分散値を求める工程と
を具備する

10

ことを特徴とする波長分散測定方法。

【請求項 7】

位相変調された前記連続光を波長分散値が既知である分散媒体を通す工程と、
位相変調された前記連続光を前記分散媒体を通した後に前記被測定媒体に入射した場合と、位相変調された前記連続光を前記被測定媒体に直接入射した場合との 2 通りについて交流成分が極小値を取る周波数を求め、これらの周波数から前記被測定媒体の波長分散値を符号も含めて求める工程と
を具備する

20

ことを特徴とする請求項 5 又は請求項 6 に記載の波長分散測定方法。

【請求項 8】

前記連続光は波長を可変とし、
前記被測定媒体の波長分散値の波長依存性を測定する
ことを特徴とする請求項 5 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の波長分散測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ファイバや光部品の基本特性の一つである波長分散値を測定する波長分散測定装置及び波長分散測定方法に関するものである。

30

【背景技術】

【0002】

光通信システムを構築する光ファイバや光部品の基本特性の一つである波長分散は、光通信システムにおける光信号の伝送特性に大きな影響を与える。この波長分散による光通信システム特性劣化を抑制するためには、光ファイバや光部品の波長分散を正確に測定する技術がまず必要とされる。一方、通信容量の拡大への需要の高まりから、 $1.0\mu\text{m}$ 帯等、これまで利用されてきた通信波長帯以外の波長帯を新規に開拓する試みが進められている（下記非特許文献 1 参照）。このような新規波長帯についても波長分散測定技術が確立することが望まれる。

【0003】

40

波長分散の測定方法としては、位相シフト法（下記非特許文献 2 参照）、光パルス法（下記非特許文献 3 参照）、干渉法（下記非特許文献 4 参照）のように測定波長をステップ状に掃引して群遅延時間特性を測定し、これを波長で微分することにより波長分散を求める方法がある。しかし、これらの測定法においては、波長掃引可能な光源、又は複数の波長の光源が必要とされ、これは上述の $1.0\mu\text{m}$ 帯等、技術的な開拓がまだ十分に行われていない波長帯においては実現が容易でない場合もありうる。

【0004】

波長掃引可能な光源、又は、複数の波長の光源を必要としない波長分散測定法として、ベースバンド AM 応答測定法（下記非特許文献 5 及び下記非特許文献 6 参照）がある。

下記非特許文献 6 に示されている、この方法による波長分散測定の構成を図 14 に示す

50

。

【 0 0 0 5 】

図 1 4 に示すように、本方法においては、光源 1 0 から出力された光を強度変調器 4 0 により強度変調した際に発生する変調側波帯の位相関係が分散媒体 1 3 中の波長分散より変化し、その結果、光の時間波形が変化することを利用する。強度変調周波数を変化させた場合、光の時間波形の強度変調成分が極小値を取る強度変調周波数が周期的に存在する。その周波数の観測を受光器 1 4 及びネットワークアナライザ 4 1 を用いて行う。強度変調成分が極小値を取る周波数 f_m は式 (1) で与えられる。

【 数 1 】

$$f_m = \sqrt{\frac{c(n-1/2)}{DL\lambda^2}} \quad \dots \quad (1)$$

10

【 0 0 0 6 】

ここで、 n は極小値の次数 (1、2、3、...)、 D は分散媒体の単位長さ当たりの波長分散値、 L は分散媒体長、 λ は測定波長 (光源波長) である。また、強度変調器 4 0 のチャープパラメータ (α パラメータ) は 0 であるとしている。強度変調成分が極小値を取る周波数を測定し、式 (1) から波長分散値 DL を得ることができる。

【 0 0 0 7 】

一方、波長掃引可能な光源、又は複数の波長の光源を必要としない別の波長分散測定法として、位相変調器を用いる方法が提案されている (下記非特許文献 7 及び下記特許文献参照)。本方法においては光源からの光が特定の周波数で位相変調を施された後に分散媒体に入射される。分散媒体中では位相変調成分が強度変調成分に変換されるが、その変換の割合が波長分散に依存することを利用して、分散媒体の波長分散を導出するものである。

20

【 0 0 0 8 】

下記特許文献 1 において実施例として示されている波長分散測定装置の構成を図 1 5 に示す。

図 1 5 に示すように、光源 1 0 からの光は外部位相変調器 1 2 によって特定の周波数で変調される。位相変調器 1 2 は周波数固定で動作させる発振器 5 0 により駆動する。また、位相変調器 1 2 の出力光の一部を分波器 5 1 により分波し、光スペクトラムアナライザ 5 2 によって光スペクトルを観測することにより、位相変調の変調指数を求める。

30

【 0 0 0 9 】

分散媒体 1 3 を通過した後の位相変調光は分散に応じて一部が強度変調成分に変換されている。そこで、受光器 1 4 の出力に含まれる交流成分と直流成分をそれぞれ交流電圧計 5 3、直流電圧計 5 4 にて測定し、その強度比を比較器 5 8 により求めることによって分散媒体 1 3 の波長分散を知ることが可能となる。交流電圧計 5 3 の前段にはバンドパスフィルタ 5 5 を挿入する。

【 0 0 1 0 】

なお、下記特許文献 1 においては、分散媒体 1 3 へ入射する位相変調光の強度を光増幅器 5 6 又は可変光減衰器 5 7 の設定により変化させ、分散媒体中での自己位相変調の効果を変化させることによって分散媒体の波長分散の符号を特定する方法を提案している。また、下記特許文献 1 中に記述があるように、下記特許文献 1 で提案されている波長分散測定法においては、位相変調周波数を固定した状態で波長分散測定が行われる。

40

【 0 0 1 1 】

【特許文献 1】特許第 3 2 3 7 6 8 4 号公報

【非特許文献 1】Kenji Kurokawa、外 5 名、“High Capacity WDM Transmission in 1.0 μ m Band over Low Loss PCF Using Supercontinuum Source”、2008 Optical Fiber Communication Conference and Exhibition / National Fiber Optic

50

Engineers Conference (OFC/NFOEC2008)、2008、OMH5

【非特許文献2】Bruno Costa、外3名、“Phase Shift Technique for the Measurement of Chromatic Dispersion in Optical Fibers Using LED's”、IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS、Vol. QE-18、No. 10、1982年10月、p. 1509-1515

【非特許文献3】L. G. Cohen、外1名、“Pulse delay measurements in zero material dispersion wavelength region for optical fibers”、APPLIED OPTICS、Vol. 16、No. 12、1977年12月、p. 3136-3139

【非特許文献4】Mitsuhiko Tateda、外2名、“Interferometric method for Chromatic Dispersion Measurement in a Single-Mode Optical Fiber”、IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS、Vol. QE-17、No. 3、1981年3月、p. 404-407

【非特許文献5】B. Christensen、外2名、“SIMPLE DISPERSION MEASUREMENT TECHNIQUE WITH HIGH RESOLUTION”、ELECTRONICS LETTERS、Vol. 29、No. 1、1993年1月7日、p. 132-134

【非特許文献6】波平宣敬編、「DWDM光測定技術」、第1版、株式会社オプトロニクス社、平成13年3月10日、p. 42-43

【非特許文献7】A. R. Chraplyvy、外3名、“PHASE MODULATION TO AMPLITUDE MODULATION CONVERSION OF CW LASER LIGHT IN OPTICAL FIBRES”、ELECTRONICS LETTERS、Vol. 22、No. 8、1986年4月10日、p. 409-411

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

図14に示した強度変調器40を用いる波長分散測定法(ベースバンドAM応答測定法)においては、光源10の波長と、強度変調成分が極小値を取る周波数の2つの測定値のみから式(1)より波長分散を導出できる。この場合、これらの2つのパラメータは高精度に測定可能であるため、波長分散を正確に導出することが可能である。

【0013】

しかし、式(1)は、強度変調器40のチャープパラメータ(α パラメータ)が0であることを前提としている。実際の強度変調器は有限の α パラメータを有しており、この影響を考慮して波長分散を導出する必要がある。しかしながら、強度変調器40の α パラメータを正確に求めるのは容易でなく、その結果、実際に測定される波長分散値は誤差を含んでしまう。

【0014】

また、図15に示した位相変調器12を用いる波長分散測定法においては、波長分散を導出するために位相変調指数を正確に測定する必要があり、この位相変調指数の測定誤差が波長分散の測定誤差につながる。また、本方法においては受光器14の出力信号を2分岐して、交流成分と直流成分の比を求める必要があるが、受光部14後の直流電圧計54、交流電圧計53までの系に損失の差がある場合、これが波長分散値の測定誤差につながる。

【0015】

本発明は、上述した事情に鑑みてなされたものであり、連続光を出力する光源と光変調

10

20

30

40

50

器を利用した波長分散測定装置において、測定誤差を増大させる要因である変調器の α パラメータ、変調指数、測定系の損失の影響を含有せず、高精度な波長分散測定を可能とする波長分散測定装置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】

【0016】

上記の課題を解決する第1の発明に係る波長分散測定装置は、
被測定媒体の波長分散値を求める波長分散測定装置において、
連続光を発生させる光源と、
周波数掃引可能な正弦波信号を発生する電気信号発生器と、
前記電気信号発生器から出力される正弦波信号によって駆動され、前記光源の出力光に
対して位相変調を行う位相変調器と、
前記位相変調器から出力される出力光を、前記被測定媒体に入射した際の出力光を電気
信号に変換する受光器と、
前記受光器から出力される電気信号の交流成分の強度を観測する交流成分観測手段と
を具備し、
前記交流成分観測手段により交流成分が極小値を取る周波数を求め、この周波数から被
測定媒体の波長分散値を求める
ことを特徴とする。

【0017】

上記の課題を解決する第2の発明に係る波長分散測定装置は、
被測定媒体の波長分散値を求める波長分散測定装置において、
連続光を発生させる光源と、
広帯域な電気雑音成分を発生する雑音発生器と、
前記雑音発生器から出力される電気雑音成分によって駆動され、前記光源の出力光に対
して位相変調を行う位相変調器と、
前記位相変調器から出力される出力光を前記被測定媒体に入射した際の出力光を電気信
号に変換する受光器と、
前記受光器から出力される電気信号の交流成分の強度を観測する交流成分観測手段と
を具備し、
前記交流成分観測手段により交流成分が極小値を取る周波数を求め、この周波数から被
測定媒体の波長分散値を求める
ことを特徴とする。

【0018】

上記の課題を解決する第3の発明に係る波長分散測定装置は、第1の発明又は第2の発
明に係る波長分散測定装置において、
前記位相変調器の後段に波長分散値が既知である分散媒体を具備し、
前記位相変調器から出力される出力光を前記波長分散値が既知である分散媒体を通した
後に前記被測定媒体に入射した場合と、前記位相変調器から出力される出力光を前記被測
定媒体に直接入射した場合との2通りについて前記交流成分観測手段により交流成分が極
小値を取る周波数を求め、これらの周波数から前記被測定媒体の波長分散値を符号も含め
て求める
ことを特徴とする。

【0019】

上記の課題を解決する第4の発明に係る波長分散測定装置は、第1の発明から第3の発
明のいずれかひとつに係る波長分散測定装置において、
前記光源は前記連続光の波長が可変の波長可変光源であり、
前記被測定媒体の波長分散値の波長依存性を測定する
ことを特徴とする。

【0020】

上記の課題を解決する第5の発明に係る波長分散測定方法は、

10

20

30

40

50

被測定媒体の波長分散値を求める波長分散測定方法において、
連続光を発生する工程と、
周波数掃引可能な正弦波信号を発生する工程と、
前記正弦波信号を用いて前記連続光に対して位相変調を行う工程と、
位相変調された前記連続光を前記被測定媒体に入射した際の出力光を電気信号に変換する工程と、
前記電気信号の交流成分の強度を観測する工程と、
前記交流成分が極小値を取る周波数を求め、この周波数から被測定媒体の波長分散値を求める工程と
を具備する
ことを特徴とする。

10

【 0 0 2 1 】

上記の課題を解決する第6の発明に係る波長分散測定方法は、
被測定媒体の波長分散値を求める波長分散測定方法において、
連続光を発生させる工程と、
広帯域な電気雑音成分を発生させる工程と、
前記電気雑音成分を用いて前記連続光に対して位相変調を行う工程と、
位相変調された前記連続光を前記被測定媒体に入射した際の出力光を電気信号に変換する工程と、
前記電気信号の交流成分の強度を観測する工程と、
前記交流成分が極小値を取る周波数を求め、この周波数から被測定媒体の波長分散値を求める工程と
を具備する
ことを特徴とする。

20

【 0 0 2 2 】

上記の課題を解決する第7の発明に係る波長分散測定方法は、第5の発明又は第6の発明に係る波長分散測定方法において、
位相変調された前記連続光を波長分散値が既知である分散媒体を通す工程と、
位相変調された前記連続光を前記分散媒体を通した後に前記被測定媒体に入射した場合と、位相変調された前記連続光を前記被測定媒体に直接入射した場合との2通りについて
交流成分が極小値を取る周波数を求め、これらの周波数から前記被測定媒体の波長分散値を符号も含めて求める工程と
を具備する
ことを特徴とする。

30

【 0 0 2 3 】

上記の課題を解決する第8の発明に係る波長分散測定方法は、第5の発明から第6の発明のいずれかひとつに係る波長分散測定方法において、
前記連続光は波長を可変とし、
前記被測定媒体の波長分散値の波長依存性を測定する
ことを特徴とする。

40

【 発明の効果 】**【 0 0 2 4 】**

本発明により、変調器の α パラメータ、変調指数、測定系の損失といった測定誤差を増大させる要因の影響を含まず、変調周波数のみから波長分散を高精度に導出できる波長分散測定装置を提供することが可能となる。

【 発明を実施するための最良の形態 】**【 0 0 2 5 】**

以下、本発明に係る波長分散測定装置及び波長分散測定方法の実施例について、図面を参照して詳細に説明する。

【 実施例 1 】

50

【 0 0 2 6 】

本発明に係る波長分散測定装置及び波長分散測定方法の第 1 の実施例について説明する。

図 1 は本実施例に係る波長分散測定装置の一例を示す構成図、図 2 は位相変調直後、及び分散媒体出力において位相変調光が強度変調成分を持たなくなる条件における各変調側波帯の位相相関を模式的に示した説明図、図 3 は分散媒体出力において位相変調光が強度変調成分を持たなくなる条件における各変調側波帯の位相相関を模式的に示した説明図、図 4 は分散媒体出力での光の時間波形の計算結果を示すグラフ、図 5 は受光器出力における交流成分強度と周波数の相関の計算結果を示すグラフ、図 6 は本実施例に係る波長分散方法の手順を説明するフローチャートである。

10

【 0 0 2 7 】

図 1 に示すように、本実施例に係る波長分散測定装置においては、まず光源 1 0 から出力される単一波長の連続光に対し任意の変調指数の正弦波位相変調を位相変調器 1 2 により施した後に、分散媒体 1 3 に入射する。位相変調器 1 2 は周波数可変発振器 1 1 出力の正弦波信号により駆動される。

【 0 0 2 8 】

分散媒体 1 3 の出力を受光器 1 4 で電気信号に変換し、スペクトラムアナライザ 1 5 により交流成分を観測する。位相変調器 1 2 直後の光は正弦波状にチャープした連続光であるが、分散媒体 1 3 中において位相変調 - 強度変調変換により強度変調成分が発生する。

【 0 0 2 9 】

ここで、周波数可変発振器 1 1 出力の正弦波信号周波数を掃引させると、分散媒体出力光の時間波形が強度変調成分を持たない、すなわち連続光になる変調周波数が存在する。そして、この変調周波数の値のみから分散媒体 1 3 の波長分散を直接導出することが可能となる。

20

【 0 0 3 0 】

上記の動作を順を追って説明する。光源 1 0 出力の連続光の光周波数及び電界振幅をそれぞれ ω_0 、 E_0 とする。このとき連続光の電界は式 (2) で表わされる。

【 数 2 】

$$E(t) = E_0 \cdot \exp(-i\omega_0 t) \quad \cdots \quad (2)$$

30

【 0 0 3 1 】

この連続光に対して位相変調器 1 2 により正弦波位相変調を施すと、位相変調器 1 2 出力における光の電界は式 (3) で表わされる。

【 数 3 】

$$\begin{aligned} E(t) &= E_0 \cdot \exp[-i\{\omega_0 t + \Delta\theta \cdot \sin(2\pi f_m t)\}] \\ &= E_0 \cdot \sum_{n=-\infty}^{+\infty} [J_n(\Delta\theta) \cdot \exp\{-i(\omega_0 + 2\pi n f_m)t\}] \quad \cdots \quad (3) \end{aligned}$$

ここで、 f_m は位相変調周波数、 $\Delta\theta$ は位相変調の変調指数、 J_n は第 1 種ベッセル関数である。また、 n は整数であり、変調側波帯の番号を示す。

40

すなわち、式 (3) は $J_n(\Delta\theta)$ で表わされる振幅を有する変調側波帯の電界が角周波数間隔 $2\pi f_m$ で発生することを示している。 n の絶対値は元の連続光から離れるにしたがって大きくなり、その符号はもとの連続光周波数より高周波側が正となる。

【 0 0 3 2 】

図 2 に位相変調により発生する変調側波帯の位相相関を $t = 0$ の場合について模式的に示す。図 2 中の E_n は n 番目の変調側波帯を表している。なお、実際の変調側波帯の振幅は $E_0 \cdot J_n(\Delta\theta)$ で与えられ、それらはおのおの異なった大きさを有しているが、図 2 では簡略化のためにこの振幅偏差を無視している。

【 0 0 3 3 】

50

図 2 の $\text{Im}\{E\} - \text{Re}\{E\}$ 平面上における E_n の $\text{Re}\{E\}$ 軸からの角度が、 E_n の相対的な位相を示している。 n が負の奇数である場合 $J_n(\Delta\theta)$ は負の値を取り、それ以外の n の値については $J_n(\Delta\theta)$ は正の値を取る。このため、図 2 に示されるように n が負の奇数である場合の変調側波帯は他の変調側波帯と位相が π ずれている。

【 0 0 3 4 】

位相変調器 1 2 出力の光を分散媒体 1 3 に入射すると、おのこの変調側波帯は波長分散による位相変化を受け、その結果、位相変調 - 強度変調変換が起こり、強度変調成分が発生する。分散媒体 1 3 の群速度分散値と長さをそれぞれ β_2 、 L とすると、分散媒体 1 3 後の光の電界は式 (4) で表わされる。

【 数 4 】

$$E(t) = E_0 \cdot \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \left[J_n(\Delta\theta) \cdot \exp \left[i \left\{ 2\pi^2 n^2 (f_m^2 \beta_2 L) \right\} - i(\omega_0 + 2\pi f_m) t \right] \right] \cdots \quad (4)$$

【 0 0 3 5 】

$t = 0$ の場合について考えると、式 (4) より、 $\beta_2 L$ の群速度分散を有する分散媒体 1 3 を通過することによる各変調側波帯の位相変化は、図 2 の $\text{Im}\{E\} - \text{Re}\{E\}$ 平面を $2\pi^2 n^2 (f_m^2 \beta_2 L)$ だけ回転することに相当する。すなわち、群速度分散により各変調側波帯が受ける相対的な位相変化量は n^2 に比例する。ここで、 $n = \pm 1$ の場合、すなわち $E \pm 1$ の変調側波帯について考えると、この変調側波帯が $\beta_2 L$ の群速度分散を有する分散媒体 1 3 を通過後に受ける位相変化量は $2\pi^2 (f_m^2 \beta_2 L)$ となる。

【 0 0 3 6 】

この位相変化量が π の偶数倍となる場合、すなわち k を自然数として以下の式 (5) が成り立つ場合、各変調側波帯の位相は図 2 に示すような相関関係に戻る。

【 数 5 】

$$2\pi^2 f_m^2 |\beta_2| L = (2k)\pi \cdots \quad (5)$$

すなわち、この場合、分散媒体 1 3 後の光は強度変調成分を持たない連続光に戻るようになる。

【 0 0 3 7 】

ここで、式 (5) を f_m について解くと、以下の式 (6) が得られる。

【 数 6 】

$$f_m = \sqrt{\frac{k}{\pi |\beta_2| L}} \cdots \quad (6)$$

【 0 0 3 8 】

一方、位相変化量 $2\pi^2 (f_m^2 \beta_2 L)$ が π の奇数倍となる場合、すなわち k を自然数として以下の式 (7) が成り立つ場合、各変調側波帯の位相は図 3 に示すような相関関係になる。

【 数 7 】

$$2\pi^2 f_m^2 |\beta_2| L = (2k-1)\pi \cdots \quad (7)$$

この場合、図 2 と図 3 に示される位相関係は、元の連続光の光周波数を中心として対称的な関係になっている。したがって、式 (7) が成り立つ場合においても、分散媒体 1 3 後の光は強度変調成分を持たない連続光に戻るようになる。

【 0 0 3 9 】

ここで、式 (7) を f_m について解くと、以下の式 (8) となる。

10

20

30

40

【数 8】

$$f_m = \sqrt{\frac{2k-1}{2\pi|\beta_2|L}} \quad \dots \quad (8)$$

【0040】

式(6)と式(8)をまとめると、位相変調周波数が以下の式(9)を満たす場合、分散媒体13出力における位相変調光は、強度変調成分を持たない連続光に戻るようになる。

【数 9】

$$f_m = \sqrt{\frac{k}{2\pi|\beta_2|L}} \quad \dots \quad (9)$$

10

ただし、kは自然数とする。なお、式(9)は位相変調指数 $\Delta\theta$ を含まないため、式(9)が成立する場合に位相変調光が連続光に戻るという振舞いは、いかなる位相変調指数 $\Delta\theta$ についても成立する。

【0041】

なお、波長 λ における群速度分散 β_2 と単位長さ当たりの波長分散Dの関係は以下の式(10)で表わされる。

【数 10】

$$\beta_2 = -\frac{\lambda^2}{2\pi c} D \quad \dots \quad (10)$$

20

ただし、cは真空中の光速である。

【0042】

ここで、式(10)を式(9)に代入することによって、以下の式(11)が得られる。

【数 11】

$$f_m = \sqrt{\frac{kc}{\lambda^2|D|L}} \quad \dots \quad (11)$$

30

【0043】

さらに、この式(11)を分散媒体13の総波長分散量 $|D|L$ について解くと、以下の式(12)が得られる。

【数 12】

$$|D|L = \frac{kc}{\lambda^2 f_m^2} \quad \dots \quad (12)$$

ただし、kは自然数とする。

【0044】

このように、正弦波位相変調の変調周波数を掃引させて分散媒体13出力における光の時間波形が強度変調成分を持たない、すなわち連続光になる変調周波数を求めることにより、式(12)より分散媒体13の総波長分散量 $|D|L$ を求めることが可能となる。式(12)から分かるように、本実施例に係る波長分散測定装置及び波長分散測定方法における分散測定においては、使用する光源10の出力光の波長 λ 、及び分散媒体13出力における光が連続光となる変調周波数 f_m という2つのパラメータのみから正確に波長分散を導出することが可能である。そして、これらの2つのパラメータはともに精度の高い測定が可能であり、その結果、得られる波長分散の値も精度の高いものとなる。

40

【0045】

ここで、分散媒体13を波長分散Dが17[p s / (nm · km)]、長さLが80[km]のファイバとし、上述した波長分散測定方法の動作確認を数値計算にて行った結果

50

を示す。

光源の波長は 1 5 5 0 [n m] とした。これらの条件を式 (1 1) に入れると以下の式 (1 3) が得られる。

【数 1 3】

$$f_m = 9.579 \times \sqrt{k} \text{ [GHz]} \quad \dots \quad (13)$$

【0 0 4 6】

式 (1 3) において $k = 0.5$ 、 1 、 1.5 、 2 の場合について、すなわち $f_m = 6.77$ 、 9.58 、 11.73 、 13.55 [GHz] の場合について、上記の長さ 8 0 [k m] のファイバ出力における光の時間波形を、数値計算で求めた結果を図 4 に示す。

10

ここでは、位相変調の変調指数 0.07π と 0.19π の 2 つの場合について計算した。いずれの位相変調指数においても、 k が自然数の場合、すなわち $f_m = 9.58$ 、 13.55 [GHz] の場合、光の時間波形は強度変調成分を持たない連続光となり、それ以外の場合は強度変調された光になっていることが分かる。

【0 0 4 7】

また、上記と同じ系で位相変調周波数を 0.5 [GHz] から 20 [GHz] まで変化させた場合における、受光器出力中の変調周波数成分の強度を数値計算により求めた結果を図 5 に示す。

図 5 においては、変調周波数 $f_m = 9.6$ 、 13.6 、 16.6 、 19.2 [GHz] の各周波数成分において交流成分強度が極小値を取っていることが分かる。これらの 4 つの周波数は式 (1 2) における $k = 1$ 、 2 、 3 、 4 の場合に相当する。これらの値から被測定媒体 1 3 の $|D|L$ の値 1360 [ps/nm] が導出される。

20

【0 0 4 8】

ここで、本実施例に係る波長分散方法の手順について説明する。

図 6 に示すように、はじめに、ステップ S 1 0 において、光源 1 0、位相変調器 1 2、発振器 1 1、分散媒体 (被測定媒体) 1 3、受光器 1 4、スペクトラムアナライザ 1 5 を接続する。

【0 0 4 9】

次に、ステップ S 1 1 において、発振器 1 1 の周波数を掃引し、スペクトラムアナライザ 1 5 によって各変調周波数における交流成分強度を測定する。

30

次に、ステップ S 1 2 において、交流成分強度が極小値を取る変調周波数 f_m を求める。

最後に、ステップ S 1 3 において、式 (1 2) より分散媒体 (被測定媒体) 1 3 の総波長分散値 $|D|L$ を求める。

【実施例 2】

【0 0 5 0】

本発明に係る波長分散測定装置及び波長分散測定方法の第 2 の実施例について説明する。

図 7 は本実施例に係る波長分散測定装置の一例を示す構成図、図 8 は受光器出力における交流成分強度と周波数の相関の計算結果を示すグラフ、図 9 は本実施例に係る波長分散方法の手順を説明するフローチャートである。

40

【0 0 5 1】

図 7 に示すように、本実施例においては、図 1 に示した第 1 の実施例と異なり、周波数可変の発振器 1 1 の代わりに雑音発生器 2 0 が用いられる。この雑音発生器 2 0 から出力された広帯域の白色雑音信号を位相変調器 1 2 に入力し、光源 1 0 からの光に位相変調を施した後に分散媒体 1 3 に入射する。

【0 0 5 2】

分散媒体 1 3 の出力を受光器 1 4 で電気信号に変換し、スペクトラムアナライザ 1 5 により白色雑音信号周波数範囲内の交流成分を観測する。分散媒体 1 3 中においては各周波数成分に対して位相変調 - 強度変調変換により強度変調成分が発生する。しかしながら、

50

式(11)を満たす周波数については強度変調成分が0になるため、この周波数については交流成分強度が極小値を取る。この極小値を取る周波数から式(12)より分散媒体の波長分散を直接導出することが可能となる。

【0053】

第1の実施例と同じ波長分散Dが17 [ps/(nm・km)]、長さLが80 [km]のファイバを被測定媒体13として、本実施例における波長分散測定方法の動作確認を数値計算にて行った結果を図8に示す。

図8においては、変調周波数 $f_m = 9.6$ 、 13.6 、 16.6 、 19.2 [GHz]の各周波数成分において交流成分強度が極小値を取っている。これらの4つの周波数は式(12)における $k = 1, 2, 3, 4$ の場合に相当する。これらの値から被測定媒体13の $|D|L$ の値1360 [ps/nm]が導出される。

10

【0054】

ここで、本実施例に係る波長分散方法の手順について説明する。

図9に示すように、はじめに、ステップS20において、光源10、位相変調器12、雑音発生器20、分散媒体(被測定媒体)13、受光器14、スペクトラムアナライザ15を接続する。

【0055】

次に、ステップS21において、スペクトラムアナライザ15によって交流成分強度の変調周波数依存性を測定する。

次に、ステップS22において、交流成分強度が極小値を取る変調周波数 f_m を求める

20

最後に、ステップS23において、式(12)より分散媒体(被測定媒体)13の総波長分散値 $|D|L$ を求める。

【実施例3】

【0056】

本発明に係る波長分散測定装置及び波長分散測定方法の第3の実施例について説明する。

図10は本実施例に係る波長分散測定装置の一例を示す構成図、図11は本実施例に係る波長分散方法の手順を説明するフローチャートである。

図10に示すように、本実施例においては、図1に示した第1の実施例の構成に加えて、位相変調器12の後段に波長分散値が既知である分散媒体30が挿入されている。この分散媒体30が挿入された状態と、これを除いた状態の2回について分散測定を行うことにより、被測定媒体13の波長分散値と長さの積DLの値を、正負の符号も含めて導出することが可能となる。以下にその測定原理を示す。

30

【0057】

波長分散値が既知である分散媒体30について、その波長分散値と長さをそれぞれ D_0 、 L_0 とおく。一方、被測定媒体13について、その波長分散値と長さをそれぞれD、Lとおく。これらの2つのファイバを接続して位相変調光を入射した場合について、強度変調周波数成分の強度が極小値を取る周波数の最小値(すなわち、式(11)において、 $k = 1$ の場合の周波数)を、 f_{m1} とおく。この場合、以下の式(14)が成り立つ。

40

【数14】

$$|D_0L_0 + DL| = \frac{c}{\lambda^2 f_{m1}^2} \cdots (14)$$

【0058】

続いて、波長分散値が既知である分散媒体30を除去し、被測定媒体13のみに位相変調光を入射した場合について、強度変調周波数成分の強度が極小値を取る周波数の最小値(すなわち、式(11)において、 $k = 1$ の場合の周波数)を、 f_{m2} とおく。この場合、以下の式(15)が成り立つ。

【数 1 5】

$$|D|L = \frac{c}{\lambda^2 f_{m2}^2} \cdots (15)$$

【0059】

式(15)の両辺の2乗から式(14)の両辺の2乗を引くことにより、以下の式(16)が得られる。

【数 1 6】

$$DL = \frac{c^2}{2D_0L_0\lambda^4} \left(\frac{1}{f_{m2}^4} - \frac{1}{f_{m1}^4} \right) - \frac{D_0L_0}{2} \cdots (16) \quad 10$$

式(16)から分かるように、本実施例に係る波長分散測定装置及び波長分散測定方法により、被測定媒体13の波長分散値と長さの積DLの値を、正負の符号も含めて導出することが可能である。

【0060】

ここで、本実施例に係る波長分散方法の手順について説明する。

図11に示すように、はじめに、ステップS30において、光源10、位相変調器12、発振器11、分散媒体(分散量既知)30、分散媒体(被測定媒体)13、受光器14、スペクトラムアナライザ15を接続する。

【0061】

次に、ステップS31において、発振器11の周波数を掃引し、スペクトラムアナライザ15によって各変調周波数における交流成分強度を測定する。

次に、ステップS32において、交流成分強度が極小値を取る変調周波数 f_{m1} を求める。

次に、ステップS33において、分散媒体(分散量既知)30を除去し、位相変調器12出力を分散媒体(被測定媒体)13に接続する。

【0062】

次に、ステップS34において、発振器11の周波数を掃引し、スペクトラムアナライザ15によって各変調周波数における交流成分強度を測定する。

次に、ステップS35において、交流成分強度が極小値を取る変調周波数 f_{m2} を求める。

最後に、ステップS36において、式(16)より分散媒体(被測定媒体)13の総波長分散値DLを求める。

【実施例4】

【0063】

本発明に係る波長分散測定装置及び波長分散測定方法の第4の実施例について説明する。

図12は本実施例に係る波長分散測定装置の一例を示す構成図、図13は本実施例に係る波長分散方法の手順を説明するフローチャートである。

図12に示すように、本実施例においては、使用される光源が波長可変光源31であることが特徴となる。これにより、波長可変光源31の出力可能な波長範囲内で分散測定を行うことが可能となる。

【0064】

ここで、本実施例に係る波長分散方法の手順について説明する。

図13に示すように、はじめに、ステップS40において、波長可変光源31、位相変調器12、雑音発生器20、分散媒体(被測定媒体)13、受光器14、スペクトラムアナライザ15を接続する。

【0065】

次に、ステップS41において、スペクトラムアナライザ15によって交流成分強度の変調周波数依存性を測定する。

次に、ステップ S 4 2 において、交流成分強度が極小値を取る変調周波数 f_m を求める

。

次に、ステップ S 4 3 において、式 (1 2) より分散媒体 (被測定媒体) 1 3 の総波長分散値 $|D|L$ を求める。

【 0 0 6 6 】

次に、ステップ S 4 4 において、波長可変光源の設定波長を変化させる。波長可変光源の設定波長を変化後、再度ステップ S 4 1 からステップ S 4 3 を実行する。そして、波長可変光源 3 1 の出力可能な波長範囲内、又は波長分散測定を必要とする範囲内で設定波長を変化させ終えた後、ステップ S 4 5 へ移行する。

最後に、ステップ S 4 5 において、分散媒体 (被測定媒体) 1 3 の総波長分散値 $|D|L$ を求める。

10

【 0 0 6 7 】

〔他の実施例〕

以上、本発明に係る波長分散測定装置及び波長分散測定方法の好適な実施例を例示して説明したが、本発明の実施形態は上述した実施例に限定されるものではなく、本発明の範囲内において、その構成部材等の置換、変更、追加、個数の増減、形状の設計変更、設定パラメータの変更等を行うことは、全て本発明の範囲に含まれるものである。

【 0 0 6 8 】

上記非特許文献 5 及び上記非特許文献 6 の波長分散測定装置においては、強度変調器の α パラメータの値の誤差が波長分散の測定誤差につながる。また、上記特許文献 1 の波長分散測定装置においては、波長分散を導出するために、位相変調指数が既知の測定系を用意するか、位相変調指数を別途測定する必要がある。さらに、上記特許文献 1 の波長分散測定装置においては、受光器出力における直流成分と交流成分の強度比の測定誤差が波長分散の測定誤差につながる。

20

【 0 0 6 9 】

これに対し、本発明に係る波長分散測定装置及び波長分散測定方法においては、測定誤差を増大させる要因である位相変調器 1 2 の α パラメータ、変調指数、測定系の損失の各々の影響が含有されず、交流信号の周波数の値のみから高精度な波長分散値を導出することが可能である。

【産業上の利用可能性】

30

【 0 0 7 0 】

本発明は、光ファイバや光部品の基本特性の一つである波長分散値を測定する波長分散測定装置に利用することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 7 1 】

【図 1】第 1 の実施例に係る波長分散測定装置の一例を示す構成図である。

【図 2】位相変調直後、及び分散媒体出力において位相変調光が強度変調成分を持たなくなる条件における各変調側波帯の位相相関を模式的に示した説明図である。

【図 3】分散媒体出力において位相変調光が強度変調成分を持たなくなる条件における各変調側波帯の位相相関を模式的に示した説明図である。

40

【図 4】分散媒体出力での光の時間波形の計算結果を示すグラフである。

【図 5】受光器出力における交流成分強度と周波数の相関の計算結果を示すグラフである

。

【図 6】第 1 の実施例に係る波長分散方法の手順を説明するフローチャートである。

【図 7】第 2 の実施例に係る波長分散測定装置の一例を示す構成図である。

【図 8】受光器出力における交流成分強度と周波数の相関の計算結果を示すグラフである

。

【図 9】第 2 の実施例に係る波長分散方法の手順を説明するフローチャートである。

【図 10】第 3 の実施例に係る波長分散測定装置の一例を示す構成図である。

【図 11】第 3 の実施例に係る波長分散方法の手順を説明するフローチャートである。

50

【図 1 2】第 4 の実施例に係る波長分散測定装置の一例を示す構成図である。

【図 1 3】第 4 の実施例に係る波長分散方法の手順を説明するフローチャートである。

【図 1 4】従来の波長分散測定装置の第 1 の構成例を示す図である。

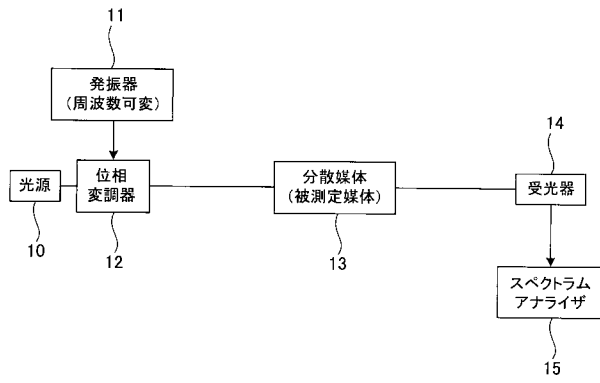
【図 1 5】従来の波長分散測定装置の第 2 の構成例を示す図である。

【符号の説明】

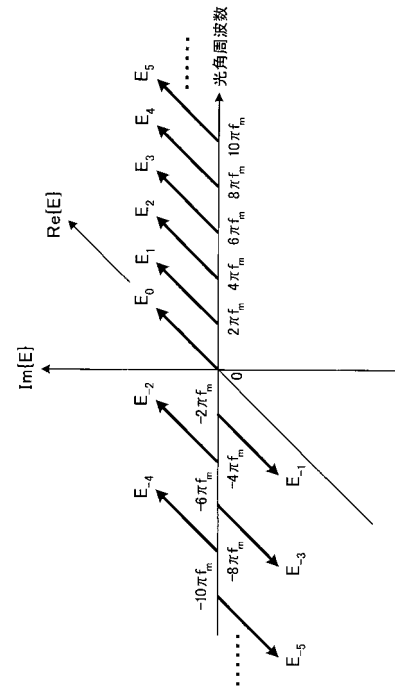
【 0 0 7 2 】

1 0	光源	
1 1	位相変調器	
1 2	発振器（周波数可変）	
1 3	分散媒体（被測定媒体）	10
1 4	受光器	
1 5	スペクトラムアナライザ	
2 0	雑音発生器	
3 0	波長分散量が既知である分散媒体	
3 1	波長可変光源	
4 0	強度変調器	
4 1	ネットワークアナライザ	
5 0	発振器（周波数固定）	
5 1	分波器	
5 2	光スペクトラムアナライザ	20
5 3	交流電圧計	
5 4	直流電圧計	
5 5	バンドパスフィルタ	
5 6	光増幅器	
5 7	可変光減衰器	
5 8	比較器	

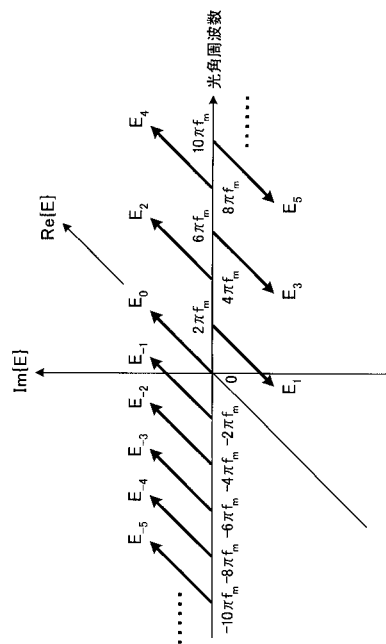
【図 1】



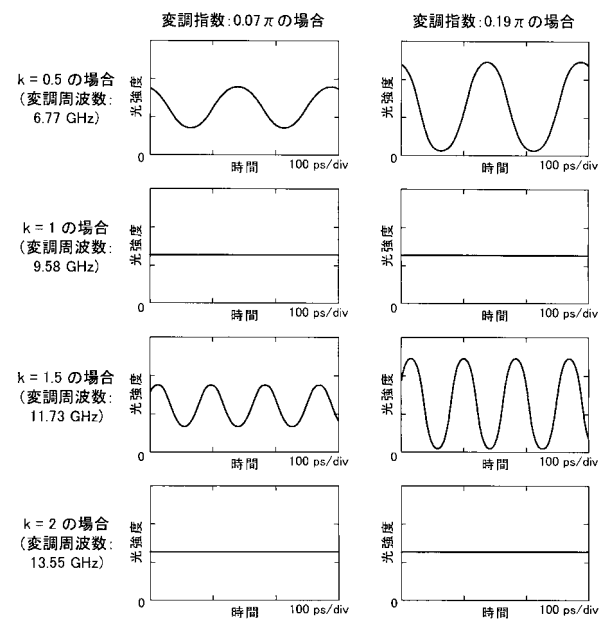
【図 2】



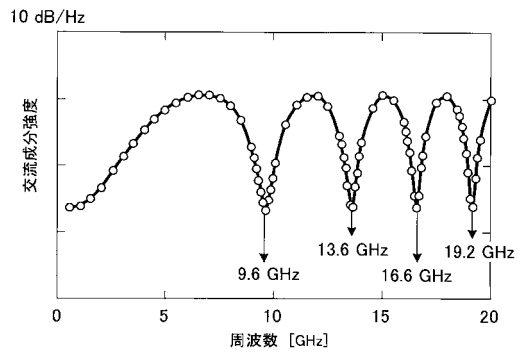
【図 3】



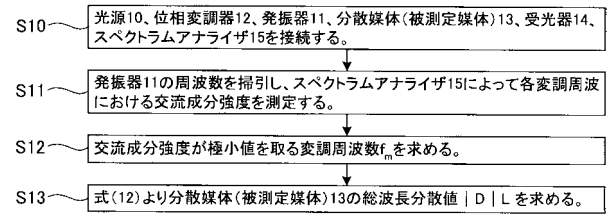
【図 4】



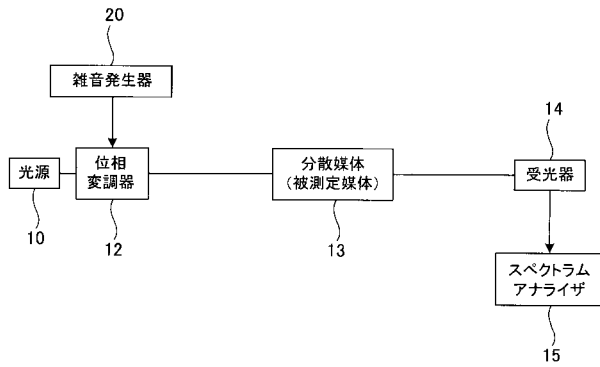
【図5】



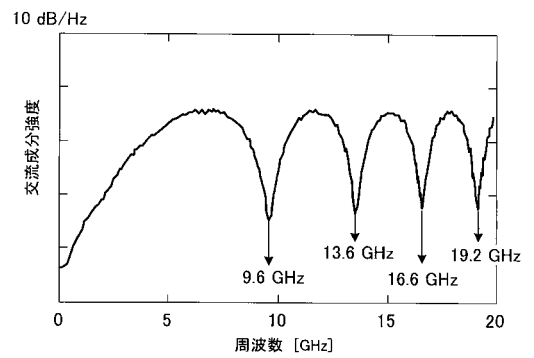
【図6】



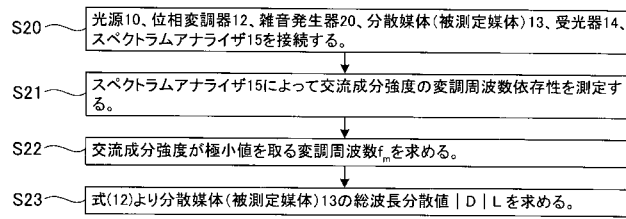
【図7】



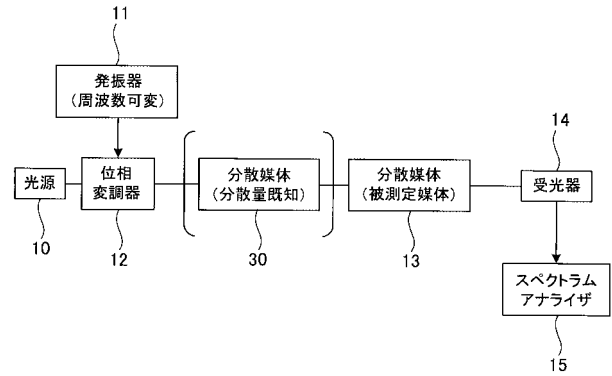
【図8】



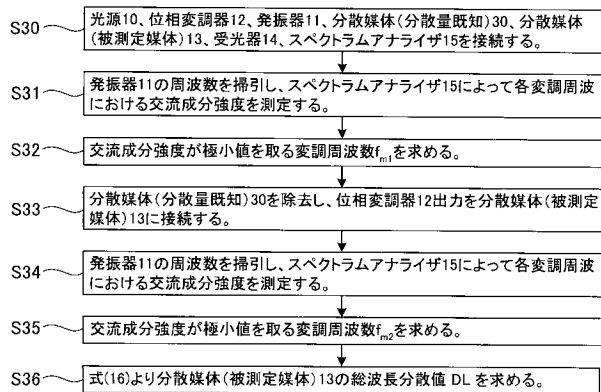
【図 9】



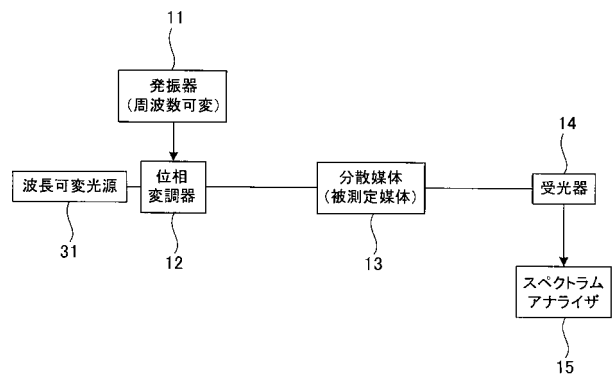
【図 10】



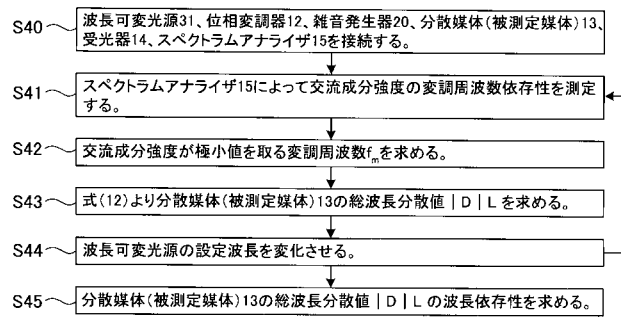
【図 11】



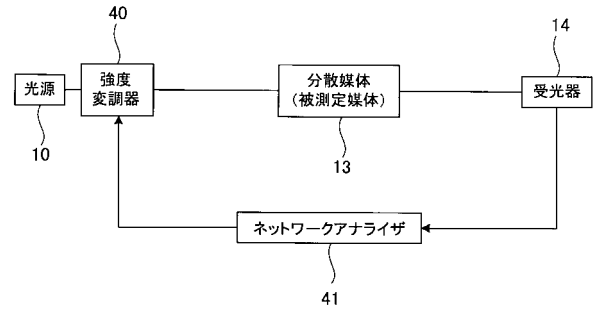
【図 12】



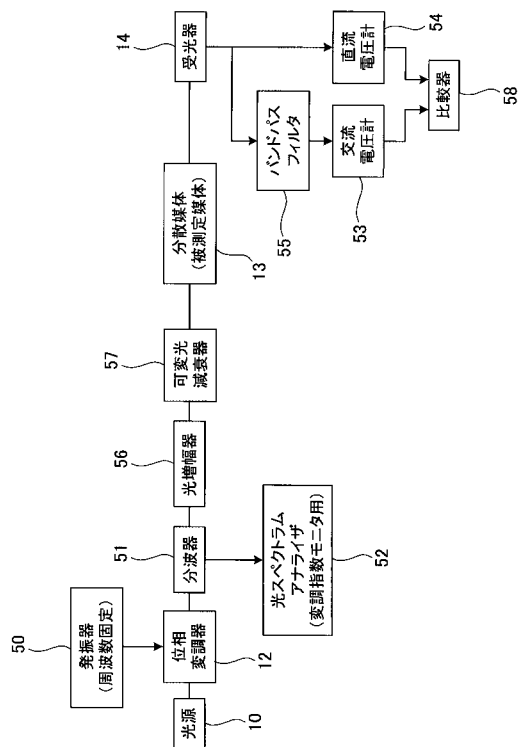
【図 13】



【図 14】



【図 15】



フロントページの続き

- (72)発明者 深井 千里
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 坂本 泰志
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 倉嶋 利雄
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内