

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4861663号
(P4861663)

(45) 発行日 平成24年1月25日(2012.1.25)

(24) 登録日 平成23年11月11日(2011.11.11)

(51) Int.Cl.

F 1

G 0 1 N 21/35 (2006.01)
G 0 1 M 11/02 (2006.01)G 0 1 N 21/35
G 0 1 M 11/02Z
J

請求項の数 6 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2005-259244 (P2005-259244)
 (22) 出願日 平成17年9月7日 (2005.9.7)
 (65) 公開番号 特開2007-71704 (P2007-71704A)
 (43) 公開日 平成19年3月22日 (2007.3.22)
 審査請求日 平成20年8月19日 (2008.8.19)

(73) 特許権者 390005175
 株式会社アドバンテスト
 東京都練馬区旭町1丁目32番1号
 (74) 代理人 100097490
 弁理士 細田 益穂
 (72) 発明者 山下 友勇
 東京都練馬区旭町1丁目32番1号 株式会社アドバンテスト内
 (72) 発明者 加藤 英志
 東京都練馬区旭町1丁目32番1号 株式会社アドバンテスト内
 審査官 ▲高▼場 正光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】測定装置、方法、プログラムおよび記録媒体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入射光を生成する入射光生成手段と、
 前記入射光の光周波数との差が一定の差分周波数である光周波数を有する参照光を生成する参照光生成手段と、
 前記入射光を被測定物に入射して得られた応答光と、前記参照光とに基づき、前記差分周波数を有する光検出信号を出力する光検出信号出力手段と、

前記光検出信号を受けて、前記被測定物の特性を測定する特性測定手段と、
 を備えた測定装置であって、

前記測定装置が、さらに、前記差分周波数を有する差分周波数信号を出力する差分周波数信号出力手段を備え、 10

前記入射光生成手段が、

波長可変光を生成する波長可変光源と、

波長固定光を生成する波長固定光源と、

前記波長可変光および前記波長固定光を合波する第一合波手段と、

前記第一合波手段の出力を受けて、前記波長可変光の光周波数と前記波長固定光の光周波数との差の光周波数を有する前記入射光を出力する第一光出力手段と、

を有し、

前記参照光生成手段が、

前記波長可変光源と、

10

20

前記波長固定光源と、
 前記差分周波数信号および前記波長固定光を受けて、前記波長固定光の光周波数を前記差分周波数だけ変換させる光周波数変換手段と、
 前記波長可変光および前記光周波数変換手段の出力を合波する第二合波手段と、
 前記第二合波手段の出力を受けて前記参照光を出力する第二光出力手段と、
 を有する、
 測定装置。

【請求項2】

請求項1に記載の測定装置であって、
 前記応答光は、前記入射光が前記被測定物を透過した光である、
 測定装置。

10

【請求項3】

請求項1に記載の測定装置であって、
 前記応答光は、前記入射光が前記被測定物により反射された光である、
 測定装置。

【請求項4】

請求項1に記載の測定装置であって、
 前記特性測定手段が、前記差分周波数信号および前記光検出信号を受けて、前記被測定物の特性を測定する、
 測定装置。

20

【請求項5】

請求項1ないし3のいずれか一項に記載の測定装置であって、
 前記入射光および前記参照光を合波する基準合波手段と、
 前記基準合波手段の出力を受けて前記差分周波数を有する基準信号を出力する基準信号出力手段と、
 を備え、
 前記特性測定手段が、前記基準信号および前記光検出信号を受けて、前記被測定物の特性を測定する、
 測定装置。

【請求項6】

入射光を生成する入射光生成工程と、
 前記入射光の光周波数との差が一定の差分周波数である光周波数を有する参照光を生成する参照光生成工程と、
 前記入射光を被測定物に入射して得られた応答光と、前記参照光とに基づき、前記差分周波数を有する光検出信号を出力する光検出信号出力工程と、
 前記光検出信号を受けて、前記被測定物の特性を測定する特性測定工程と、
 を備えた測定方法であって、
 前記測定方法が、さらに、前記差分周波数を有する差分周波数信号を出力する差分周波数信号出力工程を備え、

30

前記入射光生成工程が、

40

波長可変光源により波長可変光を生成する工程と、
 波長固定光源により波長固定光を生成する工程と、
 前記波長可変光および前記波長固定光を合波する第一合波工程と、
 前記第一合波工程の出力を受けて、前記波長可変光の光周波数と前記波長固定光の光周波数との差の光周波数を有する前記入射光を出力する第一光出力工程と、
 を有し、

前記参照光生成工程が、

前記波長可変光源により波長可変光を生成する工程と、

前記波長固定光源により波長固定光を生成する工程と、

前記差分周波数信号および前記波長固定光を受けて、前記波長固定光の光周波数を前記

50

差分周波数だけ変換させる光周波数変換工程と、
前記波長可変光および前記光周波数変換工程の出力を合波する第二合波工程と、
前記第二合波工程の出力を受けて前記参照光を出力する第二光出力工程と、
を有する、
測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、被測定物のテラヘルツ領域の伝達特性の測定に関する。

【背景技術】

10

【0002】

従来より、被測定物のテラヘルツ領域の伝達特性を測定することが知られている。

【0003】

例えば、特許文献1の図1を参照して、強度変調されたテラヘルツ光を用いて、被測定物の伝達特性を得る装置が知られている。被測定物には、キャリア周波数($f_2 - f_1$)および側帯周波数($f_2 - f_1 \pm f_{IF}$)を有するテラヘルツ光を入射することになる。これにより、被測定物に入射されるテラヘルツ光の実効的なスペクトル幅(以下、「入射スペクトル幅」という)が変調周波数 f_{IF} の2倍($2 \times f_{IF}$)に広がる。

【0004】

【特許文献1】国際公開第03/005002号パンフレット

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、上記のような従来技術によれば、被測定物の伝達特性の周波数分解能が低くなる。入射スペクトル幅が広いほど被測定物の伝達特性の測定の際の周波数分解能が低くなるからである。

【0006】

そこで、変調周波数 f_{IF} を低くして周波数分解能を高くしようとすると、被測定物の群遅延時間の測定精度(群遅延分解能)が低くなってしまう。

【0007】

30

このように、上記のような従来技術によれば、周波数分解能および群遅延分解能を両方とも良くすることができない。

【0008】

そこで、本発明は、被測定物の伝達特性の測定の際の周波数分解能を高くすることを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明にかかる測定装置は、入射光を生成する入射光生成手段と、前記入射光の光周波数との差が一定の差分周波数である光周波数を有する参照光を生成する参照光生成手段と、前記入射光を被測定物に入射して得られた応答光と、前記参照光とに基づき、前記差分周波数を有する光検出信号を出力する光検出信号出力手段と、前記光検出信号を受けて、前記被測定物の特性を測定する特性測定手段とを備えるように構成される。

40

【0010】

上記のように構成された測定装置によれば、入射光生成手段は、入射光を生成する。参照光生成手段は、前記入射光の光周波数との差が一定の差分周波数である光周波数を有する参照光を生成する。光検出信号出力手段は、前記入射光を被測定物に入射して得られた応答光と、前記参照光とに基づき、前記差分周波数を有する光検出信号を出力する。特性測定手段は、前記光検出信号を受けて、前記被測定物の特性を測定する。

【0011】

また、本発明にかかる測定装置は、前記応答光は、前記入射光が前記被測定物を透過し

50

た光であるようにしてもよい。

【0012】

また、本発明にかかる測定装置は、前記応答光は、前記入射光が前記被測定物により反射された光であるようにしてもよい。

【0013】

また、本発明にかかる測定装置は、前記差分周波数を有する差分周波数信号を出力する差分周波数信号出力手段を備え、前記入射光生成手段が、波長可変光を生成する波長可変光源と、波長固定光を生成する波長固定光源と、前記波長可変光および前記波長固定光を合波する第一合波手段と、前記第一合波手段の出力を受けて、前記波長可変光の光周波数と前記波長固定光の光周波数との差の光周波数を有する前記入射光を出力する第一光出力手段と、を有し、前記参照光生成手段が、前記波長可変光源と、前記波長固定光源と、前記差分周波数信号および前記波長固定光を受けて、前記波長固定光の光周波数を前記差分周波数だけ変換させる光周波数変換手段と、前記波長可変光および前記光周波数変換手段の出力を合波する第二合波手段と、前記第二合波手段の出力を受けて前記参照光を出力する第二光出力手段とを有するようにしてもよい。

10

【0014】

また、本発明にかかる測定装置は、前記特性測定手段が、前記差分周波数信号および前記光検出信号を受けて、前記被測定物の特性を測定するようにしてもよい。

【0015】

また、本発明にかかる測定装置は、前記入射光および前記参照光を合波する基準合波手段と、前記基準合波手段の出力を受けて前記差分周波数を有する基準信号を出力する基準信号出力手段と、を備え、前記特性測定手段が、前記基準信号および前記光検出信号を受けて、前記被測定物の特性を測定するようにしてもよい。

20

【0016】

本発明は、入射光を生成する入射光生成工程と、前記入射光の光周波数との差が一定の差分周波数である光周波数を有する参照光を生成する参照光生成工程と、前記入射光を被測定物に入射して得られた応答光と、前記参照光とに基づき、前記差分周波数を有する光検出信号を出力する光検出信号出力工程と、前記光検出信号を受けて、前記被測定物の特性を測定する特性測定工程とを備えた測定方法である。

【0017】

30

本発明は、入射光を生成する入射光生成手段と、前記入射光の光周波数との差が一定の差分周波数である光周波数を有する参照光を生成する参照光生成手段と、前記入射光を被測定物に入射して得られた応答光と前記参照光とに基づき、前記差分周波数を有する光検出信号を出力する光検出信号出力手段とを有する測定装置における処理をコンピュータに実行させるためのプログラムであって、前記光検出信号を受けて、前記被測定物の特性を測定する特性測定処理をコンピュータに実行させるためのプログラムである。

【0018】

本発明は、入射光を生成する入射光生成手段と、前記入射光の光周波数との差が一定の差分周波数である光周波数を有する参照光を生成する参照光生成手段と、前記入射光を被測定物に入射して得られた応答光と前記参照光とに基づき、前記差分周波数を有する光検出信号を出力する光検出信号出力手段とを有する測定装置における処理をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータによって読み取り可能な記録媒体であって、前記光検出信号を受けて、前記被測定物の特性を測定する特性測定処理をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータによって読み取り可能な記録媒体である。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下、本発明の実施形態を図面を参照しながら説明する。

【0020】

第一の実施形態

50

図1は、第一の実施形態にかかる測定装置1の構成を示す機能ブロック図である。第一の実施形態にかかる測定装置1は、光ファイバ(被測定物)2の伝達特性(例えば、振幅特性および位相特性)を測定するための装置である。測定装置1は、波長可変光源12、分波器14、第一合波器16、第一テラヘルツ光発生器(第一光出力手段)18、波長固定光源22、分波器24、光周波数変換器25、第二合波器26、第二テラヘルツ光発生器(第二光出力手段)28、差分周波数信号源30、第三合波器42、テラヘルツ光検出器(光検出信号出力手段)44、ネットワークアナライザ(特性測定手段)50を備える。

【0021】

波長可変光源12は、波長可変光を生成する。波長可変光は、光周波数 f_1 のCW(連続波: Continuous Wave)光である。波長可変光の光周波数 f_1 は、 $f_2 + f_{low}$ から $f_2 + f_{high}$ まで変化する。

【0022】

分波器14は、波長可変光源12から波長可変光を受け、波長可変光を分けて、第一合波器16および第二合波器26に出力する。

【0023】

波長固定光源22は、波長固定光を生成する。波長固定光は、光周波数 f_2 のCW光である。波長固定光の光周波数 f_2 は一定である。

【0024】

分波器24は、波長固定光源22から波長固定光を受け、波長固定光を分けて、第一合波器16および光周波数変換器25に出力する。

【0025】

差分周波数信号源30は、差分周波数 f_{IF} を有する差分周波数信号を出力する。

【0026】

光周波数変換器25は、差分周波数信号源30から差分周波数信号を受け、さらに波長固定光源22から波長固定光を受ける。そして、光周波数変換器25は、波長固定光の光周波数 f_2 を差分周波数 f_{IF} だけ変換させて出力する。光周波数変換器25の出力の光周波数は、 $f_2 + f_{IF}$ または $f_2 - f_{IF}$ が考えられるが、本実施形態においては、光周波数変換器25の出力の光周波数を $f_2 + f_{IF}$ とする。光周波数変換器25の出力する光は、第二合波器26に与えられる。

【0027】

第一合波器16は、分波器14から波長可変光を受け、さらに、分波器24から波長固定光を受ける。そして、第一合波器16は、波長可変光および波長固定光を合波する。

【0028】

第一テラヘルツ光発生器(第一光出力手段)18は、第一合波器16の出力を受けて、波長可変光の光周波数 f_1 と波長固定光の光周波数 f_2 との差の光周波数 $f_1 - f_2$ を有する入射光を出力する。

【0029】

第一テラヘルツ光発生器18は、例えば、低温成長ガリウム砒素より成る光伝導膜上に、平行伝送線路を形成することにより構成できる。また、入射光はテラヘルツ光(光周波数が0.1THz~10THzの光)である。

【0030】

入射光は、光ファイバ(被測定物)2の一端に入射される。入射光は、光ファイバ2を透過し、光ファイバ2の他端から出射される。このように、入射光を光ファイバ2に入射した結果、光ファイバ2から得られた光を応答光という。第一の実施形態においては、応答光は、入射光が光ファイバ2を透過した光である。

【0031】

第二合波器26は、分波器14から波長可変光を受け、さらに、光周波数変換器25の出力する光を受ける。そして、第二合波器26は、波長可変光および光周波数変換器25の出力する光を合波する。

10

20

30

40

50

【0032】

第二テラヘルツ光発生器（第二光出力手段）28は、第二合波器26の出力を受けて、波長可変光の光周波数 f_1 と、光周波数変換器25の出力する光の光周波数 $f_2 + f_{1F}$ との差の光周波数 $f_1 - f_2 - f_{1F}$ を有する光を出力する。第二テラヘルツ光発生器28は、例えば、低温成長ガリウム砒素より成る光伝導膜上に、平行伝送線路を形成することにより構成できる。第二テラヘルツ光発生器28の出力する光を参照光という。参照光の光周波数は $f_1 - f_2 - f_{1F}$ であり、入射光の光周波数 $f_1 - f_2$ との差が一定の差分周波数 f_{1F} である。また、参照光はテラヘルツ光（光周波数が0.1THz～10THzの光）である。

【0033】

なお、波長可変光源12、分波器14、第一合波器16、第一テラヘルツ光発生器18、波長固定光源22および分波器24は、入射光を生成する入射光生成手段に相当する。また、波長可変光源12、分波器14、波長固定光源22、分波器24、光周波数変換器25、第二合波器26および第二テラヘルツ光発生器28は、参照光を生成する参照光生成手段に相当する。

【0034】

第三合波器42は、光ファイバ2から応答光を受ける。さらに、第三合波器42は、第二テラヘルツ光発生器28から参照光を受ける。そして、第三合波器42は、応答光および参照光を合波してテラヘルツ光検出器44に与える。

【0035】

テラヘルツ光検出器（光検出信号出力手段）44は、第三合波器42の出力を受け、応答光の光周波数 $f_1 - f_2$ と、参照光の光周波数 $f_1 - f_2 - f_{1F}$ との差の周波数 f_{1F} （すなわち、差分周波数 f_{1F} ）を有する光検出信号を出力する。すなわち、テラヘルツ光検出器44は、応答光と参照光とに基づき光検出信号を出力する。なお、テラヘルツ光検出器44は、第一テラヘルツ光発生器18および第二テラヘルツ光発生器28と同様な構成をとることができる。

【0036】

ネットワークアナライザ（特性測定手段）50は、テラヘルツ光検出器44から光検出信号を受ける。さらに、ネットワークアナライザ50は、差分周波数信号源30から差分周波数 f_{1F} を有する差分周波数信号を受ける。ネットワークアナライザ50は、光検出信号および差分周波数信号に基づき、光ファイバ2の特性を測定する。例えば、ネットワークアナライザ50は、光ファイバ2の伝達特性（例えば、振幅特性および位相特性）を測定する。

【0037】

ネットワークアナライザ50は、振幅・位相比較器52、データ処理部54を有する。振幅・位相比較器52は、光検出信号の振幅および差分周波数信号の振幅を比較する。例えば、光検出信号の振幅を、差分周波数信号の振幅で割る。しかも、振幅・位相比較器52は、光検出信号の位相および差分周波数信号の位相を比較する。例えば、光検出信号の位相から、差分周波数信号の位相を減じる。

【0038】

データ処理部54は、振幅・位相比較器52の結果に基づき、光ファイバ2の伝達特性を導出する。光周波数 $f_1 - f_2$ の入射光（テラヘルツ光）が光ファイバ2を透過した応答光の振幅および位相が測定できる。また、波長可変光の光周波数 f_1 は、 $f_{2+} - f_{low}$ から $f_{2+} - f_{high}$ まで変化する。よって、入射光の光周波数が f_{low} から f_{high} までの範囲内における光ファイバ2の振幅特性および位相特性が測定される。

【0039】

次に、第一の実施形態の動作を説明する。

【0040】

まず、波長可変光源12が波長可変光（光周波数 f_1 ）を、波長固定光源22が波長固定光（光周波数 f_2 ）を生成する。ただし、光周波数 f_1 は、 $f_{2+} - f_{low}$ から $f_{2+} - f_{high}$ まで変化する。

10

20

30

40

50

【0041】

そして、分波器14が、波長可変光源12から波長可変光を受け、波長可変光を分けて、第一合波器16および第二合波器26に出力する。また、分波器24が、波長固定光源22から波長固定光を受け、波長固定光を分けて、第一合波器16および光周波数変換器25に出力する。なお、光周波数変換器25には、差分周波数信号源30から差分周波数 f_{IF} を有する差分周波数信号も与えられる。

【0042】

第一合波器16が、波長可変光および波長固定光を合波する。第一テラヘルツ光発生器18が、第一合波器16の出力を受けて、波長可変光の光周波数 f_1 と波長固定光の光周波数 f_2 との差の光周波数 $f_1 - f_2$ を有する入射光を出力する。

10

【0043】

入射光は、光ファイバ2の一端に入射される。入射光は、光ファイバ2を透過し、光ファイバ2の他端から応答光として出射される。応答光は、第三合波器42に与えられる。

【0044】

光周波数変換器25は、波長固定光の光周波数 f_2 を差分周波数 f_{IF} だけ変換させて出力する。光周波数変換器25の出力する光(光周波数 $f_2 + f_{IF}$)は、第二合波器26に与えられる。

【0045】

第二合波器26は、波長可変光および光周波数変換器25の出力する光を合波する。第二テラヘルツ光発生器(第二光出力手段)28は、第二合波器26の出力を受けて、波長可変光の光周波数 f_1 と、光周波数変換器25の出力する光の光周波数 $f_2 + f_{IF}$ との差の光周波数 $f_1 - f_2 - f_{IF}$ を有する参照光を出力する。参照光は、第三合波器42に与えられる。

20

【0046】

第三合波器42は、応答光および参照光を合波してテラヘルツ光検出器44に与える。テラヘルツ光検出器44は、第三合波器42の出力を受け、応答光の光周波数 $f_1 - f_2$ と、参照光の光周波数 $f_1 - f_2 - f_{IF}$ との差の周波数 f_{IF} (すなわち、差分周波数 f_{IF})を有する光検出信号を出力する。

【0047】

ネットワークアナライザ50は、光検出信号および差分周波数信号を受け、光ファイバ2の特性を測定する。具体的には、振幅・位相比較器52が、光検出信号の振幅(位相)および差分周波数信号の振幅(位相)を比較する。その比較結果に基づき、データ処理部54がデータ処理を行い、入射光の光周波数が f_{low} から f_{high} までの範囲内における光ファイバ2の振幅特性および位相特性を測定する。

30

【0048】

第一の実施形態によれば、光ファイバ2に入射される入射光(テラヘルツ光)のスペクトルは、キャリア周波数($f_2 - f_1$)を含むものの、側帯周波数($f_2 - f_1 \pm f_{IF}$)を含まない。よって、入射光の実効的なスペクトル幅を狭くすることができる。これにより、光ファイバ2の伝達特性の測定の際の周波数分解能が高くなる。なお、周波数分解能は、波長可変光源12および波長固定光源22の光周波数安定度で定まる高い値となる。

40

【0049】

しかも、第一の実施形態によれば、光ファイバ2から得られた応答光を直接検波するのではなく、テラヘルツ光検出器44によりヘテロダイイン検波するため、ダイナミックレンジの高い、高感度測定が可能となる。

【0050】

さらに、第一の実施形態によれば、入射光および参照光は、波長可変光源12および波長固定光源22により生成される。ここで、波長可変光の光周波数 f_1 と、波長固定光の光周波数 f_2 とが不安定であり、それぞれ f_1' と f_2' とに変化してしまったとする。しかし、テラヘルツ光検出器44が出力する光検出信号の周波数は差分周波数 f_{IF} であることに変わりはない。これにより、波長可変光の光周波数 f_1 と波長固定光の光周波数 f_2 とが不安定

50

であっても、テラヘルツ光検出器 4 4 によるヘテロダイン検波によって不安定さが相殺されるため、安定した測定が可能となる。

【0051】

第二の実施形態

第二の実施形態は、応答光が光ファイバ 2 による反射光である点が第一の実施形態と異なる。

【0052】

図 2 は、第二の実施形態にかかる測定装置 1 の構成を示す機能ブロック図である。第二の実施形態にかかる測定装置 1 は、波長可変光源 1 2、分波器 1 4、第一合波器 1 6、第一テラヘルツ光発生器（第一光出力手段）1 8、波長固定光源 2 2、分波器 2 4、光周波数変換器 2 5、第二合波器 2 6、第二テラヘルツ光発生器（第二光出力手段）2 8、差分周波数信号源 3 0、結合器 4 1、第三合波器 4 2、テラヘルツ光検出器（光検出信号出力手段）4 4、ネットワークアナライザ（特性測定手段）5 0 を備える。以下、第一の実施形態と同様な部分は同一の番号を付して説明を省略する。

10

【0053】

結合器 4 1 は、第一テラヘルツ光発生器 1 8、光ファイバ 2 および第三合波器 4 2 に接続されている。結合器 4 1 は、第一テラヘルツ光発生器 1 8 が出力する入射光を光ファイバ 2 の一端に与える。さらに、結合器 4 1 は、光ファイバ 2 により反射されて、光ファイバ 2 の一端に戻ってきた光を第三合波器 4 2 に与える。

20

【0054】

なお、結合器 4 1 以外は第一の実施形態と同様であるため説明を省略する。ただし、第一テラヘルツ光発生器 1 8 の出力する入射光は、結合器 4 1 を介して、光ファイバ 2 の一端に入射される。応答光は、入射光が光ファイバ 2 により反射された光である。第三合波器 4 2 は、光ファイバ 2 から、結合器 4 1 を介して、応答光を受ける。

30

【0055】

次に、第二の実施形態の動作を説明する。

【0056】

まず、波長可変光源 1 2 が波長可変光（光周波数 f_1 ）を、波長固定光源 2 2 が波長固定光（光周波数 f_2 ）を生成する。ただし、光周波数 f_1 は、 $f_2 + f_{low}$ から $f_2 + f_{high}$ まで変化する。

【0057】

そして、分波器 1 4 が、波長可変光源 1 2 から波長可変光を受け、波長可変光を分けて、第一合波器 1 6 および第二合波器 2 6 に出力する。また、分波器 2 4 が、波長固定光源 2 2 から波長固定光を受け、波長固定光を分けて、第一合波器 1 6 および光周波数変換器 2 5 に出力する。なお、光周波数変換器 2 5 には、差分周波数信号源 3 0 から差分周波数 f_{IF} を有する差分周波数信号も与えられる。

【0058】

第一合波器 1 6 が、波長可変光および波長固定光を合波する。第一テラヘルツ光発生器 1 8 が、第一合波器 1 6 の出力を受けて、波長可変光の光周波数 f_1 と波長固定光の光周波数 f_2 との差の光周波数 $f_1 - f_2$ を有する入射光を出力する。

40

【0059】

入射光は、結合器 4 1 を介して、光ファイバ 2 の一端に入射される。入射光は、光ファイバ 2 により反射され、光ファイバ 2 の一端に戻り、光ファイバ 2 の一端から応答光として出射される。応答光は、結合器 4 1 を介して、第三合波器 4 2 に与えられる。

【0060】

光周波数変換器 2 5 は、波長固定光の光周波数 f_2 を差分周波数 f_{IF} だけ変換させて出力する。光周波数変換器 2 5 の出力する光（光周波数 $f_2 + f_{IF}$ ）は、第二合波器 2 6 に与えられる。

【0061】

第二合波器 2 6 は、波長可変光および光周波数変換器 2 5 の出力する光を合波する。第

50

二テラヘルツ光発生器（第二光出力手段）28は、第二合波器26の出力を受けて、波長可変光の光周波数 f_1 と、光周波数変換器25の出力する光の光周波数 $f_2 + f_{1F}$ との差の光周波数 $f_1 - f_2 - f_{1F}$ を有する参照光を出力する。参照光は、第三合波器42に与えられる。

【0062】

第三合波器42は、応答光および参照光を合波してテラヘルツ光検出器44に与える。テラヘルツ光検出器44は、第三合波器42の出力を受け、応答光の光周波数 $f_1 - f_2$ と、参照光の光周波数 $f_1 - f_2 - f_{1F}$ との差の周波数 f_{1F} （すなわち、差分周波数 f_{1F} ）を有する光検出信号を出力する。

【0063】

ネットワークアナライザ50は、光検出信号および差分周波数信号を受け、光ファイバ2の特性を測定する。具体的には、振幅・位相比較器52が、光検出信号の振幅（位相）および差分周波数信号の振幅（位相）を比較する。その比較結果に基づき、データ処理部54がデータ処理を行い、入射光の光周波数が f_{low} から f_{high} までの範囲内における光ファイバ2の振幅特性および位相特性を測定する。

【0064】

第二の実施形態によれば、第一の実施形態と同様な効果を奏する。しかも、第二の実施形態によれば、光ファイバ2による反射光に基づき、光ファイバ2の伝達特性を測定できる。

【0065】

第三の実施形態

第三の実施形態は、応答光が光ファイバ2を透過した光および光ファイバ2による反射光である点が第一の実施形態と異なる。

【0066】

図3は、第三の実施形態にかかる測定装置1の構成を示す機能ブロック図である。第三の実施形態にかかる測定装置1は、波長可変光源12、分波器14、第一合波器16、第一テラヘルツ光発生器（第一光出力手段）18、波長固定光源22、分波器24、光周波数変換器25、第二合波器26、第二テラヘルツ光発生器（第二光出力手段）28、差分周波数信号源30、結合器41a、分波器41b、第三合波器42a、第四合波器42b、テラヘルツ光検出器（光検出信号出力手段）44a、テラヘルツ光検出器（光検出信号出力手段）44b、ネットワークアナライザ（特性測定手段）50を備える。以下、第一の実施形態と同様な部分は同一の番号を付して説明を省略する。

【0067】

結合器41aは、第一テラヘルツ光発生器18、光ファイバ2および第四合波器42bに接続されている。結合器41aは、第一テラヘルツ光発生器18が出力する入射光を光ファイバ2の一端に与える。さらに、結合器41aは、光ファイバ2により反射されて、光ファイバ2の一端に戻ってきた光を第四合波器42bに与える。

【0068】

分波器41bは、第二テラヘルツ光発生器28の出力する参照光を分けて、第三合波器42aおよび第四合波器42bに与える。

【0069】

第三合波器42aは、光ファイバ2から第一応答光（光ファイバ2を透過した光）を受ける。さらに、第三合波器42aは、分波器41bから参照光を受ける。そして、第三合波器42aは、第一応答光および参照光を合波してテラヘルツ光検出器44aに与える。

【0070】

第四合波器42bは、光ファイバ2から第二応答光（光ファイバ2により反射された光）を結合器41aを介して受ける。さらに、第三合波器42aは、分波器41bから参照光を受ける。そして、第四合波器42bは、第二応答光および参照光を合波してテラヘルツ光検出器44bに与える。

【0071】

10

20

30

40

50

テラヘルツ光検出器（光検出信号出力手段）44aおよびテラヘルツ光検出器（光検出信号出力手段）44bは、第一の実施形態におけるテラヘルツ光検出器（光検出信号出力手段）44と同じものである。

【0072】

ただし、テラヘルツ光検出器（光検出信号出力手段）44aは、第一応答光の光周波数 $f_1 - f_2$ と、参照光の光周波数 $f_1 - f_2 - f_{IF}$ との差の周波数 f_{IF} （すなわち、差分周波数 f_{IF} ）を有する光検出信号をネットワークアナライザ50に出力する。

【0073】

一方、テラヘルツ光検出器（光検出信号出力手段）44bは、第二応答光の光周波数 $f_1 - f_2$ と、参照光の光周波数 $f_1 - f_2 - f_{IF}$ との差の周波数 f_{IF} （すなわち、差分周波数 f_{IF} ）を有する光検出信号をネットワークアナライザ50に出力する。 10

【0074】

なお、結合器41a、分波器41b、第三合波器42a、第四合波器42b、テラヘルツ光検出器（光検出信号出力手段）44a、テラヘルツ光検出器（光検出信号出力手段）44b以外は、第一の実施形態と同様であるため説明を省略する。ただし、応答光は、入射光が光ファイバ2を透過した光（第一応答光）および光ファイバ2により反射された光（第二応答光）である。

【0075】

次に、第三の実施形態の動作を説明する。

【0076】

まず、波長可変光源12が波長可変光（光周波数 f_1 ）を、波長固定光源22が波長固定光（光周波数 f_2 ）を生成する。ただし、光周波数 f_1 は、 $f_{2+} - f_{low}$ から $f_{2+} - f_{high}$ まで変化する。 20

【0077】

そして、分波器14が、波長可変光源12から波長可変光を受け、波長可変光を分けて、第一合波器16および第二合波器26に出力する。また、分波器24が、波長固定光源22から波長固定光を受け、波長固定光を分けて、第一合波器16および光周波数変換器25に出力する。なお、光周波数変換器25には、差分周波数信号源30から差分周波数 f_{IF} を有する差分周波数信号も与えられる。 30

【0078】

第一合波器16が、波長可変光および波長固定光を合波する。第一テラヘルツ光発生器18が、第一合波器16の出力を受けて、波長可変光の光周波数 f_1 と波長固定光の光周波数 f_2 との差の光周波数 $f_1 - f_2$ を有する入射光を出力する。

【0079】

入射光は、結合器41aを介して、光ファイバ2の一端に入射される。入射光は、光ファイバ2を透過して、光ファイバ2の他端から応答光として出射される。第一応答光（光ファイバ2を透過した光）は、第三合波器42aに与えられる。

【0080】

しかも、入射光は、光ファイバ2により反射され、光ファイバ2の一端に戻り、光ファイバ2の一端から第二応答光（光ファイバ2により反射された光）として出射される。第二応答光は、結合器41aを介して、第四合波器42bに与えられる。 40

【0081】

光周波数変換器25は、波長固定光の光周波数 f_2 を差分周波数 f_{IF} だけ変換させて出力する。光周波数変換器25の出力する光（光周波数 $f_2 + f_{IF}$ ）は、第二合波器26に与えられる。

【0082】

第二合波器26は、波長可変光および光周波数変換器25の出力する光を合波する。第二テラヘルツ光発生器（第二光出力手段）28は、第二合波器26の出力を受けて、波長可変光の光周波数 f_1 と、光周波数変換器25の出力する光の光周波数 $f_2 + f_{IF}$ との差の光周波数 $f_1 - f_2 - f_{IF}$ を有する参照光を出力する。参照光は、分波器41bに与えられる。 50

分波器 4 1 b は、参照光を分けて、第三合波器 4 2 a および第四合波器 4 2 b に与える。

【0083】

第三合波器 4 2 a は、第一応答光および参照光を合波してテラヘルツ光検出器 4 4 a に与える。テラヘルツ光検出器 4 4 a は、第三合波器 4 2 a の出力を受け、第一応答光の光周波数 $f_1 - f_2$ と、参照光の光周波数 $f_1 - f_2 - f_{IF}$ との差の周波数 f_{IF} (すなわち、差分周波数 f_{IF}) を有する光検出信号を出力する。

【0084】

第四合波器 4 2 b は、第二応答光および参照光を合波してテラヘルツ光検出器 4 4 b に与える。テラヘルツ光検出器 4 4 b は、第四合波器 4 2 b の出力を受け、第二応答光の光周波数 $f_1 - f_2$ と、参照光の光周波数 $f_1 - f_2 - f_{IF}$ との差の周波数 f_{IF} (すなわち、差分周波数 f_{IF}) を有する光検出信号を出力する。

10

【0085】

ネットワークアナライザ 5 0 は、光検出信号および差分周波数信号を受け、光ファイバ 2 の特性を測定する。具体的には、振幅・位相比較器 5 2 が、光検出信号の振幅 (位相) および差分周波数信号の振幅 (位相) を比較する。その比較結果に基づき、データ処理部 5 4 がデータ処理を行い、入射光の光周波数が f_{low} から f_{high} までの範囲内における光ファイバ 2 の振幅特性および位相特性を測定する。

【0086】

第三の実施形態によれば、第一の実施形態と同様な効果を奏する。しかも、第三の実施形態によれば、光ファイバ 2 を透過した透過光 (第一応答光) および光ファイバ 2 による反射光 (第二応答光) に基づき、光ファイバ 2 の伝達特性を測定できる。

20

【0087】

第四の実施形態

第四の実施形態は、ネットワークアナライザ 5 0 に差分周波数信号を与えるかわりに、入射光および参照光を合波した光をテラヘルツ光検出器 4 4 c によりヘテロダイン検波した基準信号を与える点が第一の実施形態と異なる。

【0088】

図 4 は、第四の実施形態にかかる測定装置 1 の構成を示す機能ブロック図である。第四の実施形態にかかる測定装置 1 は、波長可変光源 1 2 、分波器 1 4 、第一合波器 1 6 、第一テラヘルツ光発生器 (第一光出力手段) 1 8 、波長固定光源 2 2 、分波器 2 4 、光周波数変換器 2 5 、第二合波器 2 6 、第二テラヘルツ光発生器 (第二光出力手段) 2 8 、差分周波数信号源 3 0 、第三合波器 4 2 、テラヘルツ光検出器 (光検出信号出力手段) 4 4 、テラヘルツ光検出器 (基準信号出力手段) 4 4 c 、分波器 4 6 a 、分波器 4 6 b 、基準合波器 4 6 c 、ネットワークアナライザ (特性測定手段) 5 0 を備える。以下、第一の実施形態と同様な部分は同一の番号を付して説明を省略する。

30

【0089】

分波器 4 6 a は、第一テラヘルツ光発生器 1 8 から入射光を受け、入射光を分けて、光ファイバ 2 および基準合波器 4 6 c に出力する。

【0090】

分波器 4 6 b は、第二テラヘルツ光発生器 2 8 の出力する参照光を分けて、第三合波器 4 2 および基準合波器 4 6 c に与える。

40

【0091】

なお、第三合波器 4 2 は、応答光および参照光を合波してテラヘルツ光検出器 4 4 に与えることは第一の実施形態と同様である。ただし、参照光を、分波器 4 6 b を介して、第二テラヘルツ光発生器 2 8 から受ける。

【0092】

基準合波器 4 6 c は、分波器 4 6 a から入射光を受ける。さらに、基準合波器 4 6 c は、分波器 4 6 b から参照光を受ける。そして、基準合波器 4 6 c は、入射光および参照光を合波してテラヘルツ光検出器 4 4 c に与える。

【0093】

50

テラヘルツ光検出器（基準信号出力手段）44cは、基準合波器46cの出力を受け、入射光の光周波数 $f_1 - f_2$ と、参照光の光周波数 $f_1 - f_2 - f_{1F}$ との差の周波数 f_{1F} （すなわち、差分周波数 f_{1F} ）を有する基準信号を出力する。

【0094】

ネットワークアナライザ（特性測定手段）50は、光検出信号をテラヘルツ光検出器44から受け、さらに基準信号をテラヘルツ光検出器44cから受けて、光ファイバ2の特性を測定する。ネットワークアナライザ50は、振幅・位相比較器52、データ処理部54を有する。振幅・位相比較器52は、光検出信号の振幅（位相）および基準信号の振幅（位相）を比較する。データ処理部54は、振幅・位相比較器52の結果に基づき、光ファイバ2の伝達特性を導出する。

10

【0095】

なお、分波器46a、分波器46b、基準合波器46c、テラヘルツ光検出器44c、ネットワークアナライザ50以外は、第一の実施形態と同様であるため説明を省略する。

【0096】

次に、第四の実施形態の動作を説明する。

【0097】

まず、波長可変光源12が波長可変光（光周波数 f_1 ）を、波長固定光源22が波長固定光（光周波数 f_2 ）を生成する。ただし、光周波数 f_1 は、 $f_{2+} - f_{low}$ から $f_{2+} - f_{high}$ まで変化する。

20

【0098】

そして、分波器14が、波長可変光源12から波長可変光を受け、波長可変光を分けて、第一合波器16および第二合波器26に出力する。また、分波器24が、波長固定光源22から波長固定光を受け、波長固定光を分けて、第一合波器16および光周波数変換器25に出力する。なお、光周波数変換器25には、差分周波数信号源30から差分周波数 f_{1F} を有する差分周波数信号も与えられる。

【0099】

第一合波器16が、波長可変光および波長固定光を合波する。第一テラヘルツ光発生器18が、第一合波器16の出力を受けて、波長可変光の光周波数 f_1 と波長固定光の光周波数 f_2 との差の光周波数 $f_1 - f_2$ を有する入射光を出力する。

30

【0100】

入射光は、分波器46aにより分けられて、光ファイバ2および基準合波器46cに与えられる。光ファイバ2に与えられた入射光は、光ファイバ2を透過し、光ファイバ2の他端から応答光として出射される。応答光は、第三合波器42に与えられる。

【0101】

光周波数変換器25は、波長固定光の光周波数 f_2 を差分周波数 f_{1F} だけ変換させて出力する。光周波数変換器25の出力する光（光周波数 $f_2 + f_{1F}$ ）は、第二合波器26に与えられる。

【0102】

第二合波器26は、波長可変光および光周波数変換器25の出力する光を合波する。第二テラヘルツ光発生器（第二光出力手段）28は、第二合波器26の出力を受けて、波長可変光の光周波数 f_1 と、光周波数変換器25の出力する光の光周波数 $f_2 + f_{1F}$ との差の光周波数 $f_1 - f_2 - f_{1F}$ を有する参照光を出力する。

40

【0103】

参照光は、分波器46bにより分けられて、第三合波器42および基準合波器46cに与えられる。

【0104】

第三合波器42は、応答光および参照光を合波してテラヘルツ光検出器44に与える。テラヘルツ光検出器44は、第三合波器42の出力を受け、応答光の光周波数 $f_1 - f_2$ と、参照光の光周波数 $f_1 - f_2 - f_{1F}$ との差の周波数 f_{1F} （すなわち、差分周波数 f_{1F} ）を有する光検出信号を出力する。

50

【0105】

基準合波器 46c は、入射光および参照光を合波してテラヘルツ光検出器 44c に与える。テラヘルツ光検出器 44c は、基準合波器 46c の出力を受け、入射光の光周波数 $f_1 - f_2$ と、参照光の光周波数 $f_1 - f_2 - f_{IF}$ との差の周波数 f_{IF} (すなわち、差分周波数 f_{IF}) を有する基準信号を出力する。

【0106】

ネットワークアナライザ 50 は、光検出信号をテラヘルツ光検出器 44 から受け、さらに基準信号をテラヘルツ光検出器 44c から受けて、光ファイバ 2 の特性を測定する。具体的には、振幅・位相比較器 52 が、光検出信号の振幅(位相)および基準信号の振幅(位相)を比較する。その比較結果に基づき、データ処理部 54 がデータ処理を行い、入射光の光周波数が f_{low} から f_{high} までの範囲内における光ファイバ 2 の振幅特性および位相特性を測定する。

10

【0107】

第四の実施形態によれば、第一の実施形態と同様な効果を奏する。しかも、第四の実施形態によれば、ネットワークアナライザ 50 に差分周波数信号を与えるかわりに、入射光および参照光を合波した光をテラヘルツ光検出器 44c によりヘテロダイン検波した基準信号を与える。このため、光ファイバ 2 の伝達特性の不安定性を解消することができる。

【0108】

なお、第四の実施形態においては、光ファイバ(被測定物) 2 を透過した光を応答光として、光ファイバ 2 の特性を測定している。しかし、第二の実施形態のように、光ファイバ 2 により反射された光を応答光としてもよい。また、第三実施の形態のように、光ファイバ 2 を透過した光および光ファイバ 2 により反射された光を応答光としてもよい。

20

【0109】

また、上記の実施形態において、C P U、ハードディスク、メディア(フロッピー(登録商標)ディスク、C D - R O Mなど)読み取り装置を備えたコンピュータに、上記の各部分(例えば、振幅・位相比較器 52 およびデータ処理部 54)を実現するプログラムを記録したメディアを読み取らせて、ハードディスクにインストールする。このような方法でも、上記の実施形態を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【0110】

30

【図 1】第一の実施形態にかかる測定装置 1 の構成を示す機能ブロック図である。

【図 2】第二の実施形態にかかる測定装置 1 の構成を示す機能ブロック図である。

【図 3】第三の実施形態にかかる測定装置 1 の構成を示す機能ブロック図である。

【図 4】第四の実施形態にかかる測定装置 1 の構成を示す機能ブロック図である。

【符号の説明】

【0111】

- 1 測定装置
- 2 光ファイバ(被測定物)
- 1 2 波長可変光源
- 1 4 分波器
- 1 6 第一合波器
- 1 8 第一テラヘルツ光発生器(第一光出力手段)
- 2 2 波長固定光源
- 2 4 分波器
- 2 5 光周波数変換器
- 2 6 第二合波器
- 2 8 第二テラヘルツ光発生器(第二光出力手段)
- 3 0 差分周波数信号源
- 4 1 結合器
- 4 1 a 結合器

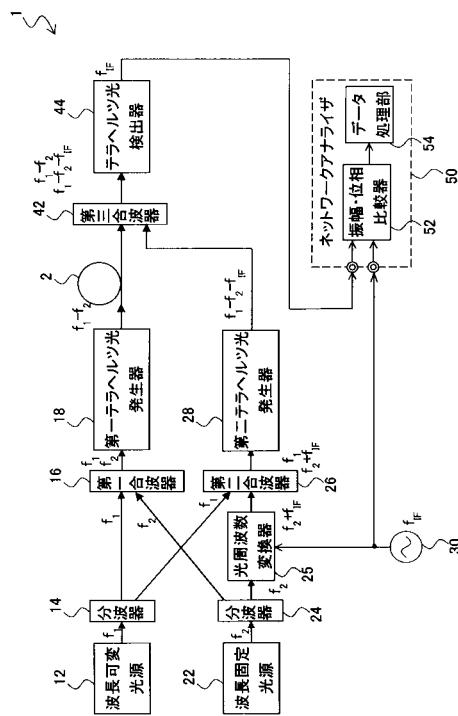
40

50

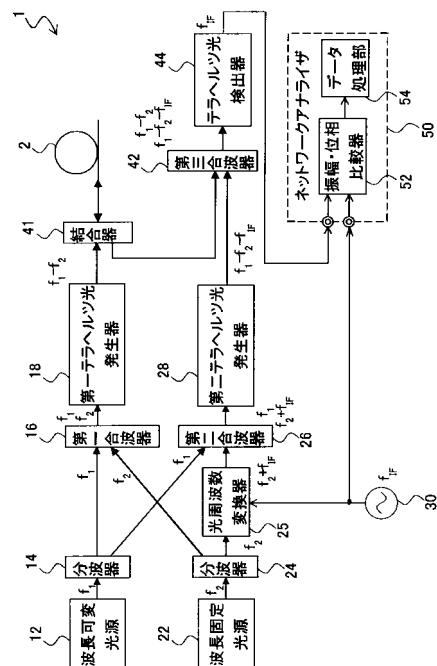
- 4 1 b 分波器
 4 2 第三合波器
 4 2 a 第三合波器
 4 2 b 第四合波器
 4 4 テラヘルツ光検出器（光検出信号出力手段）
 4 4 a テラヘルツ光検出器（光検出信号出力手段）
 4 4 b テラヘルツ光検出器（光検出信号出力手段）
 4 4 c テラヘルツ光検出器（基準信号出力手段）
 4 6 a 分波器
 4 6 b 分波器
 4 6 c 基準合波器
 5 0 ネットワークアナライザ（特性測定手段）
 5 2 振幅・位相比較器
 5 4 データ処理部

10

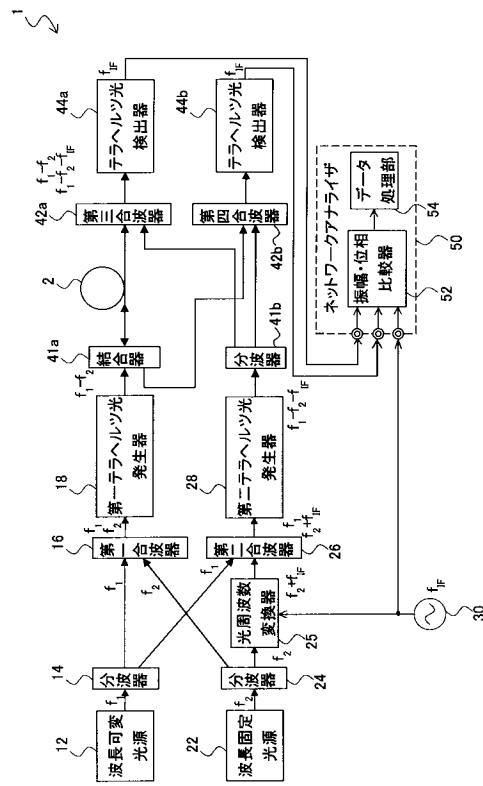
【図1】



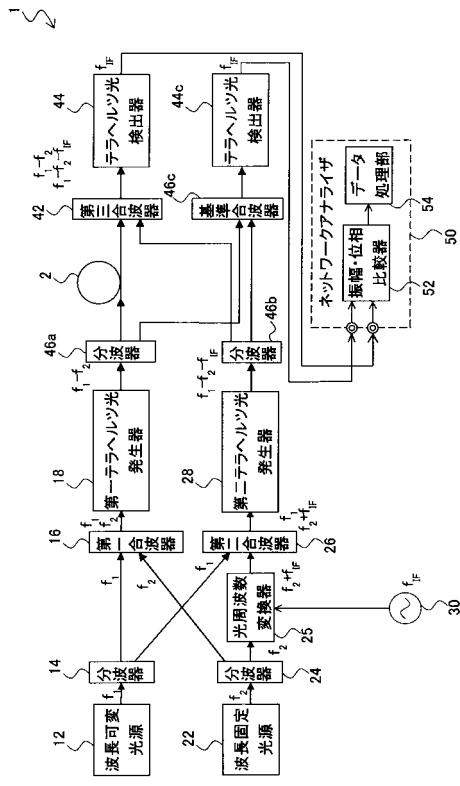
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第02/082038 (WO, A1)
国際公開第03/005002 (WO, A1)
特開2004-317573 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N21/00 - 21/61
G01M11/02