

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005年2月17日 (17.02.2005)

PCT

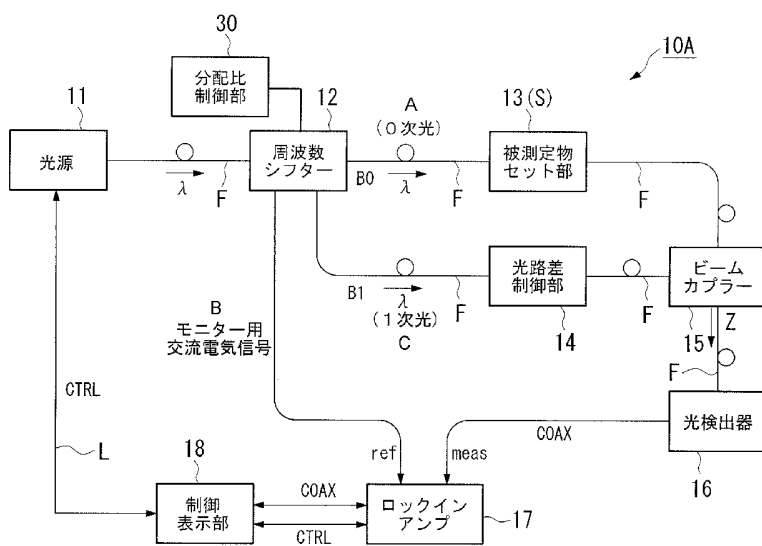
(10) 国際公開番号
WO 2005/015149 A1

- (51) 国際特許分類: G01M 11/02
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/011367
- (22) 国際出願日: 2004年8月6日 (06.08.2004)
- (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2003-292656 2003年8月12日 (12.08.2003) JP
特願2003-415294 2003年12月12日 (12.12.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社物産ナノテク研究所 (BUSSAN NANOTECH RESEARCH INSTITUTE, INC.) [JP/JP]; 〒1000004 東京都千代田区大手町一丁目2番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 小川 憲介 (OGAWA, Kensuke) [JP/JP]; 〒1000004 東京都千代田区大手町一丁目2番1号 株式会社物産ナノテク研究所内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 大場 充 (OBA, Mitsuru); 〒1010032 東京都千代田区岩本町1丁目4番3号 KMビル8階 大場国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,

[続葉有]

(54) Title: DETECTION DEVICE, OPTICAL PATH LENGTH MEASUREMENT DEVICE, MEASUREMENT INSTRUMENT, OPTICAL MEMBER EVALUATION METHOD, AND TEMPERATURE CHANGE DETECTION METHOD

(54) 発明の名称: 検出装置、光路長測定装置、測定用器具、光学部材評価方法、温度変化検出方法



- 11...LIGHT SOURCE
- 30...DISTRIBUTION RATIO CONTROL SECTION
- 12...FREQUENCY SHIFTER
- A...(0-DEGREE LIGHT)
- 13(S)...OBJECT-TO-BE-MEASURED SETTING SECTION
- B...AC ELECTRIC SIGNAL FOR MONITOR
- C...(1-DEGREE LIGHT)
- 14...OPTICAL PATH DIFFERENCE CONTROL SECTION
- 15...BEAM COUPLER
- 16...PHOTO-DETECTOR
- 18...CONTROL DISPLAY SECTION
- 17...LOCK IN AMPLIFIER

(57) Abstract: There are provided a detection device, an optical path length measurement device, and an optical member evaluation method capable of rapidly evaluating the optical characteristics such as wavelength dispersion and optical path length. Moreover, there are provided a detection device and a temperature change detection method capable of accurately evaluating chemical/biological reaction and thermal effect. In the detection device (10A), zero-degree light B0 subjected to the wavelength dispersion of an object S to be measured and a primary light B1 whose frequency is shifted are superimposed, thereby generating a low-frequency beat so that the wavelength dependency of the beat phase is measured. Furthermore, by using an AC electric signal from a frequency shifter (12) as a phase reference signal, a relative phase of the measurement signal is detected. Moreover, it is also possible to subject measurement light and reference light having different wavelengths respectively to frequency shifting, so that the beat phase of the measurement light is relatively obtained according to the beat phase of the reference light as a reference.

[続葉有]

WO 2005/015149 A1



SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,
TD, TG).

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,

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。

(57) 要約: 波長分散や光路長等の光学特性を高速に評価することのできる検出装置、光路長測定装置、光学部材評価方法等を提供することを目的とする。また、他の目的は、化学・生体反応および温熱効果を高精度に評価できる検出装置、温度変化検出方法を提供することにある。検出装置10Aでは、被測定物Sの波長分散を受けたゼロ次光B0と、周波数をシフトさせた一次光B1とを重ね合わせ、これによって低周波のビートを発生させ、そのビート位相の波長依存性を測定するようにした。さらに、周波数シフター12からの交流電気信号を位相基準信号とし、測定信号の相対的な位相を検出するようにした。また、互いに波長が異なる測定光と参照光をそれぞれ周波数シフトさせ、測定光のビート位相を、参照光のビート位相を基準として相対的に求めるようにすることも有効である。

明 細 書

検出装置、光路長測定装置、測定用器具、光学部材評価方法、温度変化検出方法

技術分野

[0001] 本発明は、光素子や光学部材の評価、化学反応、生体反応、および温熱交換に伴う発熱等の検知・評価を行うのに好適な検出装置、光学部材評価方法、温度変化検出方法等に関する。

背景技術

[0002] 近年普及しつつある光ファイバ通信に用いられる光ファイバや各種デバイス、フォトニック結晶等、各種の光素子や光部品(以下、これらを光学部材と総称する)を評価したり検査したりするには、光学部材における波長分散を計測する。

[0003] 波長分散を評価するには、従来、以下に示すような複数の手法がある。まず、時間軸干渉計を用いる方法がある。この方法では、時間軸干渉計を用い時間軸上での干渉波形を測定し、その干渉波形のフーリエ変換を行うことにより、被測定物の透過あるいは反射スペクトルの強度および位相を求め、波長分散を得る(非特許文献1参照。)。これには、時間軸上での干渉波形を得るために、干渉計の片方の経路に設置した光学遅延ステージを光路に対して前後に掃引し、その掃引から得られた遅延時間の関数として干渉計から出射される光の強度を測定する。

[0004] 波長分散を評価する他の方法として、スペクトル干渉計を用いてスペクトル軸上で干渉波形を測定する方法が実施されている(非特許文献2参照。)。この方法では、干渉計から出射された光を回折格子あるいは分光器を通してスペクトル分解し、波長あるいは周波数の関数として干渉縞を測定し、スペクトル位相の波長(もしくは周波数)依存性から波長分散を求める。

[0005] また、他の方法として、位相変調された光を用い、光ファイバ伝搬に伴う位相シフトをネットワークアナライザ等の電子計測器で直接計測し、波長分散を測定する方法がある(特許文献1参照。)。この他、モード同期パルス光源を用いた波長分散測定方法もある(特許文献2参照。)。この方法では、ある特定の縦モードに着目し、その縦モ

ードの位相遅延を測定することにより、波長分散を求めている。

[0006] ところで、化学反応、生体反応、および温熱交換等を検知するため、これらの反応・温熱交換に伴う発熱を検知することがある。これには従来、温度変化を直接検出する熱電対の他、温度変化に伴う屈折率の変化を検出するものもある。温度に伴う屈折率変化を評価する方法として、熱レンズ効果を利用した方法がある(非特許文献3。)。この方法では、モニター光をサンプル中に集光して入射し、温度変化による集光度変化を強度変化として検出する。

[0007] 非特許文献1:長沼和則、レーザー研究、第23巻、第11号、1995年、社団法人レーザー学会、55-66ページ

非特許文献2:A. P. Kovacs et al. "Group-delay measurement on laser mirrors by spectrally resolved white-light interferometry" Optics Letters 1995年4月 Vol. 20, No. 7, pp. 788-790

特許文献1:特許第3278129号公報

特許文献2:特開平7-248276号公報

非特許文献3:M. Terazima et al. "Photothermal investigation of the triplet state of carbon molecule (C60)" Journal of Physical Chemistry 1991年 Vol. 95, pp. 9080-9085

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0008] 上述したような光ファイバ通信が高速化するにつれて、波長分散の及ぼす影響はますます大きくなりつつあり、波長分散は、超高速光ファイバ通信を実現するにあたり、重要な評価項目となっている。一般に光素子や光部品の温度は時々刻々と変化しており、波長分散もその温度変化と呼応して時々刻々と変化している。従来の時間軸干渉計やスペクトル干渉計を用いる方法であると、光強度の振動を時間もしくは波長の関数として測定し、その測定で得られる干渉縞から位相を算出することが必要になり、データ処理のための時間が余計にかかることになる。このため、従来の手法では、時々刻々変化する波長分散を高速で評価するのが困難であった。また、評価結果は、直感的に認識できる状態ではない、という問題もある。さらに、時間軸干渉計

を用いた波長分散評価装置では、干渉縞を測定するために光学遅延ステージを駆動させることが必要になる。分散が大きい場合、広い時間領域で遅延ステージを駆動する必要があり、掃引に時間がかかってしまい、高速の測定は困難である。また、時間軸上の干渉波形をフーリエ変換して位相を求める必要が生じ、データの解析にも時間を要してしまう。高速の測定が困難であるという点では、スペクトル干渉計でも同様である。

- [0009] 位相変調された光を用い、それを電子計測器で直接測定する波長分散測定法、およびモード同期光源を用いる方法では、長さ1km以上といった長距離の光ファイバの波長分散の評価は可能であるが、長さ1cmにも満たない光素子などの波長分散を高精度で測定するには適していない。
- [0010] 近年は、光ファイバの普及に伴い、伝送効率の高い波長多重伝送等の技術が開発されており、波長分散だけでなく、光ファイバや各種光デバイスにおける光路長等、様々な光学特性を高精度に計測できる技術が要求されている。さらに、波長多重伝送等では、波長により分割されたチャンネルを多く扱うため、多数の光導波路を同一チップ上に集積した素子を開発することが必要となっている。これに対応するべく、フォトニック結晶導波路等の微小光回路を用いたデバイス技術が検討されている。微小光回路では、外部ファイバとの入出力、および光回路自体での光伝搬等に伴う損失が増大する可能性があり、その損失を低減することが技術開発の課題となる。よって、微小光回路の開発段階では、光損失の大きな素子を測定評価することが要求される。
- [0011] 一方、化学反応、生体反応、および温熱効果等に伴う発熱を検知するための熱レンズ効果を利用した屈折率測定では、サンプルに光を集光して入射しなければならない。そのため、モニター用の光による発熱が無視できなくなり、化学・生体反応および温熱効果を正しく評価することが困難である。
- [0012] 本発明は、このような技術的課題に基づいてなされたもので、波長分散や光路長等の光学特性を高速に評価することのできる検出装置、光路長測定装置、光学部材評価方法等を提供することを目的とする。また、他の目的は、化学・生体反応および温熱効果を高精度に評価できる検出装置、温度変化検出方法を提供することにある。

。

課題を解決するための手段

- [0013] かかる目的のもと、本発明では、基本的に、位相の波長(もしくは周波数)依存性から波長分散を求めるため、位相の直接測定を行うには、ビート(喰り)を発生させる干渉計を構築する。また、高速で位相変化をモニターするには、位相ゆらぎを除去し、位相検出精度を高めることも必要である。このため、二波長光源を用いて、一方の波長で生じるビート信号を位相基準用の基準信号とし、他方の波長で生じるビート信号を位相測定用の測定信号とすることもできる。この場合、干渉計を通した後、基準光と測定光を波長の違いにより分離し、参照光に対するプローブ光の相対位相変化として波長分散を求める。
- [0014] このような観点からなされた本発明の検出装置は、光源から、第一の波長を有する測定光と、第一の波長とは異なる第二の波長を有する参照光を出射する。そして、交流電気信号源によって駆動される周波数シフターにて、測定光、参照光を、第一の測定光と第二の測定光、第一の参照光と第二の参照光に分岐させ、第一の測定光および第一の参照光、または第二の測定光および第二の参照光の周波数をシフトさせる。さらに、照射部にて、第一の測定光および第一の参照光を被測定物に照射した後、重畳部にて、これら第一の測定光および第一の参照光を、被測定物に照射していない第二の測定光および第二の参照光に重畳する。すると、第一の測定光と第二の測定光が重畳することで測定光にビートが生じる。同様に、第一の参照光と第二の参照光の間にも参照光のビートが生ずる。周波数シフト量は、周波数シフターと駆動する交流電気信号源からの交流電気信号のゼロでない整数倍である。一次光を用いると、その整数値は1である。周波数シフト量が測定光、参照光のそれぞれに生ずるビートの周波数に等しい。測定光のビートの位相には、被測定物に照射したことに伴う位相シフトが含まれる。交流電気信号源として、例えば30〜200MHz、より具体例を挙げれば100MHz程度のラジオ周波(RF)帯のものを使用すると、発生するビートもRF帯にある。このようなビートは、元々の測定光、参照光に較べれば大幅に低周波であり、ロックインアンプ等の電子計測器を用いて検出できる。ここで、交流電気信号の周波数は、第二の光を発生する効率が高くなるように選ぶ。音響光学結晶

を用いた周波数シフターでは、通常10～200MHz程度の領域にある。また、分配比制御部にて、周波数シフターに印加する交流電気信号のパワーを調整し、周波数シフターで周波数をシフトさせる第一の測定光と第一の参照光の分配比、および第二の測定光と第二の参照光の分配比を制御するのは、被測定物による光損失によるビート信号の強度低下を防止し、ノイズの増加を回避する点において、有効である。

[0015] そして、位相検出部で検出したビートの位相に基づき、被測定物の波長分散を計測する波長分散計測部をさらに備えることもできる。このような波長分散計測部は、検出装置と一体としてもよいが、PC (Personal Computer) 等によって波長分散計測部が構成される場合、検出装置とは別体とすることもできる。このようにして、測定光のビートの位相を、測定光の周波数または波長の関数として位相検出部で検出することで、被測定物による波長分散を得ることができる。このときに、重畳部で第一の参照光と第二の参照光が重畳することで生じる参照光のビートを基準として相対的に検出するので、外部からの振動等の影響による位相ゆらぎを排除することができる。

[0016] また、位相検出部で検出したビートの位相の変化に基づき、被測定物の温度変化を検出することもできる。この場合も、ビートの位相の変化に基づき、被測定物の温度変化を検出する部分は、検出装置と一体としてもよいが、PC等によってこの部分を構成される場合、検出装置とは別体とすることもできる。

[0017] なお、光源は、第一の波長を有する測定光と、第一の波長とは異なる第二の波長を有する参照光を出射するのであれば、一つの光源から二波長の光を出射する、いわゆる二波長光源を用いることもできるし、測定光を出射する光源と、参照光を出射する光源と別体に備えることもできる。また、位相検出部としては、測定光の光強度の変化を電気信号の変化に変換する第一の光検出器と、参照光の光強度の変化を電気信号の変化に変換する第二の光検出器と、第二の光検出器から出力された電気信号に基づき、第一の光検出器から出力された電気信号の位相の相対変動を検出するロックインアンプとを備えた構成が採用できる。なお、第一の光検出器から出力された電気信号の振幅の絶対値も、ロックインアンプにより検出できる。この絶対値により、被測定物の透過もしくは反射スペクトルを測定することもできる。

[0018] 上記のように、第一の波長の測定光、第二の波長の参照光を用いる場合、位相検出

部では、測定光と参照光を波長に応じて分岐させておく必要がある。このため、上記第一の測定光と第二の測定光が重畳することで生じるビートと、第一の参照光と第二の参照光が重畳することで生じるビートとを、測定光と参照光の波長の相違により分離するための波長選択部を、位相検出部の前段に備えるのが好ましい。

[0019] このような波長選択部としては、以下に示すようなものが考えられる。まず、第一の波長を有した光を透過する第一のフィルタと、第二の波長を有した光を透過する第二のフィルタと、を有した波長選択部を用いることができる。これにより、第一の波長の測定光と第二の波長の参照光を分岐させることができる。また、第一の波長を有した光を透過し、第二の波長を有した光を反射するフィルタを有する波長選択部を用いることでも、第一の波長の測定光と第二の波長の参照光を分岐させることができる。このような構成は、光ファイバで各構成を接続することで実現できる。

[0020] さらに、波長選択部を、光学素子を用いた自由空間系とするのであれば、重畳部で重畳した第一の測定光および第一の参照光と、第二の測定光および第二の参照光を、波長に応じた所定の角度で回折させる回折格子を有する波長選択部を用いることもできる。この場合、回折格子で回折した第一の測定光と第二の測定光の重畳光と、第一の参照光と第二の参照光の重畳光とを平行ビームにする第一のレンズと、第一のレンズを通過した第一の参照光と第二の参照光の重畳光を取り出す第一の光学素子と、第一のレンズと平行に設けられ、第一のレンズを通過した第一の測定光と第二の測定光の重畳光を屈折させる第二のレンズと、第二のレンズで屈折した第一の測定光と第二の測定光の重畳光を、波長に応じた所定の角度で回折させる第二の回折格子と、第二の回折格子で回折した第一の測定光と第二の測定光の重畳光を取り出す第二の光学素子と、をさらに有することで、波長選択部を構成することもできる。このような構成を有した波長選択部の光学系では、測定光の波長を可変とした場合に、測定光の波長が変わるに伴って回折格子での回折角が変わっても、第二の回折格子からの出射角と出射位置を一定とすることができ、測定光を容易に取り出すことができる。

[0021] また、位相検出部は、第一の測定光と第二の測定光の重畳光のエネルギーを電気信号に変換して出力する第一の光電素子と、第一の参照光と第二の参照光の重畳

光のエネルギーを電気信号に変換して出力する第二の光電素子と、を備え、第一の光電素子から出力される電気信号と第二の光電素子から出力される電気信号に基づき、位相を検出することができる。ここで、第一の光電素子および第二の光電素子としては、フォトダイオードを用いることができる。そして、少なくとも第二の光電素子を構成するフォトダイオードを交流対応型とすれば、参照光側の直流成分を除去することができ、精度の高い参照光を基準とした測定が行える。

[0022] ところで、被測定物が特定の波長領域の光のみを反射するものであり、第一の測定光の波長が波長領域内で、かつ第一の参照光の波長が波長領域外に設定されているとき、第一の参照光が被測定物で反射しないため、測定を行うことができない。そこで、照射部では、第一の測定光および第一の参照光の被測定物に対する照射方向において、被測定物の前段または後段に、第一の参照光を反射する反射物を備えるのが好ましい。このような反射物は、第一の参照光の波長を含み、かつ被測定物とは異なる波長領域の光のみを反射するものであるのが好ましい。

[0023] さて、上記したような波長分散を求めるためのデバイスにおいては、正確な測定を行うためにデバイス内における光ファイバ伝搬路の光路長に高い精度が必要となる。従来、光ファイバの長さを測定する場合、物理的な長さを測ったのでは、温度変化による光ファイバ自体の伸縮による誤差、さらに光ファイバの屈折率に関する変動および誤差が含まれるため、正確な測長を行うのには好ましくない。これに対し、本発明の検出装置では、位相検出部で検出した、第一の測定光と第二の測定光が重畳することで生じるビートの位相の変化に基づき、被測定物の光路長を測定することもできる。

このような検出装置により、上記用途に限らず、様々な用途の光伝搬路の光路長を計測することが可能となる。

[0024] ところで、上記では二波長光源を用い、一方の波長で生じるビート信号を位相基準用の基準光とし、他方の波長で生じるビート信号を位相測定用の測定光とし、基準光に対する測定光の位相変化を相対的に捉え、波長分散を求める構成としたが、これに代えて、単一の波長の光でビートを発生させ、これに基づいて波長分散を捉えることもできる。この場合、単一モード波長光源からの光を、周波数シフターを通してゼロ次光と一次光とに分離する。ゼロ次光は被測定物を通し、一次光は通さずに、両者

を重ね合わせてビートを発生させ、その位相を周波数シフターに供給する交流電気信号の位相を基準として波長の関数として測定し、波長分散を得る。

[0025] このような観点からなされた本発明の検出装置は、光供給部にて、所定波長および所定周波数を有する第一の光と、第一の光とは周波数がシフトした第二の光とを供給する。そして、照射部にて、第一の光および第二の光の一方を被測定物に照射する。照射部にて被測定物に照射された第一の光および第二の光の一方と、被測定物に照射されていない第一の光および第二の光の他方と、を重畳部にて重畳する。すると、第一の光と第二の光が重畳することでビートが生じるので、第一の光と第二の光に対して光周波数の差を発生させてビートの発生源となる交流電気信号の位相を基準として、ビートの位相を位相検出部で検出する。また、光供給部は、単一周波数で光を発振する光源と、光源から発振された光の一部を分岐させ、分岐させた光の一部を音響光学結晶に入力することでその周波数をシフトさせる周波数シフターと、を備え、位相検出部は、前記した光の一部の周波数をシフトさせるために音響光学結晶に入力した交流電気信号を用い、重畳部で第一の光と第二の光が重畳することで生じるビートの位相を検出することもできる。このように、前記した光の一部の周波数をシフトさせるための交流電気信号を用い、この交流電気信号と同じ周波数で位相が安定した電気信号を基準とすることで、発生したビートの位相を検出できるのである。ところで、分配比制御部にて、周波数シフターに印加する交流電気信号のパワーを調整し、周波数シフターで周波数をシフトさせる第一の光と第二の光の分配比を制御するのは、被測定物による光損失によるビート信号の強度低下を防止し、ノイズの増加を回避する点において、有効である。

[0026] このような検出装置においても、位相検出部で検出したビートの位相に基づき、被測定物の波長分散を計測する波長分散計測部をさらに備えることもできる。また、位相検出部で検出したビートの位相の変化に基づき、被測定物の温度変化を検出することもできる。ところで、温度変化を検出する場合、第一の測定光の波長または周波数の関数として位相を測定することにより検出対象の屈折率を求め、さらに、屈折率の温度依存性を測定することにより、被測定物の温度変化を評価することもできる。さらに、このような一波長系の検出装置においても、位相検出部で検出した、第一

の光と第二の光が重畳することで生じるビートの位相の変化に基づき、被測定物の光路長を測定することが可能である。

[0027] 上記したような検出装置は、被測定物を光学部材とすることで、各種の光学部材の評価・検査等に用いることができる。また、被測定物を化学薬品・生体材料・細胞とすれば、化学反応・生体反応・生体の構造変化による発熱または細胞に電磁波を照射して生ずる発熱を、屈折率の温度変化として評価することもできる。これには、被測定物に、化学薬品を投入したガラスセルや細胞を混入した水溶液を用い、化学薬品の混合により生ずる発熱や電磁波照射に伴う細胞の温度上昇を測定する。これにより、化学反応・生体反応等の検出を行ったり、ガン細胞への温熱効果を評価することが可能となる。そして、このような構成の検出装置では、光を平行ビームとして被測定物に入射させることができるため、光照射による温度上昇は無視できる。さらに、高速の屈折率変化の捕捉が可能であるため、反応過程や温熱過程をリアルタイムでモニターすることができる。

[0028] ところで、上記したような一波長系、二波長系の検出装置において、各構成要素間は、ミラー等の光学素子によって光を伝搬する自由光学系とすることもできるし、光ファイバによって光を伝搬する系とすることもできる。光ファイバを用いる場合、偏波保存光ファイバを用いるのが好ましい。また、測定光および参照光、特に測定光を発する光源は、周波数もしくは波長を可変とするのが好ましい。これにより、被測定物に応じ、最適な周波数もしくは波長に設定することができる。

[0029] 本発明の検出装置は、第一の波長を有する測定光と第一の波長とは異なる第二の波長を有する参照光を出射する光源と、光源から出射された光を、第一の周波数の光と第二の周波数の光に分岐させる周波数シフターと、周波数シフターで分岐された第一の周波数の光を被測定物に照射する照射部と、照射部を経た第一の周波数の光と、第二の周波数の光を重畳させるフォトカプラと、フォトカプラを経た光を第一の波長の光と第二の波長の光に分岐させるフィルタと、フィルタで分岐された第一の波長の光に応じた電気信号を出力する第一のフォトダイオードと、フィルタで分岐された第二の波長の光に応じた電気信号を出力する第二のフォトダイオードと、第一のフォトダイオードから出力された電気信号の変化を、第二のフォトダイオードから出力

された電気信号を基準として測定するロックインアンプと、を備えることを特徴とすることもできる。ここで、第二のフォトダイオードは、直流成分を除去できる交流対応型とするのが、精度・安定性の面で好ましい。また、ロックインアンプから出力される電気信号に基づき、測定結果を視角情報として出力する結果出力部をさらに備えることもでき、この結果出力部としては、電気信号をX-Yモードで表示できるオシロスコープを備えることができる。

[0030] 本発明は、第一の波長を有する測定光と第一の波長とは異なる第二の波長を有する参照光を出射する光源と、測定光を第一の測定光と第二の測定光に、参照光を第一の参照光と第二の参照光に分岐させ、第一の測定光および第一の参照光、または第二の測定光および第二の参照光の周波数をシフトさせる周波数シフターと、第一の測定光および第一の参照光を被測定物に照射する照射部と、照射部にて被測定物に照射された第一の測定光および第一の参照光を、第二の測定光および第二の参照光に重畳する重畳部と、重畳部で第一の測定光と第二の測定光が重畳することで生じるビートの位相を、重畳部で第一の参照光と第二の参照光が重畳することで生じるビートを基準として検出する位相検出部と、を備え、光源から出射する測定光の波長を掃引したとき、位相検出部にて、ビートの位相の変化を検出することで、被測定物の光路長を測定することを特徴とする光路長測定装置として捉えることもできる。

[0031] 本発明は、所定の波長を有する測定光と当該測定光とは異なる波長の参照光を被測定物に照射し、被測定物の光学特性を測定する測定装置にて用いられる測定用器具として捉えることもできる。この測定用器具は、被測定物が、測定光の波長を含み、かつ参照光の波長を含まない波長領域の光を反射するものであるときに用いることができ、測定光および参照光の被測定物に対する照射方向において、被測定物の前段または後段に設置され、参照光の波長を含み、かつ被測定物で反射する波長領域とは異なる波長領域の光を反射することを特徴とする。このような測定用器具は、被測定物の後段側に接続される光ファイバグレーティングによって構成することができる。

[0032] 本発明は、第一の周波数を有する第一の測定光と、第一の周波数とは異なる第二の

周波数を有する第一の参照光と、第一の周波数から所定量だけ周波数がシフトした第二の測定光と、第二の周波数から前記と同じ所定量だけ周波数がシフトした第二の参照光を発生させるステップと、第一の測定光および第一の参照光を光学部材に照射するステップと、光学部材に照射された第一の測定光および第一の参照光を、第二の測定光および第二の参照光に重畳するステップと、第一の測定光と第二の測定光が重畳することで生じるビートの位相を、第一の参照光と第二の参照光が重畳することで生じるビートを基準として検出するステップと、検出されたビートの位相に基づき、光学部材の光学特性を計測するステップと、を有することを特徴とする光学部材評価方法

として捉えることもできる。光学特性を測定するステップでは、光学部材の波長分散を測定することができる。また、第一の測定光および第二の測定光の波長を掃引したとき、ビートの位相の変化を検出することで、被測定物の光路長を測定することもできる。

ここで、第二の測定光および第二の参照光の、第一の測定光および第一の参照光に対する周波数のシフト量の絶対値は、第一の測定光と第一の参照光との周波数の差の絶対値より小さくするのが良い。例えば、そのシフト量の絶対値は、30～200MHzとすることができる。

[0033] また、本発明は、所定波長および所定周波数を有する第一の光、第一の光とは周波数が異なる第二の光の一方を光学部材に照射するステップと、光学部材に照射された第一の光および第二の光の一方と、第一の光および第二の光の他方とを重畳するステップと、第一の光と第二の光の周波数の差分に応じた交流電気信号に基づき、第一の光と第二の光が重畳することで生じるビートの位相を検出するステップと、検出された前記ビートの位相に基づき、被測定物の波長分散を計測するステップと、を含むことを特徴とする光学部材評価方法とすることもできる。

[0034] さらに、被測定物を化学薬品・生体材料・細胞とする場合、本発明は、所定波長および所定周波数を有する第一の光、第一の光とは周波数が異なる第二の光の一方を検出対象に照射するステップと、検出対象に照射された第一の光および第二の光の一方と、第一の光および第二の光の他方とを重畳するステップと、第一の光と第二の光が重畳することで生じるビートの位相を検出することで、検出対象の温度変化を検

出するステップと、を含むことを特徴とする温度変化検出方法とすることができる。

[0035] また、本発明は、第一の周波数を有する第一の測定光と、第一の周波数とは異なる第二の周波数を有する第一の参照光と、第一の周波数から所定量だけ周波数がシフトした第二の測定光と、第二の周波数から前記と同じ所定量だけ周波数がシフトした第二の参照光を発生させるステップと、第一の測定光および第一の参照光を光学部材に照射するステップと、光学部材に照射された第一の測定光および第一の参照光を、第二の測定光および第二の参照光に重畳するステップと、第一の測定光と第二の測定光が重畳することで生じるビートの位相を、第一の参照光と第二の参照光が重畳することで生じるビートを基準として検出するステップと、検出されたビートの位相に基づき、検出対象の温度変化を検出するステップと、を含むことを特徴とする温度変化検出方法とすることもできる。

[0036] このようにして、検出対象の温度変化を検出することで、検出対象の化学反応、生体反応を検出することができる。ところで、温度変化を検出する場合、第一の測定光の波長または周波数の関数として位相を測定することにより検出対象の屈折率を求め、さらに、屈折率の温度依存性を測定することにより、検出対象の温度変化を評価することもできる。

発明の効果

[0037] 本発明によれば、被測定物の波長分散を受けた光と、被測定物の波長分散を受けない光とで周波数をシフトさせることで、電子計測器等で測定可能な周波数帯でビートを発生させ、そのビート位相の波長依存性を測定するようにした。これにより、波長分散、光路長等の測定を高速で、しかも確実にを行うことが可能となる。そして、測定結果は、位相の波長依存性を示す情報で出力できるため、直感的な測定結果の認識が可能となる。また、二波長の光をそれぞれ周波数シフトさせて用いたり、周波数シフトさせるための信号を基準として用いることで、位相ゆらぎを排除して高精度な測定が行える。また、化学反応、生体反応、および温熱交換等に伴う発熱を検知するための屈折率測定を行うこともでき、化学・生体反応および温熱効果を正しく評価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

[0038] 以下、添付図面に示す実施の形態に基づいてこの発明を詳細に説明する。〔第一の実施の形態〕 図1に示すように、本実施の形態における一波長ビート位相検出系の検出装置10Aでは、波長分散測定用の測定光を、所定の交流電気信号を印加した音響光学(AO)結晶から構成される周波数シフター12に通す。すると、音響光学結晶で回折した一次光(第二の光)B1は交流電気信号の周波数分だけシフトする。透過したゼロ次光(第一の光)B0は元の周波数のままである。そして、ゼロ次光B0を、波長分散の被測定物(光学部材、検出対象)Sに透過させる。すると、ゼロ次光B0は、被測定物Sの波長分散による位相変化を受ける(周波数は不変)。この後、ゼロ次光B0と一次光B1とを再び重ね合わせると、干渉によるビートが発生する。このようにして、ゼロ次光B0と一次光B1とを重ね合わせることでビートが発生した重畳光Zのビート位相の波長依存性を測定すれば、波長分散を測定評価することができるのである。このとき、ゼロ次光B0と一次光B1の周波数差は、音響光学結晶に印加する交流電気信号の周波数分だけシフトしているため、これらを重ね合わせた重畳光Zにて発生するビートは、交流電気信号の周波数に等しく、電子計測器により検出できる。これにより、波長分散の測定を確実にできるのである。

[0039] 音響光学結晶を用いた周波数シフター12の場合、一次光B1の強度は周波数シフター12に印加する交流電気信号のパワーに比例し、ゼロ次光B0の強度はそれに応じて減少する。このため、周波数シフター12に印加する交流電気信号のパワーを変化させることにより、ゼロ次光B0および一次光B1へと分配する光強度を制御することができる。光ファイバグレーティング・アレイ型導波路回折格子等の既存デバイスであれば、光回路に光を入射する際の損失、光回路伝搬に伴う放射損失、光回路から出射する光を取り出す際の損失等による、デバイス通過後の光減衰は3～5dB程度、最大でも10dB程度である。これに対し、フォトニック結晶導波路等の微小光回路では、前記したような損失等によって、光強度の減衰が30dBにも達する場合がある。このような場合、被測定物Sをセットする側の経路であるゼロ次光B0に、相対的により多くのパワーを分配し、発生するビートの強度を最大とするのが望ましい。

[0040] 図1に示すように、検出装置10Aは、光源(光供給部)11、周波数シフター12、被測定物セット部(照射部)13、光路差制御部14、ビームカプラー(重畳部)15、光検出器

16、ロックインアンプ(位相検出部)17、制御・表示部(波長分散計測部、結果出力部)18、分配比制御部30を備えて構成されている。

- [0041] ここで、本実施の形態では、光源11、周波数シフター12、被測定物セット部13、光路差制御部14、ビームカプラー15、光検出器16の間で光が伝搬する経路は、全て光ファイバFで構成している。光ファイバFには、単一モードの偏波保存ファイバ(PMF)を用いる。単一モード性は、モード間分散による波長分散測定精度の劣化を避けるために必要である。偏波保存性は、被測定物Sの偏光依存性を評価するために必要である。通常の単一モードファイバでは、単一の偏波が維持されず異なる偏光が混在してしまうおそれがあり、偏光の選別が困難となる。
- [0042] 光源11は、単一モード(単一波長)で発振する波長可変レーザー光源である。この光源11における発振線のスペクトル幅は、周波数にして1GHz以下であり、波長可変範囲は1500～1600nmである。図1では、光源11における発振線のピーク波長を λ と表す。光源11から出射した測定光は、光ファイバFを通して周波数シフター12に導入される。周波数シフター12は、音響光学結晶から構成され、この周波数シフター12では、音響光学結晶に入力した交流電気信号の周波数と等しい周波数、例えば80MHz、だけシフトした一次光B1を出射する。これにより、周波数シフター12からは、シフトしないゼロ次光B0、および周波数シフトされた一次光B1が出射される。また、周波数シフター12は、位相基準用のため、音響光学結晶に入力する交流電気信号と同周波数で位相が安定した電気信号を、モニター信号としてロックインアンプ17に出力する。
- [0043] 周波数シフター12から出射されたゼロ次光B0は、光ファイバFにより被測定物セット部13に入射し、一次光B1は、光ファイバFを通して光路差制御部14に入射する。その後、被測定物セット部13および光路差制御部14から出射したゼロ次光B0および一次光B1は、ビームカプラー15において結合する。ビームカプラー15としては、光ファイバカプラーを使用することができる。このとき、ゼロ次光B0は、被測定物セット部13にセットされる被測定物Sを通して、被測定物Sの波長分散による位相変化を受けている。一方、一次光B1は、被測定物Sの位相変化を受けていない。よって、ゼロ次光B0と一次光B1を結合させると干渉が生じ、差周波のビート信号が発生する。

すると、このビート信号の位相には被測定物Sによる位相変化分が加わることになる。

ここで、周波数シフター12の音響光学結晶に印加する周波数は、測定光よりも十分に低い周波数とするのが好ましい。例えば、測定光の周波数が150〜400THzである場合、音響光学結晶に印加する周波数は、測定光の周波数よりも大幅に低い周波数帯、例えばRF帯、あるいはRF帯よりも低い帯域とするのが好ましく、例えば、30〜200MHzとするのが好ましい。これにより、ゼロ次光B0と一次光B1を結合させることで生じるビート信号は、測定光よりも大幅に低周波なものとなる。この場合、ゼロ次光B0および一次光B1は、実質的に同一波長であるとみなすことができる。

[0044] ところで、周波数シフター12から出射されるゼロ次光B0、一次光B1は、分配比制御部30によって分配比が制御されるようになっている。分配比制御部30では、被測定物Sの波長分散による位相変化を受けたゼロ次光B0と、一次光B1との干渉によって生じるビートの強度が最大となるよう、周波数シフター12の音響光学結晶に入力する交流電気信号のパワーを調整するのである。なお、被測定物Sが特定のものに限定される場合は、分配比制御部30によって、交流電気信号のパワーを可変とすることなく、事前に設定した値に固定すればよく、さらにこのような場合であれば、分配比制御部30を省略することもできる。

[0045] また、光路差制御部14は、ゼロ次光B0と一次光B1の干渉によるビート信号の強度を最大にするために導入している。これは、レーザー光の位相が常に一定ではなく、時間的コヒーレンスの制約により揺らいでいるためである。そのゆらぎによるビート信号の強度低下を最小にするには、ゼロ次光B0と一次光B1の伝播距離が等しくなるように、光路差を調節すればよい。各光ファイバFの長さを調節することによって、上記伝搬距離を等しくし、ビート信号の強度を最大化できる場合、光路差制御部14は省略できる。

[0046] さて、被測定物セット部13および光路差制御部14から出射し、ビームカプラー15で結合されたゼロ次光B0と一次光B1の重畳光Zは、一本の光ファイバF中を伝搬し、光検出器16に入射する。光検出器16では、入射した光の強度に応じた電気信号を出力する。このとき、入射した光、すなわちゼロ次光B0と一次光B1の重畳光Zは、ビートを有しているため、光検出器16から出力される電気信号も、これに応じたビートを

有している。

- [0047] このようにして、周波数シフター12からビームカップラー15までは、光ファイバ接続による干渉計を構成する。この干渉計は、マッハツェンダー干渉計と等価であり、周波数シフター12は一種のビームスプリッターとして機能しているのである。
- [0048] ロックインアンプ17は、位相を検出する計測器として用いる。ロックインアンプ17の応答帯域は、ビート信号の周波数を超えているものを選択する必要がある。光検出器16からの電気信号を測定用のmeasurement信号(以下、測定信号)とし、周波数シフター12からのモニター用の交流電気信号を位相基準のreference信号(以下、位相基準信号)として、おのおの、ロックインアンプ17に入力する。これにより、ロックインアンプ17では、位相基準信号に対する測定信号の相対的な位相を検出できる。この測定信号の相対位相が、被測定物Sを透過したことによるゼロ次光B0の位相変化に対応している。よって、光源11の波長の関数として相対位相を測定することにより、被測定物Sの波長分散を求めることができる。また、測定信号の強度の絶対値を測定することにより、被測定物Sの透過または反射スペクトルを求めることができる。
- [0049] 相対位相の波長依存性を測定するには、光源11の波長掃引に同期して相対位相を取得すればよい。そのため、波長分散計測部として、制御・表示部18が備えられている。制御・表示部18は、相対位相の波長依存性、すなわち波長分散を直感的に視認できる情報を表示する。制御・表示部18の構成は、例えば、コンピューターにデータ入力を可能とするアナログ-デジタル変換部、機器を制御するインターフェース、およびディスプレイが接続されたものである。
- [0050] 制御・表示部18と光源11との間は、機器制御ラインLで接続する。機器制御ラインLは、例えば、IEEE488規格に準拠するインターフェースとそのケーブルである。制御・表示部18により、光源11の波長の可変範囲・掃引速度を設定すると同時に、光源11から出射する光の波長や光強度などをモニターする。制御・表示部18は、同時に、ロックインアンプ17など他の計測器も制御する。そうすれば、ロックインアンプ17での入力信号レンジなどをモニターできる。ところで、位相を検出するには、ロックインアンプ17で検出した相対位相を電圧として出力する場合と、参照信号を基底とした

直交二軸に対する強度変化をX-Yの二成分の電圧として出力する場合の二通りがある。前者では、位相が直接出力されるが、出力範囲は $-\pi$ から $+\pi$ 、もしくは0から 2π の範囲に限られてしまう。その範囲を超えてしまうと、信号は 2π の周期で折り返されてしまうため、測定後、その折り返しを解除する必要がある。後者のX-Y出力とする場合には、位相は直接出力されない代わりに、振動する強度信号が得られ、それを変換することによって、相対位相が得られる。被測定物Sの特性に応じて、二通りの出力方式からいずれかを選択すればよい。

- [0051] また、検出装置10Aでは、光源11、周波数シフター12、光路差制御部14、ビームカプラー15、光検出器16、ロックインアンプ17等が、図2に示すように、筐体19に格納されている。制御・表示部18は、この筐体19に設けられても良いし、図2に示す如く、別体としてPC等で構成することもできる。この場合、制御・表示部18としてのPCのディスプレイ18aに波長分散波形が表示される。
- [0052] 以上のようにして、被測定物Sの波長分散を測定することができる。測定結果は、制御・表示部18に、図3に示すように、横軸の波長(周波数)、縦軸に位相をプロットした、位相の波長(周波数)依存性を示すグラフ等として表示することができる。この結果をある周波数を中心としたべき展開で表した位相と比較することにより、各べき乗の係数、すなわち各次数の波長分散項が求められる。この図3では、二次の波長分散を反映した変化を示している。
- [0053] 上述したように、検出装置10Aでは、被測定物Sの波長分散を受けたゼロ次光B0と、周波数をシフトさせた一次光B1とを重ね合わせ、これによって低周波のビートを発生させ、そのビート位相の波長(周波数)依存性を測定するようにした。これにより、波長分散の測定を高速で、しかも確実にを行うことが可能となる。しかも、測定結果は、位相の波長依存性を示す情報で出力できるため、直感的な測定結果の認識が可能となる。また、このような方法では、被測定物Sの種類やサイズを問うことなく、汎用性の高い装置とすることができる。
- [0054] このような検出装置10Aは、光ファイバ通信に用いられる光ファイバや各種デバイス、フォトニック結晶等、各種の光素子や光学部材の評価や検査に用いることができる。この場合、図2に示したように、被測定物セット部13は、被測定物Sのセット・交換

を容易とするため、筐体19からは独立したモジュールとすることができる。また、図4(A)~(C)に示すように、光学部材である、光デバイスSa、光ファイバSb、反射型配置での光ファイバグレーティングSc等が被測定物Sとなる場合、これらの被測定物Sは、筐体19の表面に設けられた光ファイバコネクタ(図示無し)に直接接続することもできる。なお、光ファイバグレーティングScを被測定物Sとする場合、入射側から光を取り込み、出射側に光を送り出すよう、サーキュレータ60を用いる。さらに、図5に示すように、通常の光導波路、フォトニック結晶導波路、導波路型半導体光増幅器等が被測定物Sとなる場合、被測定物セット部13にて、入射側、出射側の光ファイバFの先端部Fa、Fbを球状とする。入射側、出射側の光ファイバFは、ファイバ保持部20A、20Bに保持され、このファイバ保持部20A、20Bには、保持した光ファイバFを、互いに直交する三軸方向への直線移動、および軸周りの回転を可能とする駆動機構が備えられている。

[0055] この他、図6(A)、(B)に示すように、複数の被測定物Sを測定する場合、光スイッチ61を用いるのが好ましい。この光スイッチ61に複数の被測定物Sを接続し、制御・表示部18側から光スイッチ61の切替を制御し、測定光、参照光を照射する複数の被測定物Sを順次切り替え、各々の被測定物Sの測定を行うことができる。このようにすれば、複数の被測定物Sを、連続して自動的に測定することが可能となる。

[0056] 図7(A)に示すように、複数のパスpを有する被測定物Sを行うこともできる。このような被測定物Sとしては、AWG(Arrayed Waveguide Grating:アレイ型導波路回折格子)がある。AWGでは、複数の波長への分波、複数波長からの合波を行うことができる(例えば、“16-ch Arrayed Waveguide Grating Module with 100-GHz Spacing” Tsunetoshi Saito, Toshihiko Ota, Tomoaki Toratani, Yoshimi Ono [online]、[平成15年12月2日検索]、インターネット<URL : http://www.furukawa.co.jp/review/fr019/fr19_09.pdf> 参照。“2:1 Arrayed-Waveguide Grating Based WDM Access Networks: An Evolutionary Multi-Gb/s Upgrade Path” Michael C. Parker, Stuart D. Walker [online]、[平成15年12月2日検索]、インターネット<URL : http://www.issls-council.org/proc00/papers/2_1.pdf> 参照)。このような被測定物

Sを測定する場合も、同様に光スイッチ61を用いることで、各々のチャンネルのパスpの測定を行うことができる。

- [0057] さらに、AWGを被測定物Sとする場合において、複数のパスp間での相関を評価する場合、図7(B)に示すように、複数本に分岐した光ファイバ62を用いる。この光ファイバ62の分岐ファイバ62aを各パスpに接続することで、複数のパスpに同時に光を照射し、測定を行うことができるのである。この場合、光ファイバ62の各分岐ファイバ62aは、その光路長等の特性が既知であるのが好ましく、その特性に基づいた較正を必要に応じて行う。また、各分岐ファイバ62aの光路長を揃えておけば、較正を行うことなく、高精度な測定が行なえる。
- [0058] AWGは、分波、合波だけでなく、超短光パルスの波形制御にも用いられる(“Analysis of optical-signal processing using an arrayed-waveguide grating” Hirokazu Takenouchi, Hiroyuki Tsuda [online]、[平成15年12月2日検索]、インターネット< URL : <http://www.opticsexpress.org/abstract.cfm?URI=OPEX-6-6-124>>参照)。このような波形制御に用いるAWGを被測定物Sとする場合も、図7(B)に示したような構成で、入力波形を変化させた時の、チャンネル全体にわたる出力波形の評価等を行うことができる。
- [0059] また、このような検出装置10Aは、化学反応、生体反応、および温熱交換等を検知するため、これらの反応・温熱交換に伴う発熱を検知するための装置として用いることもできる。その場合、検出装置10Aは、反応時の発熱や電磁波照射に伴う温熱効果による温度上昇によってもたらされる媒質の屈折率変化を検出する。図8に示すように、検出対象となる化学薬品、ガン細胞等、評価すべき被測定物Sは、例えばガラスセル等のセル21に入れられ、被測定物セット部13にセットされる。被測定物セット部13に対し、入射側および出射側の光ファイバFは、セル21中でゼロ次光B0が平行ビームとなるよう設けられている。
- [0060] 被測定物Sが、化学反応、生体反応を起こすものである場合、被測定物Sの反応が進むにつれて放出される熱は、セル21中の溶媒等の温度を上昇させ、屈折率を変化させる。この屈折率変化は、波長に依存した位相変化を引き起こすため、検出装置10Aでは、これを評価(検出)するのである。また、被測定物Sがガン細胞等である

場合、被測定物セット部13は、被測定物Sを加熱するため、セル21に対し、電磁波等を照射する加熱部22を備えている。加熱部22で電磁波等を照射することで、被測定物Sの温度が上昇し、屈折率が変化する。検出装置10Aでは、その屈折率変化を伝搬光(ゼロ次光B0)の位相変化として検出し評価する。

[0061] このようにして、化学反応、生体反応、および温熱交換等に伴う温度上昇により被測定物Sの屈折率変化を検出することができ、しかも従来のようにモニター用の光による発熱等の影響を受けることもなく、化学・生体反応および温熱効果を正しく評価することが可能となる。

[0062] また、このような検出装置10Aは、光ファイバ等における光路長測定を行うこともできる。この場合、被測定物Sとしての光ファイバにおいて、上記と同様の測定を行いつつ、波長分散ではなく、光ファイバの光路長で測定する。これには、被測定物Sの波長分散を無視できることが必要である。このため、検出装置10Aにおいて、被測定物Sをセットする以前に、ゼロ次光B0の経路と、一次光B1の経路が互いに等しい光路長となるように調整しておく必要がある。被測定物Sを被測定物セット部13にセットし、波長を所定の領域で掃引させて位相を測定する。そのときの、掃引範囲の波長域での位相の変化量($\Delta \Phi$)から、光路長Lを次式で求めることができる。

[0063] [数1]

$$L = \frac{c \Delta \phi}{2 \pi (\nu_{max} - \nu_{min})}$$

[0064] ここで、Lは光路長、cは光速度、 ν_{max} 、 ν_{min} は、測定波長域に対応する周波数の最大および最小値である。

[0065] ところで、上記のように、ゼロ次光B0の経路と、一次光B1の経路の光路長を合わせるための光路差制御部14としては、具体的には以下に示すような構成が採用できる。まず一つには、両端がコネクタ接続されたバッチコード型の光ファイバを、適宜、交換・付加・除去することによって、光路長を可変とすることで、光路差制御部14を構成することができる。また、図9に示すように、ベース90上に、ステージ91を一方向に移動可能に備え、このステージ91上に、断面略V字状のレトロレフレクタ92を備え

る。そして、このレトロフレクタ92に対し、一次光B1を照射する光ファイバF1と、レトロフレクタ92で反射した光を受け、ビームカップラー15に送る光ファイバF2とが、ベース90に固定されるようになっている。これにより、ステージ91を移動させ、光ファイバF1、F2の出射端、入射端とレトロフレクタ92との距離を調整することができる。これらのような光路差制御部14を備えることで、すなわち、ゼロ次光B0の経路と、一次光B1の経路の光路長を合わせることができる。これには、測定光の波長を掃引しつつ、制御・表示部18にて、位相の変化を測定光の波長の関数としてモニターし、位相の変化量が最も少なくなるように光路差制御部14で一次光B1側の経路の光路長を調整する。このようにして、周波数に線形に依存する位相変化分を除去することができ、波長分散の源となる周波数に、非線形的に依存する項のみを抽出することが可能となる。そして、被測定物Sを除いた、検出装置10A内の光ファイバを含む全ての部品の波長分散を、被測定物Sの1/10以下に抑えるように検出装置10Aを設計することにより、被測定物Sの波長分散のみを高精度で計測することが可能となる。

[0066] [第二の実施の形態] 次に、本発明にかかる第二の実施の形態を示す。上記第一の実施の形態では、周波数シフター12からのモニター用の交流電気信号を位相基準信号とし、測定信号の相対的な位相を検出する構成としたが、以下に示す第二の実施の形態では、波長が互いに異なる波長分散測定用の測定光(E_{prob})と参照光(E_{ref})を用いる。上記第一の実施の形態で示した検出装置10Aと、以下に説明する第二の実施の形態における検出装置10Bは、基本的な装置構成が共通するため、以下の説明では共通する構成については同符号を付し、その説明を省略する。

[0067] 図10に示す検出装置10Bの光源31は、二種の波長 λ_0 、 λ_1 の光を発生することができるものを用いる。図11に示すように、光源31は、波長(第一の波長) λ_0 の光を出射する第一光源32と、波長(第二の波長) λ_1 の光を出射する第二光源33と、これら第一光源32、第二光源33から出射された波長 λ_0 、 λ_1 の光を結合する結合部34と、コネクタ35とを備える。自由空間系で使用する場合は、これに光ファイバFとビームコリメーター70を接続する。第一光源32および第二光源33のそれぞれは、上記第一の実施の形態の検出装置10Aで光源11として用いた単一モード発振の波長可変レー

ザー光源と同様の性能を有する。第一光源32および第二光源33は、波長・波長掃引条件・光強度などを外部より制御可能とし、外部から、発振波長、波長掃引条件・出力光パワー等をモニターできるように設定されている。以下の説明では、波長 λ_0 の光を参照光、波長 λ_1 の光を波長分散検知用の測定光とする。参照光、測定光の波長の可変範囲、発振線幅は、上記第一の実施の形態と同様とする。

[0068] 図12に示すように、光源31から出射される参照光、測定光は、光ファイバFを通して周波数シフター12に導入される。周波数シフター12からは、波長 λ_0 の参照光、波長 λ_1 の測定光それぞれに対し、周波数シフトしない第一の周波数を有したゼロ次光B0と、周波数シフトして第二の周波数とされた一次光B1が出射される。このとき、波長 λ_0 の参照光、波長 λ_1 の測定光それぞれに対応して周波数シフター12から出射されるゼロ次光B0、一次光B1は、上記第一の実施の形態と同様、分配比制御部30によって分配比を制御することができる。一次光B1の周波数シフト量は、波長 λ_0 、 λ_1 とも、上記第一の実施の形態と同様、例えば80MHzである。なお、本実施の形態では、周波数シフター12は、モニター用としての交流電気信号は出力しない。

[0069] 第一の測定光、第一の参照光としての波長 λ_0 、 λ_1 のゼロ次光B0は、光ファイバFを介し、測定光として被測定物セット部13に入射する。一方、第二の測定光、第二の参照光としての波長 λ_0 、 λ_1 の一次光B1は、光ファイバFを介し、参照光として光路差制御部14に入射する。被測定物セット部13、光路差制御部14を出射したゼロ次光B0および一次光B1はビームカップラー15によって結合され、波長 λ_0 、 λ_1 の重畳光 Z_0 、 Z_1 となり、一本の光ファイバF中に導かれる。その結果、波長 λ_0 の重畳光 Z_0 (測定光および参照光)、波長 λ_1 の重畳光 Z_1 (測定光および参照光)のそれぞれにビートが発生する。波長 λ_0 、 λ_1 の重畳光 Z_0 、 Z_1 のそれぞれのビート周波数は、周波数シフター12での周波数シフト量による周波数(80MHz)であるが、位相は、被測定物Sの波長分散を反映し、おのおのの波長に応じて異なっている。

[0070] ビームカップラー15の後段側には、波長選択部36が設けられている。この波長選択部36は、波長 λ_0 、 λ_1 の重畳光 Z_0 、 Z_1 を、波長によって分離するものである。図13は、波長選択部36の構成の例を示すものである。波長選択部36は、光ファイバ分岐部37にて、波長 λ_0 、 λ_1 の重畳光 Z_0 、 Z_1 を伝搬してきた光ファイバFを2系統に分岐し、

系統L0に波長可変フィルタ(第一のフィルタ)38Aを、系統L1に波長可変フィルタ(第二のフィルタ)38Bを設けた構成となっている。一方の系統L0の波長可変フィルタ38Aは、参照光としての波長 λ_0 の重畳光 Z_0 を取り出し、他方の系統L1の波長可変フィルタ38Bでは、測定光としての波長 λ_1 の重畳光 Z_1 を取り出すようになっている。これにより、波長選択部36では、一方の系統L0からは波長 λ_0 の重畳光 Z_0 、他方の系統L1からは波長 λ_1 の重畳光 Z_1 を出射できるようになっている。ここで、参照光となる重畳光 Z_0 の波長 λ_0 を1500nmとすると、測定光の波長 λ_1 は例えば1502~1600nm間での領域を掃引する。したがって、波長可変フィルタ38Bは測定光となる重畳光 Z_1 の波長 λ_1 を掃引する広い帯域の光を透過させなければならない。一方、波長可変フィルタ38Aは、波長 $\lambda_0=1500\text{nm}$ を中心として $\pm 500\text{pm}$ 程度の範囲の光のみを透過させる狭帯域フィルタであることが求められる。参照光および測定光の波長 λ_0 、 λ_1 および波長範囲は被測定物Sに応じて変化するので、波長可変フィルタ38A、38Bには、それぞれ波長可変性が求められる。

[0071] ところで、本構成以外にも、波長選択部36として機能できる構成は存在する。例えば、図14に示す波長選択部36'のように、波長可変フィルタ(フィルタ)38Cからの反射光には、参照光以外の成分が含まれる。しかも、反射帯域は、参照光の波長近傍で100nm程度の広帯域に及ぶことも可能である。したがって、図14に示したように、光ファイバ分岐部37や波長可変フィルタ38A、38Bを用いず、波長可変フィルタ38Cからの反射光を測定光として用いることにより、図13の波長選択部36と等価の機能を実現することができる。

[0072] 図10に示したように、波長選択部36(36'を含む)の後段側には、系統L0に光検出器(第一の光電素子、第一のフォトダイオード)16Aが、系統L1には光検出器(第二の光電素子、第二のフォトダイオード)16Bが設けられている。波長選択部36で波長ごとに分離された重畳光 Z_0 、 Z_1 は、光ファイバFを通し、光検出器16A、光検出器16Bに入射する。光検出器16A、16Bでは、入射した光の強度に応じた電気信号を出力する。光検出器16Aでは、波長 λ_0 の重畳光 Z_0 のビートに応じた電気信号を出力し、この電気信号は、位相基準電気信号としてロックインアンプ17に入力される。また、光検出器16Bでは、波長 λ_1 の重畳光 Z_1 のビートに応じた電気信号を出力し、この電

気信号は、測定信号としてロックインアンプ17に入力される。

[0073] ロックインアンプ17では、位相基準電気信号としての光検出器16Aからの電気信号と、測定信号としての光検出器16Bからの電気信号とから、位相基準信号に対する測定信号の相対的な位相を検出する。これによって、この測定信号の相対位相、すなわち被測定物Sを透過したことによるゼロ次光B0の位相変化を得ることができ、被測定物Sの波長分散を測定し、制御・表示部18に表示することができる。このようにして、検出装置10Bでは、参照光の波長は固定しておき、その波長でのビート位相を基準として、波長掃引する測定光のビートの位相を測定することによって、被測定物Sの波長分散を知ることができる。

[0074] ところで、上記第一の実施の形態で示した検出装置10Aでは、周波数シフター12内の交流電気信号を位相基準信号として取り出す構成とした。しかし、このような位相基準の取り方では、検出装置10A内での振動等に起因する位相ゆらぎを除去することができず、発生するビートの位相ゆらぎに影響を及ぼす。つまり、要求される測定精度によっては、位相が安定に測定されず、位相ゆらぎによる誤差が、検出装置10Aにおける測定精度に影響を及ぼすことがある。これに対し、本実施の形態の検出装置10Bでは、参照光と測定光として、それぞれ互いに異なる波長 λ_0 、 λ_1 の光を用いるようにした。参照光と測定光は同じ経路を通過するので、共通の位相ゆらぎを受ける。そのため、位相ゆらぎを相殺することで、位相ゆらぎによる誤差を大部分解消できる。残留する位相ゆらぎは、おのおのの波長の相違による部分である。例えば、参照光の波長を掃引範囲の下限の1500nmとし、測定光の波長を上限の1600nmとすると、双方の波長差は100nmである。これは、参照光の波長の6.7%である。よって、上記第一の実施の形態の検出装置10Aに比較し、検出装置10Bでは、位相ゆらぎによる誤差を大幅に低減し、より高精度で遥かに安定した測定を行うことが可能となるのである。

[0075] このような検出装置10Aにおいても、図4～図8に示したような形態で、様々な被測定物Sを測定することができる。ところで、上記したように二種の波長 λ_0 、 λ_1 の光を用いる二波長系の検出装置10Bにおいて、図4(C)に示したような、反射型の被測定物Sを測定する場合、条件(被測定物Sの種類、特性等)によっては、測定を行うこ

とができないことがある。図15(A)に示すように、二波長系の検出装置10Bでは、測定光の波長 λ_1 は、被測定物Sにおいて測定対象となる波長領域Rを掃引する。これに対し、参照光の波長 λ_0 は、波長領域Rに対し、所定の間隔を隔てて設定される。一般的な反射型の被測定物Sの場合、この被測定物Sで光を反射する波長領域Zは、測定光を掃引する波長領域Rと、参照光の波長 λ_0 を包含する広い帯域となっている。

[0076] しかしながら、図15(B)に示すように、被測定物Sにおいて光を反射する波長領域Zが、測定光を掃引する波長領域Rと、参照光の波長 λ_0 を包含しない狭帯域の特性を有する被測定物Sの場合、参照光は、被測定物Sで反射しない。その結果、サーキュレータ60では、被測定物Sで反射した測定光しか得ることができず、これでは位相の検出自体を行うことができないのである。このような狭帯域の被測定物Sとしては、例えばFBG(Fiber Bragg Grating)がある。FBGは、光ファイバの伝播路上に回折格子を有したような構成のものである(例えば、“Fiber Bragg Gratings for Optical Fibre Communications” M. N. Zervas, John Wiley & Sons 2003年12月 ISBN:0471815004、あるいは、「メトロ・アクセスにおけるOADM」香川昌義、塚田浩之、米田正史、古河電工時報、平成15年1月、第111号、pp.56-61 参照)。

[0077] 狭帯域の被測定物Sを測定するには、図16に示すような構成が有効である。すなわち、被測定物Sの後段側に、参照光の波長 λ_0 を反射する反射体(反射物)80を配置するのである。ここで、測定光は、被測定物Sにおいて反射されるとは言え、100%が完全に反射するわけではなく、その一部が被測定物Sと通過し、反射体80まで到達することになる。反射体80に到達した測定光が反射すると、被測定物Sで反射した測定光に対し影響を及ぼし、測定精度の低下を招く恐れがあるため、反射体80では、測定光を掃引する波長領域Rの光を反射しない特性とするのが好ましい。FBGの場合、例えば波長1550nmに反射ピークを持つFBGであれば、測定光を掃引する波長領域Rは、1545～1555nmとなり、参照光の波長 λ_0 は、例えば波長1530nm等とされ、その波長の差は15nm等と非常に小さいものとなる。このように、非常に小さい波長差において、参照光を反射し、測定光を掃引する波長領域Rの光を反射しない特性を有

した反射体80としては、それ自体が狭帯域の反射特性を有したものが好ましく、例えばFBGが好適である。

[0078] この場合、被測定物SのFBGと、反射体80となるFBGは、標準(既知)の分散を有する光ファイバ81で接続する。これにより、測定光は、被測定物SであるFBGで反射されてサーキュレータ60に戻るのに対し、参照光は、被測定物SであるFBGを通過し、反射体80となるFBGで反射されてサーキュレータ60に戻ってくる。

[0079] このような構成を採用することで、反射スペクトル帯が狭い被測定物Sであっても、検出装置10Bにおいて測定を行うことが可能となる。

[0080] 図17に示すものは、上記したような検出装置10Bの具体的な構成の例を示すものである。この図17に示すように、検出装置10Bの具体的な構成では、周波数シフター12に、音響光学(Acousto-Optic :AO)結晶を用いたAO周波数シフター(AOFS:Acoust Optic Frequency Shifter)を採用した。また、AO周波数シフターからなる周波数シフター12に印加する交流電気信号を調整する分配比制御部30を設け、この分配比制御部30により、被測定物Sを追加した後のゼロ次光B0と一次光B1との間で発生するビートの強度を最適化し、測定結果における雑音が最小となるようにした。さらに、波長選択部36には、複数の波長が伝搬している媒質中に新たな波長を加える(光ADD)機能、およびある1つの波長のみを媒質中より取り出す(光DROP)機能を有したAdd/Dropフィルターを採用した。

[0081] そして、波長 λ_0 の参照光、波長 λ_1 の測定光を検出し、電気信号に変換する光検出器16A、16Bとしては、フォトダイオード(Photo Diode)を用いる。ここで、ロックインアンプ17において基準として用いられる参照光側の光検出器16Bを構成するフォトダイオードには、AC(交流)対応のものを用いるのが好ましい。ここで、被測定物セット部13を通ったゼロ次光B0は、以下に示す[数2]で、被測定物セット部13を通っていない一次光B1は[数3]で示すことができる。なお、 E_x は測定光または参照光の電界(xは測定光(prob)または参照光(ref)を指す)、eは自然対数の底、iは虚数単位、 ω_x は測定光または参照光の角周波数、tは時間、 $\Delta \phi$ は被測定物Sにより生ずる位相差(この項が波長分散を含む)である。

[0082] [数2]

$$E_0 = E_x e^{-i(\omega_x t + \Delta \phi(\omega_x))}$$

[0083] [数3]

$$E_1 = E_x e^{-i(\omega_x + \Delta \omega)t}$$

[0084] ビームカップラー15において重畳した重畳光ZのパワーPは、[数2]の E_0 と、[数3]の E_1 を用い、以下のように表すことができる。 $P = (E_0 + E_1)(E_0^* + E_1^*) = |E_0|^2 + |E_1|^2 + (E_0^* E_1) + (E_0 E_1^*)$ ここで E^* はEの複素共役を表す。

[0085] このとき、 $(E_0^* E_1)$ 、 $(E_0 E_1^*)$ の項は、ゼロ次光B0、一次光B1の双方の影響を受ける、すなわち干渉に関わるわけであるが、 $|E_0|^2$ 、 $|E_1|^2$ の項は、ゼロ次光B0、一次光B1それぞれの経路によって決まるため、干渉には関わらない、いわゆる直流成分である。光検出器16Bを構成するフォトダイオードに、AC(交流)対応のものを用いることで、この直流成分をカットした電気信号を出力することができる。

[0086] ロックインアンプ17では、このように、直流成分がカットされた電気信号を基準とすることで、精度の高い信号を基準として、位相を検出することができる。

[0087] 上記したような具体的構成を用い、実際に被測定物Sの測定を行ったのでその結果をここに示す。ここで、検出装置10Bに用いた構成は以下の通りである。第一光源32:NewFocus社 Model 6528、第二光源33:NewFocus社 Model 6428、周波数シフター12:Brimrose社 AMF-100-10-1525、光検出器16A:NewFocus社 Model 1811-FC (DC対応のフォトダイオード)、光検出器16B:NewFocus社 Model 1811-AC-FC (AC対応のフォトダイオード)、ロックインアンプ17:Stanford Research Systems社 SR844、(使用条件:時定数0.3ms以下、X-Y or R-theta mode)、制御・表示部18:オシロスコープ Iwatsu社 model TS-8500。

[0088] そして、被測定物Sは、波長1550nmに反射ピークを有し、c-band帯での10Gbps波長多重伝送システム用の光フィルターとして用いられるFBGとした。このような被測定物Sに対し、測定光を掃引する波長領域Rを1545～1555nmとし、この、幅10nmの波長領域Rを、1秒で掃引した。また、参照光は、波長1530nmとした。ロックインアンプ17からの出力信号を、制御・表示部18として、オシロスコープおよびPCを

用い、オシロスコープで視覚情報を表示しつつ、PCで出力信号を1秒間に60000ポイント(回)受信し、これを周波数、位相、反射強度の関係として出力した。

[0089] その出力結果が、図18に示すものである。この図に示すように、周波数-反射強度の関係を示す線Lにおいて、20-30GHz程度のスペクトル幅を有する反射強度のピークが明確に現れており(図18中L1の部分)、さらにそのピークの脇に、サイドローブと称される変動も明確に現れている(図18中L2の部分)。加えて、周波数-反射強度の関係を示す線L、周波数-位相の関係を示す線Pともに、1GHz程度のピッチで変動が現れており、このことから、1GHz程度の分解能で測定が行えることが明らかである。しかも、その測定に際し、幅10nmの波長領域Rを1秒で掃引しており、非常に高速で、高い分解能の測定が実現できている。加えて、掃引する波長領域Rの位置、大きさとも、なんら制限を受けるものではなく、より広い波長領域Rであっても、同様に高速かつ高精度での測定が可能となっている。

[0090] [第三の実施の形態] 次に、本発明にかかる第三の実施の形態について説明する。上記第一および第二の実施の形態で示した検出装置10A、10Bは、光ファイバFを用いて光を伝搬する構成としたが、本実施の形態における検出装置10Cは、ミラーやプリズム等を用いた自由空間ビーム系の構成とした。なお、以下の説明において、上記第一または第二の実施の形態で示した検出装置10A、10Bと共通する構成については同符号を付し、その説明を省略する。また、上記で示した各種の変形例、応用例等も同様に適用することが可能である。この場合、図19に示すように、検出装置10Cでは、光源41として、上記第二の実施の形態で示した光源31(図11参照)と同様の構成を用いることができるが、自由空間ビーム系で構成する本検出装置10Cの場合には出射ファイバとなる光ファイバFの先端にビームコリメーターを設け、出射される光が平行ビームとなるようにする。光源41からは、参照光としての波長 λ_0 の光と、測定光としての波長 λ_1 の光とを出射する。光源41から出射される参照光、測定光は、自由空間を通過して周波数シフター12に到達する。そして、周波数シフター12からは、波長 λ_0 の参照光、波長 λ_1 の測定光に対し、周波数シフトしないゼロ次光B0と、周波数シフトした一次光B1がそれぞれ出射される。このときも、波長 λ_0 の参照光、波長 λ_1 の測定光それぞれに対応して周波数シフター12から出射されるゼロ

次光B0、一次光B1は、上記第一の実施の形態と同様、分配比制御部30によって分配比を制御することができる。一次光B1の周波数シフト量は、波長 λ_0 、 λ_1 とも、上記第一の実施の形態と同様、例えば80MHzである。なお、本実施の形態でも、周波数シフター12は、モニター用としての交流電気信号は出力しない。

[0091] 波長 λ_0 、 λ_1 のゼロ次光B0は、自由空間を通り、入射光学系42を介し、測定光として被測定物セット部13に入射する。被測定物セット部13を経たゼロ次光B0は、出射光学系43、ミラー44を介し、キューブ状のビームカップラー45へと至る。一方、波長 λ_0 、 λ_1 の一次光B1は、ゼロ次光B0とは異なる角度で周波数シフター12から出射され、ミラー46、47、光路差制御部として機能するレトロレフレクター型可動ミラー48、49を介し、ビームカップラー45へと至る。波長 λ_0 、 λ_1 のゼロ次光B0および一次光B1は、それぞれビームカップラー45において結合され、波長 λ_0 、 λ_1 の重畳光 Z_0 、 Z_1 となり出射される。その結果、干渉により、波長 λ_0 の重畳光 Z_0 (参照光)、波長 λ_1 の重畳光 Z_1 (測定光)のそれぞれにビートが発生する。波長 λ_0 、 λ_1 の重畳光 Z_0 、 Z_1 のそれぞれのビート周波数は、周波数シフター12での周波数シフト量による周波数(80MHz)であるが、位相は、被測定物Sの波長分散を反映し、おのおのの波長に応じて異なっている。

[0092] ビームカップラー45の後段側には、波長選択部50が設けられている。この波長選択部50は、波長 λ_0 、 λ_1 の重畳光 Z_0 、 Z_1 を、波長によって分離するものである。図20は、波長選択部50の構成の例を示すものである。この波長選択部50は、一对の回折格子51、52間に、一对のレンズ53、54が配置された構成を有している。ここで、レンズ53、54は球面レンズであり、レンズ53、54の焦点距離をfとすると、レンズ53、54間の距離は2f、レンズ53と回折格子51、レンズ54と回折格子52の距離はfとなっている。

[0093] このような構成において、ミラー55により、ビームカップラー45から出射した波長 λ_0 、 λ_1 の重畳光 Z_0 、 Z_1 (平行ビームである)が、回折格子51の所定位置(レンズ53、54の中心を結んだ線の延長線上)に当たるように設定されている。これにより、回折格子51に当たった波長 λ_0 、 λ_1 の重畳光 Z_0 、 Z_1 は、波長に応じた角度で回折し、レンズ(第一のレンズ)53へと向かう。つまり、重

重畳光 Z_0 、 Z_1 の波長により、レンズ53における入射位置が異なるのである。そして、回折格子51で回折した波長 λ_0 の重畳光 Z_0 と、波長 λ_1 の重畳光 Z_1 は、レンズ53を通し、互いに離間した平行ビームとなる。レンズ53、54間には、参照光とすべく固定された波長 λ_0 を有する重畳光 Z_0 を取り出すためのミラー(第一の光学素子)56が設けられており、これにより、波長 λ_0 の重畳光 Z_0 は、ミラー56を介し、光検出器16Aに向けて出射されるようになっている。また、波長 λ_1 の重畳光 Z_1 は、レンズ(第二のレンズ)54を経て、回折格子(第二の回折格子)52上に集光され、波長に応じた所定の角度で再び回折する。このとき、重畳光 Z_1 の波長 λ_1 は可変であるが、一对の回折格子51、52で回折・集光が行われるため、重畳光 Z_1 は、回折格子52からは同一方向に向かう平行ビームとなって、外部に出射される。外部に出射された波長 λ_1 の重畳光 Z_1 は、ミラー(第二の光学素子)57により取り出され、さらにミラー58、59を経て、光検出器16Bに向かう。このような構成を有する光学系は、自由空間を伝搬するビームに対して、異なる波長の光を分離し、分離後のおおのこの光を平行ビームとして取り出すことが簡単にできる。

- [0094] このようにして、波長選択部50において参照光と測定光を波長の違いにより分離し、光検出器16A、16Bに集光して入射させる。すると、光検出器16A、16Bでは、入射した光の強度に応じた電気信号を出力し、これに基づき、ロックインアンプ17では、位相基準電気信号としての光検出器16Aからの電気信号と、測定信号としての光検出器16Bからの電気信号とから、位相基準信号に対する測定信号の相対的な位相を検出する。これによって、この測定信号の相対位相、すなわち被測定物Sを透過したことによるゼロ次光B0の位相変化を得ることができ、被測定物Sの波長分散を測定し、制御・表示部18に表示することができる。
- [0095] このようにして、自由空間ビーム系を有した検出装置10Cにおいても、上記第一および第二の実施の形態と同様の効果を得ることができる。また、自由空間ビーム系を用いる構成を採用することで、検出装置10Cでは、光ファイバFが使用できない波長領域の光、たとえば波長500nm付近の光であっても波長分散測定が可能となる。
- [0096] (制御・表示部18の具体例および応用例) 上記各実施の形態においては、制御表示部18としては、図2に示したように、PCを用いるのが一般的であり、この場合は、ロ

ックインアンプ17からの電気信号を、ADコンバータ(ADC)を介して受け取り、図3に示したような $\phi-l$ 形式でディスプレイ18aに波長分散波形を表示する。他の方法として、図17に示すように、ロックインアンプ17から出力される電気信号を、オシロスコープ100にてX-Y形式で表示することもできる。このような構成とすれば、オシロスコープ100上に表示された円の画像の回転を視認することで、位相の状態をダイレクトに認識することができる。そこで、オシロスコープ100におけるX-Y形式の出力表示と、PC18における出力を組み合わせることもできる。例えば、被測定物Sの初期の評価の段階では、オシロスコープ100における出力表示を利用し、大まかな評価を直感的に行い、それに基づいて被測定物Sの特性の調整等を行い、ある程度、被測定物Sの特性が安定してきた段階、例えば量産段階では、PC18における数値等による出力を行うこともできる。

- [0097] なお、上記各実施の形態において、ゼロ次光B0を被測定物Sに入射し、一次光B1を入射させない構成としている。しかし、ゼロ次光B0は被測定物Sに入射せず、一次光B1の方を入射させるという設定で装置を構成することも可能である。通常、ゼロ次光B0が一次光B1よりも強度が高く、被測定物Sから透過する際には、反射や吸収による損失を伴う場合があるので、上記各実施の形態では、ゼロ次光B0を被測定物Sに入射する設定を採用している。また、周波数シフター12を市販の音響光学結晶とRF発振器から構成する場合、RF強度が可変でゼロ次光B0と一次光B1の強度を調整できるものがある。この場合、ゼロ次光B0と一次光B1の強度比が逆転する場合もあり、一次光B1を被測定物Sに入射することが有効となる場合がある。したがって、どちらを被測定物Sに入射させるかは、周波数シフター12の特性に応じて選択すればよい。また、光検出器16、16A、16Bの電気周波数帯域は、ビート周波数よりも高い広帯域、もしくは、ビート周波数を中心として数MHz程度の狭帯域のいずれを使用しても良い。定常光強度も検出し、透過光が最大となるよう、被測定物Sの調整を行う場合には、DCからビート周波数を超える広帯域で応答する光検出器16、16A、16Bを選択し、DC成分やビート周波数以外からのノイズを除去する必要がある場合には、狭帯域のみで応答するものを光検出器16、16A、16Bとして選択することができる。これ以外にも、本発明の主旨を逸脱しない限り、上記実施の形態で挙

げた構成を取捨選択したり、他の構成に適宜変更することが可能である。

図面の簡単な説明

- [0098] [図1]第一の実施の形態における検出装置の構成を示す図である。
[図2]検出装置の外観の一例を示す図である。
[図3]検出装置によって出力される位相の波長依存性を示す情報の例である。
[図4]検出装置にセットする被測定物の形態を示す図である。
[図5]検出装置にセットする被測定物の他の形態を示す図である。
[図6]検出装置にセットする被測定物のさらに他の形態を示す図である。
[図7]検出装置にセットする被測定物のさらに他の形態を示す図である。
[図8]検出装置にセットする被測定物のさらに他の形態を示す図である。
[図9]光路差制御部の構成の一例を示す図である。
[図10]第二の実施の形態における検出装置の構成を示す図である。
[図11]光源の構成を示す図である。
[図12]二波長を用いた場合の光の伝搬形態を示す図である。
[図13]波長選択部の一例を示す図である。
[図14]波長選択部の他の一例を示す図である。
[図15]反射型の被測定物における、測定光と波長領域の関係を示す図である。
[図16]狭帯域の反射型の被測定物における測定器具の構成を示す図である。
[図17]検出装置の具体的な構成を示す図である。
[図18]得られた測定結果を示す図である。
[図19]第三の実施の形態における検出装置の構成を示す図である。
[図20]波長選択部の構成を示す図である。

符号の説明

- [0099] 10A、10B、10C…検出装置、11…光源(光供給部)、12…周波数シフター、13…被測定物セット部(照射部)、15…ビームカップラー(重畳部)、16…光検出器、16A…光検出器(第一の光電素子、第一のフォトダイオード)、16B…光検出器(第二の光電素子、第二のフォトダイオード)、17…ロックインアンプ(位相検出部)、18…制御・表示部(波長分散計測部、結果出力部)、21…セル、22…加熱部、30…分配比制御

部、31…光源、32…第一光源、33…第二光源、36…波長選択部、37…光ファイバ分岐部、38A…波長可変フィルタ(第一のフィルタ)、38B…波長可変フィルタ(第二のフィルタ)、38C…波長可変フィルタ(フィルタ)、41…光源、50…波長選択部、51…回折格子、52…回折格子(第二の回折格子)、53…レンズ(第一のレンズ)、54…レンズ(第二のレンズ)、56…ミラー(第一の光学素子)、57…ミラー(第二の光学素子)、80…反射体(反射物)、100…オシロスコープ、B0…ゼロ次光(第一の光)、B1…一次光(第二の光)、F…光ファイバ、S…被測定物(光学部材、検出対象)、Sa…光デバイス(光学部材)、Sb…光ファイバ(光学部材)、Sc…光ファイバグレーティング(光学部材)、Z、Z₀、Z₁…重畳光、 λ …波長、 λ_0 …波長(第一の波長)、 λ_1 …波長(第二の波長)

請求の範囲

- [1] 第一の波長を有する測定光と前記第一の波長とは異なる第二の波長を有する参照光を出射する光源と、前記測定光を第一の測定光と第二の測定光に、前記参照光を第一の参照光と第二の参照光に分岐させ、前記第一の測定光および前記第一の参照光、または前記第二の測定光および前記第二の参照光の周波数をシフトさせる周波数シフターと、前記第一の測定光および前記第一の参照光を被測定物に照射する照射部と、前記照射部にて前記被測定物に照射された前記第一の測定光および前記第一の参照光を、前記第二の測定光および前記第二の参照光に重畳する重畳部と、前記重畳部で前記第一の測定光と前記第二の測定光が重畳することで生じるビートの位相を、前記重畳部で前記第一の参照光と前記第二の参照光が重畳することで生じるビートを基準として検出する位相検出部と、を備えることを特徴とする検出装置。
- [2] 前記第一の測定光と前記第二の測定光が重畳することで生じるビートと、前記第一の参照光と前記第二の参照光が重畳することで生じるビートとを、前記第一の測定光および前記第二の測定光と、前記第一の参照光および前記第二の参照光の波長の相違に基づき分離する波長選択部を、前記位相検出部の前段に備えることを特徴とする請求項1に記載の検出装置。
- [3] 前記波長選択部は、前記第一の波長を有した光を透過する第一のフィルタと、前記第二の波長を有した光を透過する第二のフィルタと、を有することを特徴とする請求項2に記載の検出装置。
- [4] 前記波長選択部は、前記第一の波長を有した光を透過し、前記第二の波長を有した光を反射するフィルタを有することを特徴とする請求項2に記載の検出装置。
- [5] 前記波長選択部は、前記重畳部で重畳した前記第一の測定光および前記第一の参照光と前記第二の測定光および前記第二の参照光を、波長に応じた所定の角度で回折させる回折格子を有することを特徴とする請求項2に記載の検出装置。
- [6] 前記波長選択部は、前記回折格子で回折した前記第一の測定光と前記第二の測定光の重畳光と、前記回折格子で回折した前記第一の参照光と前記第二の参照光の重畳光とを平行ビームにする第一のレンズと、前記第一のレンズを通過した前記

第一の参照光と前記第二の参照光の重畳光を取り出す第一の光学素子と、前記第一のレンズと平行に設けられ、当該第一のレンズを通過した前記第一の測定光と前記第二の測定光の重畳光を屈折させる第二のレンズと、前記第二のレンズで屈折した前記第一の測定光と前記第二の測定光の重畳光を、波長に応じた所定の角度で回折させる第二の回折格子と、前記第二の回折格子で回折した前記第一の測定光と前記第二の測定光の重畳光を取り出す第二の光学素子と、をさらに有することを特徴とする請求項5に記載の検出装置。

- [7] 前記位相検出部は、前記第一の測定光と前記第二の測定光の重畳光のエネルギーを電気信号に変換して出力する第一の光電素子と、前記第一の参照光と前記第二の参照光の重畳光のエネルギーを電気信号に変換して出力する第二の光電素子と、を備え、前記第一の光電素子から出力される電気信号と前記第二の光電素子から出力される電気信号に基づき、前記位相を検出することを特徴とする請求項1に記載の検出装置。
- [8] 前記第一の光電素子および前記第二の光電素子がフォトダイオードであり、かつ少なくとも前記第二の光電素子を構成する前記フォトダイオードが交流対応型であることを特徴とする請求項7に記載の検出装置。
- [9] 前記被測定物が特定の波長領域の光のみを反射するものであり、前記第一の測定光の波長が前記波長領域内で、かつ前記第一の参照光の波長が前記波長領域外に設定されているとき、前記照射部は、前記第一の測定光および前記第一の参照光の前記被測定物に対する照射方向において、前記被測定物の前段または後段に、前記第一の参照光を反射する反射物を備えることを特徴とする請求項1に記載の検出装置。
- [10] 前記反射物は、前記第一の参照光の波長を含み、かつ前記被測定物とは異なる波長領域の光のみを反射することを特徴とする請求項9に記載の検出装置。
- [11] 前記位相検出部で検出した、前記第一の測定光と前記第二の測定光が重畳することで生じるビートの位相に基づき、前記被測定物の波長分散を計測する波長分散計測部をさらに備えることを特徴とする請求項1に記載の検出装置。
- [12] 前記位相検出部で検出した、前記第一の測定光と前記第二の測定光が重畳するこ

- とで生じるビートの位相の変化に基づき、前記被測定物の温度変化を検出する請求項1に記載の検出装置。
- [13] 前記位相検出部で検出した、前記第一の測定光と前記第二の測定光が重畳することで生じるビートの位相の変化に基づき、前記被測定物の光路長を測定する請求項1に記載の検出装置。
- [14] 前記周波数シフターに印加する交流電気信号のパワーを調整し、前記周波数シフターで周波数をシフトさせる前記第一の測定光と前記第一の参照光の分配比、および前記第二の測定光と前記第二の参照光の分配比を制御する分配比制御部をさらに備えることを特徴とする請求項1に記載の検出装置。
- [15] 所定波長および所定周波数を有する第一の光、前記第一の光とは周波数がシフトした第二の光を供給する光供給部と、前記第一の光および前記第二の光の一方を被測定物に照射する照射部と、前記照射部にて前記被測定物に照射された前記第一の光および前記第二の光の一方と、前記第一の光および前記第二の光の他方を重畳する重畳部と、前記第一の光と前記第二の光に対して光周波数の差を発生させる交流電気信号に基づき、前記重畳部で前記第一の光と前記第二の光が重畳することで生じるビートの位相を検出する位相検出部と、を備えることを特徴とする検出装置。
- [16] 前記光供給部は、単一周波数で光を発振する光源と、前記光源から発振された光の一部を分岐させ、分岐させた前記光の一部を音響光学結晶に入力することでその周波数をシフトさせる周波数シフターと、を備え、前記位相検出部は、前記光の一部の周波数をシフトさせるために前記音響光学結晶に入力する交流電気信号を用い、前記重畳部で前記第一の光と前記第二の光が重畳することで生じるビートの位相を検出することを特徴とする請求項15に記載の検出装置。
- [17] 前記位相検出部で検出した、前記第一の光と前記第二の光が重畳することで生じるビートの位相に基づき、前記被測定物の波長分散を計測する波長分散計測部をさらに備えることを特徴とする請求項15に記載の検出装置。
- [18] 前記位相検出部で検出した、前記第一の光と前記第二の光が重畳することで生じるビートの位相の変化に基づき、前記被測定物の温度変化を検出する請求項15に記載

載の検出装置。

- [19] 前記位相検出部で検出した、前記第一の光と前記第二の光が重畳することで生じるビートの位相の変化に基づき、前記被測定物の光路長を測定する請求項15に記載の検出装置。
- [20] 第一の波長を有する測定光と前記第一の波長とは異なる第二の波長を有する参照光を出射する光源と、前記光源から出射された光を、第一の周波数の光と第二の周波数の光に分岐させる周波数シフターと、前記周波数シフターで分岐された前記第一の周波数の光を被測定物に照射する照射部と、前記照射部を経た前記第一の周波数の光と、前記第二の周波数の光を重畳させるフォトカプラと、前記フォトカプラを経た光を前記第一の波長の光と前記第二の波長の光に分岐させるフィルタと、前記フィルタで分岐された前記第一の波長の光に応じた電気信号を出力する第一のフォトダイオードと、前記フィルタで分岐された前記第二の波長の光に応じた電気信号を出力する第二のフォトダイオードと、前記第一のフォトダイオードから出力された電気信号の変化を、前記第二のフォトダイオードから出力された電気信号を基準として測定するロックインアンプと、を備えることを特徴とする検出装置。
- [21] 前記第二のフォトダイオードは、直流成分を除去できる交流対応型であることを特徴とする請求項20に記載の検出装置。
- [22] 前記ロックインアンプから出力される電気信号に基づき、測定結果を視覚情報として出力する結果出力部をさらに備えることを特徴とする請求項20に記載の検出装置。
- [23] 前記結果出力部は、前記電気信号をX-Yモードで表示できるオシロスコープを備えることを特徴とする請求項22に記載の検出装置。
- [24] 第一の波長を有する測定光と前記第一の波長とは異なる第二の波長を有する参照光を出射する光源と、前記測定光を第一の測定光と第二の測定光に、前記参照光を第一の参照光と第二の参照光に分岐させ、前記第一の測定光および前記第一の参照光、または前記第二の測定光および前記第二の参照光の周波数をシフトさせる周波数シフターと、前記第一の測定光および前記第一の参照光を被測定物に照射する照射部と、前記照射部にて前記被測定物に照射された前記第一の測定光および前記第一の参照光を、前記第二の測定光および前記第二の参照光に重畳す

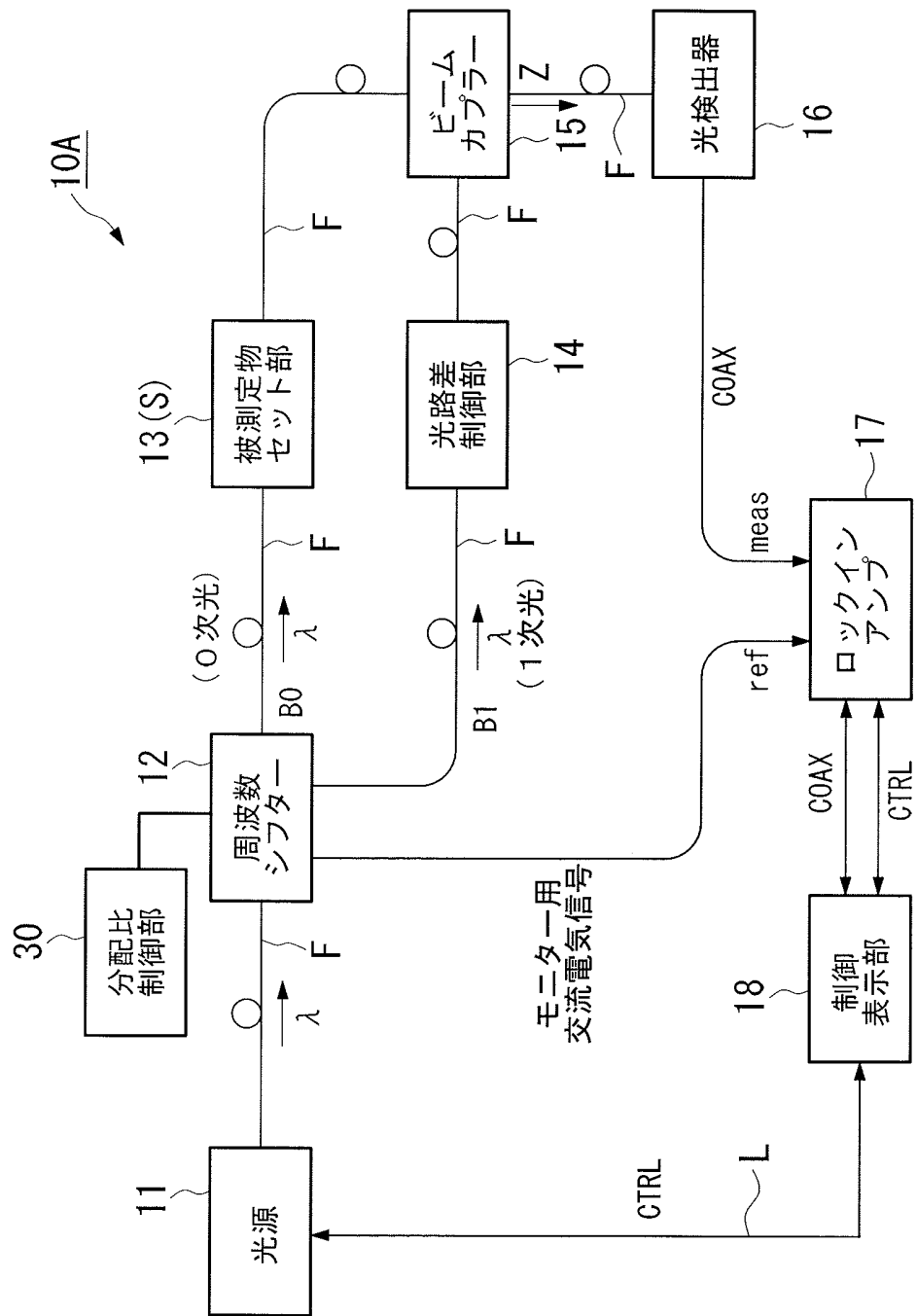
る重畳部と、前記重畳部で前記第一の測定光と前記第二の測定光が重畳することで生じるビートの位相を、前記重畳部で前記第一の参照光と前記第二の参照光が重畳することで生じるビートを基準として検出する位相検出部と、を備え、前記光源から出射する前記測定光の波長を掃引したとき、前記位相検出部にて、前記ビートの位相の変化を検出することで、前記被測定物の光路長を測定することを特徴とする光路長測定装置。

- [25] 所定の波長を有する測定光と当該測定光とは異なる波長の参照光を被測定物に照射し、前記被測定物の光学特性を測定する測定装置にて用いられる測定用器具であって、前記被測定物が、前記測定光の波長を含み、かつ前記参照光の波長を含まない波長領域の光を反射するものであるとき、前記測定光および前記参照光の前記被測定物に対する照射方向において、前記被測定物の前段または後段に設置され、前記参照光の波長を含み、かつ前記被測定物で反射する波長領域とは異なる波長領域の光を反射することを特徴とする測定用器具。
- [26] 前記測定用器具は、前記被測定物の後段側に接続される光ファイバグレーティングであることを特徴とする請求項25に記載の測定用器具。
- [27] 第一の周波数を有する第一の測定光と、前記第一の周波数とは異なる第二の周波数を有する第一の参照光と、前記第一の周波数から所定量だけ周波数がシフトした第二の測定光と、前記第二の周波数から前記所定量だけ周波数がシフトした第二の参照光を発生させるステップと、前記第一の測定光および前記第一の参照光を光学部材に照射するステップと、前記光学部材に照射された前記第一の測定光および前記第一の参照光を、前記第二の測定光および前記第二の参照光に重畳するステップと、前記第一の測定光と前記第二の測定光が重畳することで生じるビートの位相を、前記第一の参照光と前記第二の参照光が重畳することで生じるビートを基準として検出するステップと、検出された前記ビートの位相に基づき、前記光学部材の光学特性を測定するステップと、を有することを特徴とする光学部材評価方法。
- [28] 前記光学特性を測定するステップでは、前記光学部材の波長分散を測定することを特徴とする請求項27に記載の光学部材評価方法。
- [29] 前記光学特性を測定するステップでは、前記第一の測定光および前記第二の測定

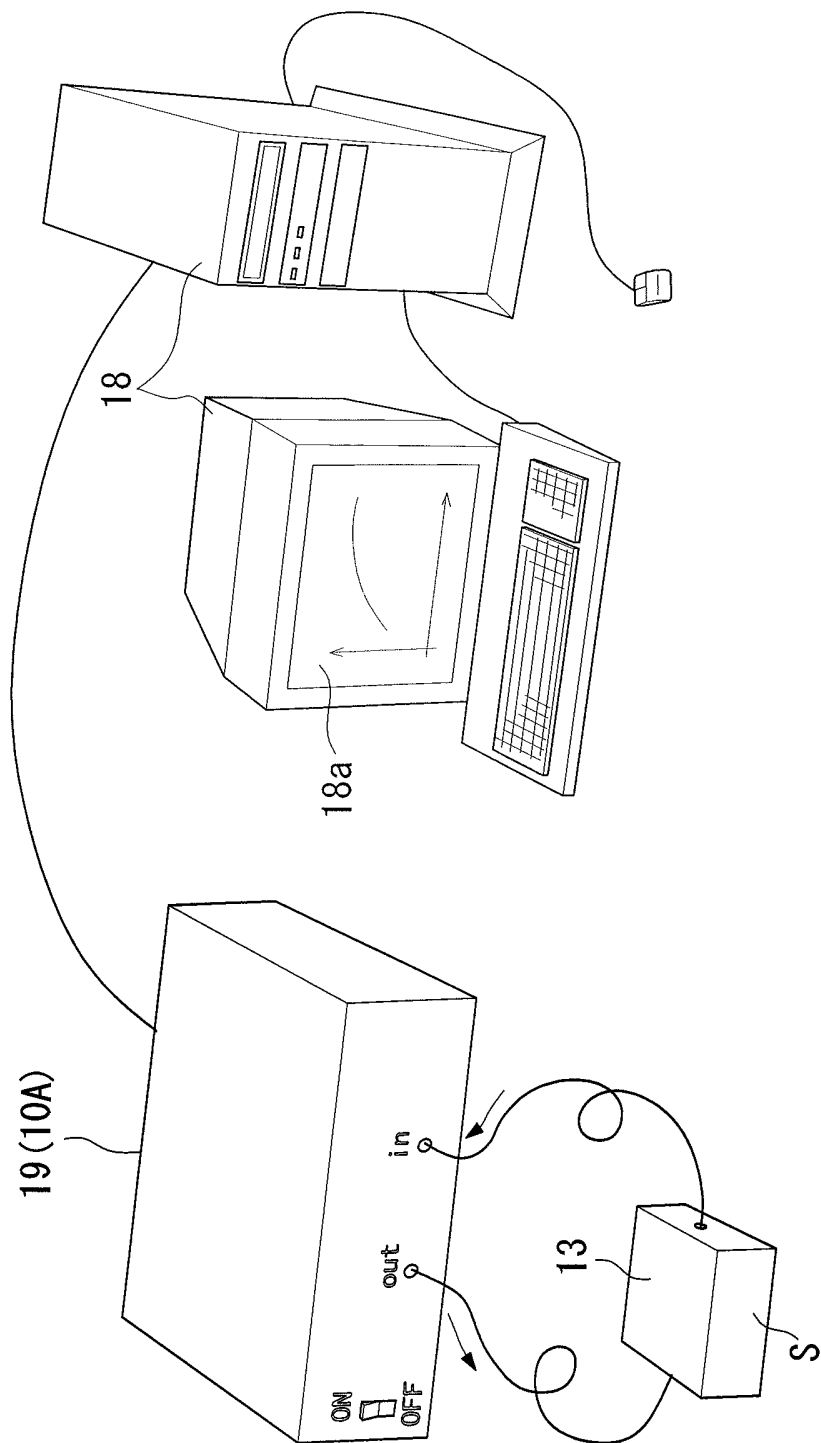
- 光の波長を掃引したとき、前記ビートの位相の変化を検出することで、前記被測定物の光路長を測定することを特徴とする請求項27に記載の光学部材評価方法。
- [30] 前記第二の測定光および前記第二の参照光の、前記第一の測定光および前記第一の参照光に対する周波数のシフト量の絶対値は、前記第一の測定光と前記第一の参照光との周波数の差の絶対値より小さいことを特徴とする請求項27に記載の光学部材評価方法。
- [31] 前記第二の測定光および前記第二の参照光の、前記第一の測定光および前記第一の参照光に対する周波数のシフト量の絶対値を、30〜200MHzとすることを特徴とする請求項30に記載の光学部材評価方法。
- [32] 所定波長および所定周波数を有する第一の光、前記第一の光とは周波数が異なる第二の光の一方を光学部材に照射するステップと、前記光学部材に照射された前記第一の光および前記第二の光の一方と、前記第一の光および前記第二の光の他方とを重畳するステップと、前記第一の光と前記第二の光の周波数の差分に応じた交流電気信号に基づき、前記第一の光と前記第二の光が重畳することで生じるビートの位相を検出するステップと、検出された前記ビートの位相に基づき、被測定物の波長分散を計測するステップと、を含むことを特徴とする光学部材評価方法。
- [33] 所定波長および所定周波数を有する第一の光、前記第一の光とは周波数が異なる第二の光の一方を検出対象に照射するステップと、前記検出対象に照射された前記第一の光および前記第二の光の一方と、前記第一の光および前記第二の光の他方とを重畳するステップと、前記第一の光と前記第二の光が重畳することで生じるビートの位相を検出することで、前記検出対象の温度変化を検出するステップと、を含むことを特徴とする温度変化検出方法。
- [34] 前記検出対象の温度変化を検出することで、当該検出対象の化学反応、生体反応を検出することを特徴とする請求項33に記載の温度変化検出方法。
- [35] 第一の周波数を有する第一の測定光と、前記第一の周波数とは異なる第二の周波数を有する第一の参照光と、前記第一の周波数から所定量だけ周波数がシフトした第二の測定光と、前記第二の周波数から前記所定量だけ周波数がシフトした第二の参照光を発生させるステップと、前記第一の測定光および前記第一の参照光を光

学部材に照射するステップと、前記光学部材に照射された前記第一の測定光および前記第一の参照光を、前記第二の測定光および前記第二の参照光に重畳するステップと、前記第一の測定光と前記第二の測定光が重畳することで生じるビートの位相を、前記第一の参照光と前記第二の参照光が重畳することで生じるビートを基準として検出するステップと、検出された前記ビートの位相に基づき、検出対象の温度変化を検出するステップと、を含むことを特徴とする温度変化検出方法。

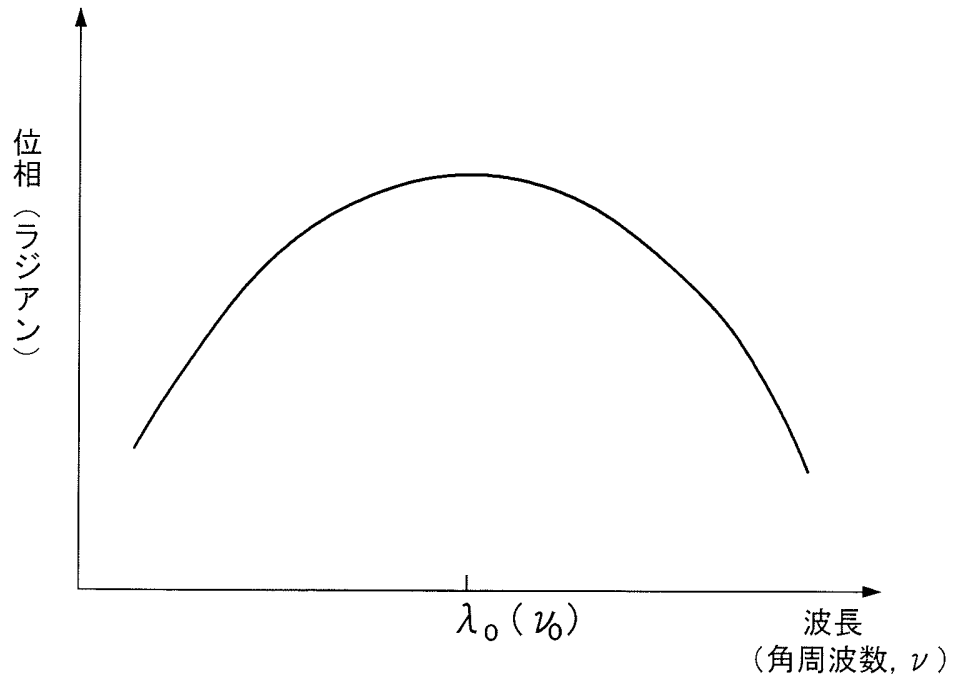
[図1]



[図2]

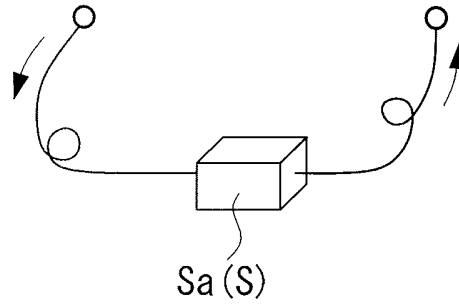


[図3]

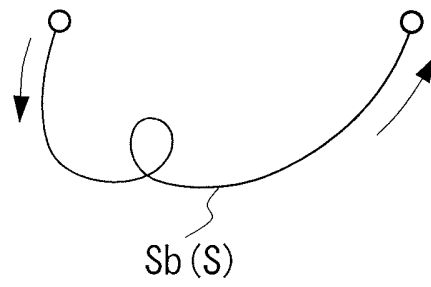


[図4]

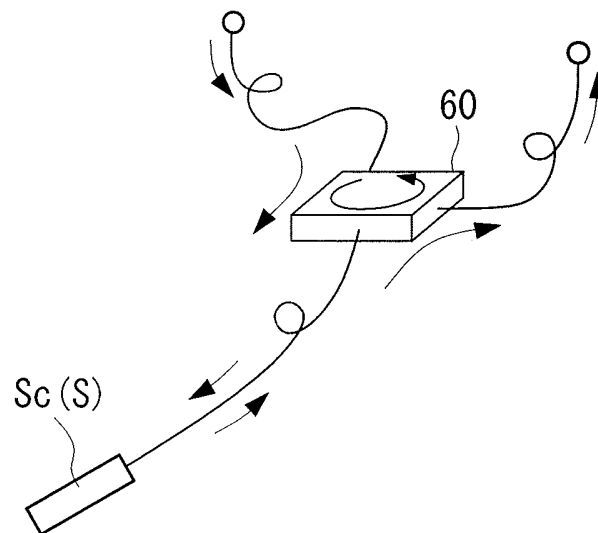
(A)



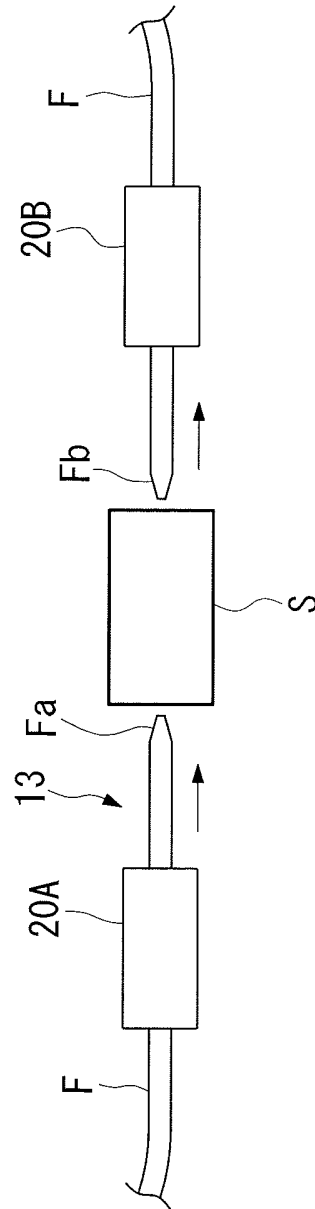
(B)



(C)

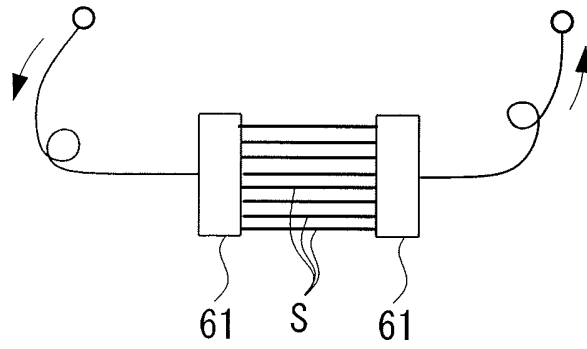


[図5]

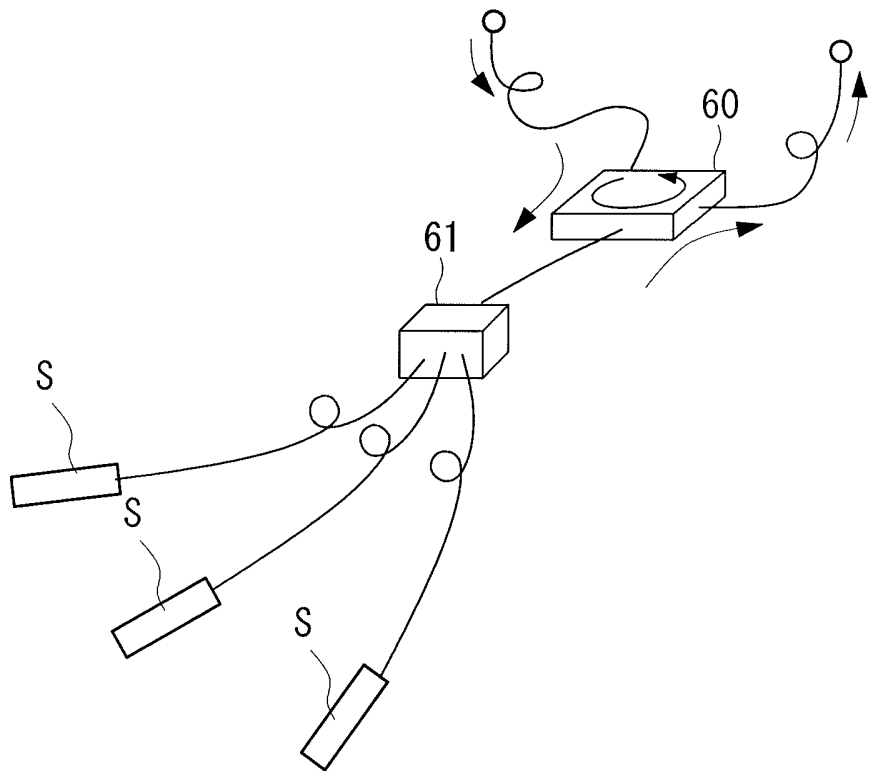


[図6]

(A)

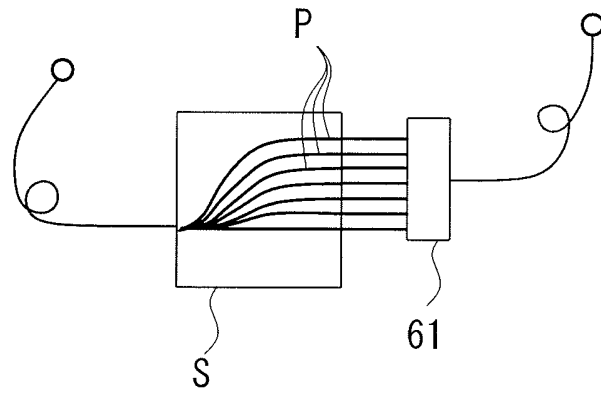


(B)

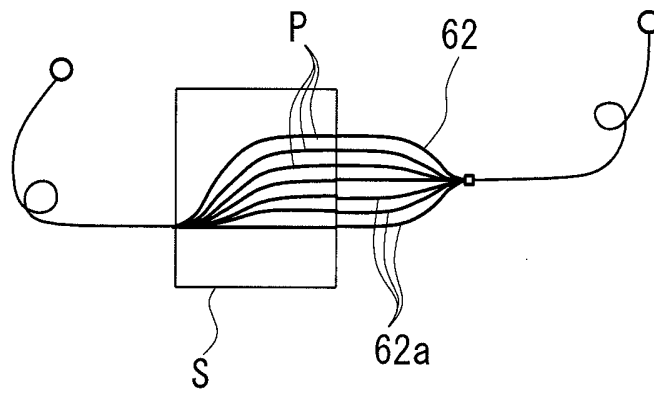


[図7]

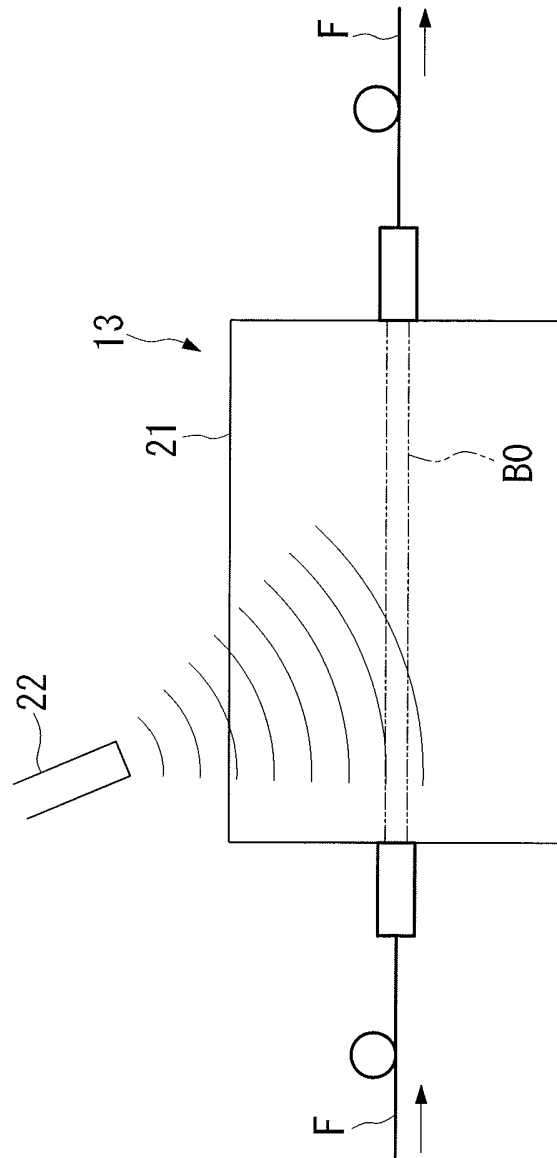
(A)



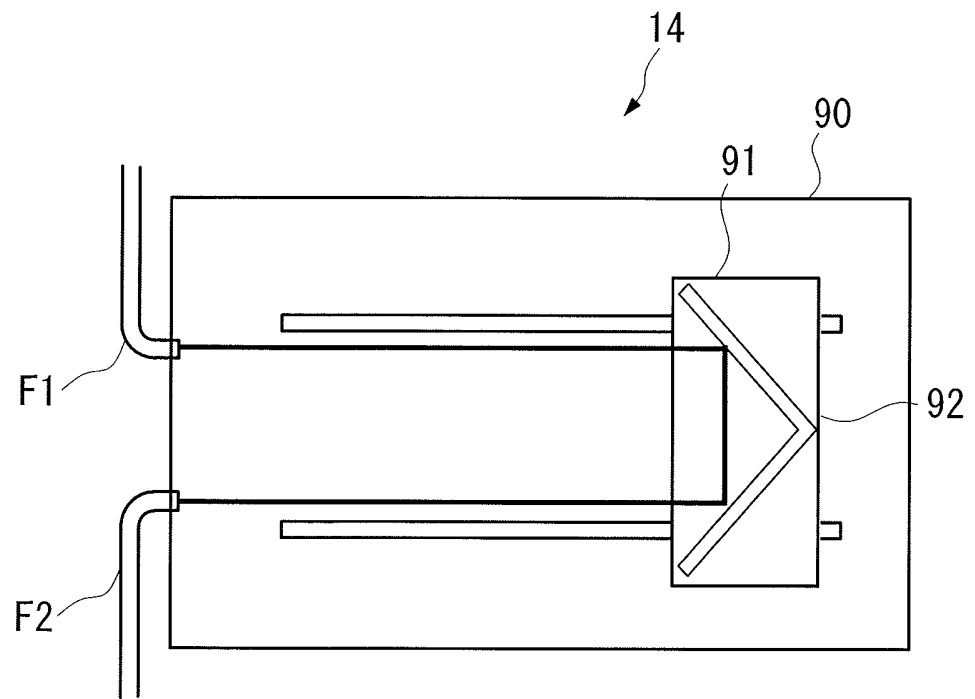
(B)



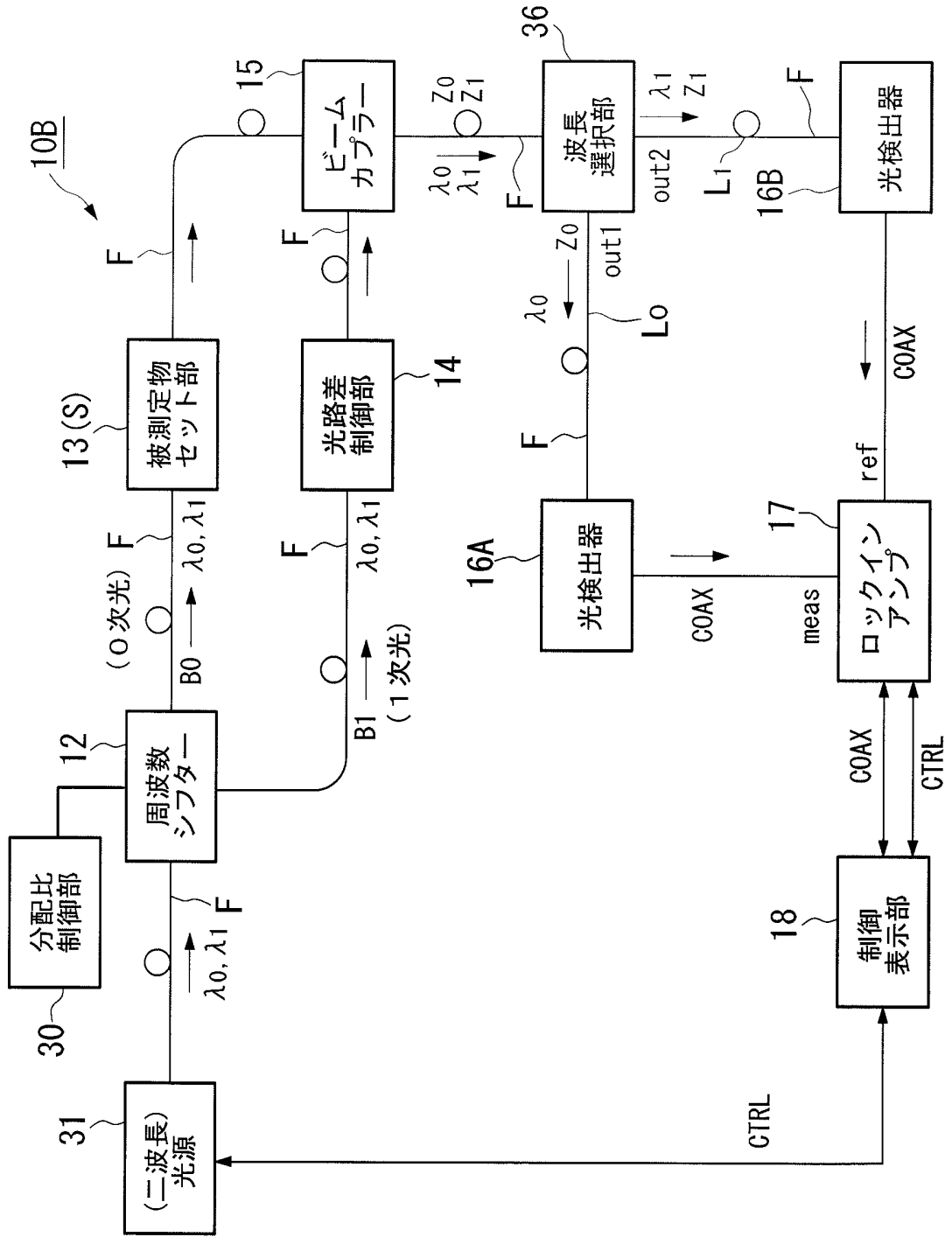
[図8]



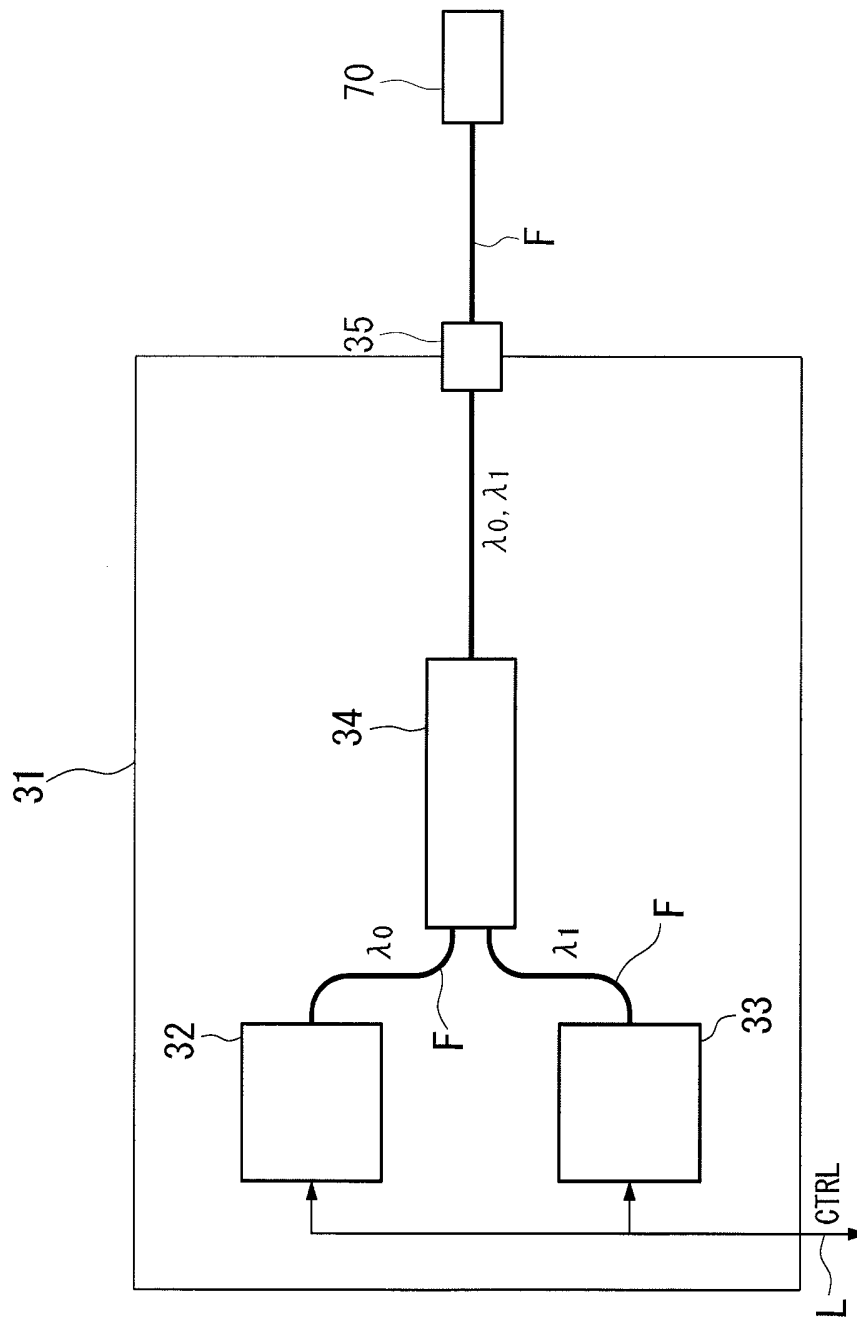
[図9]



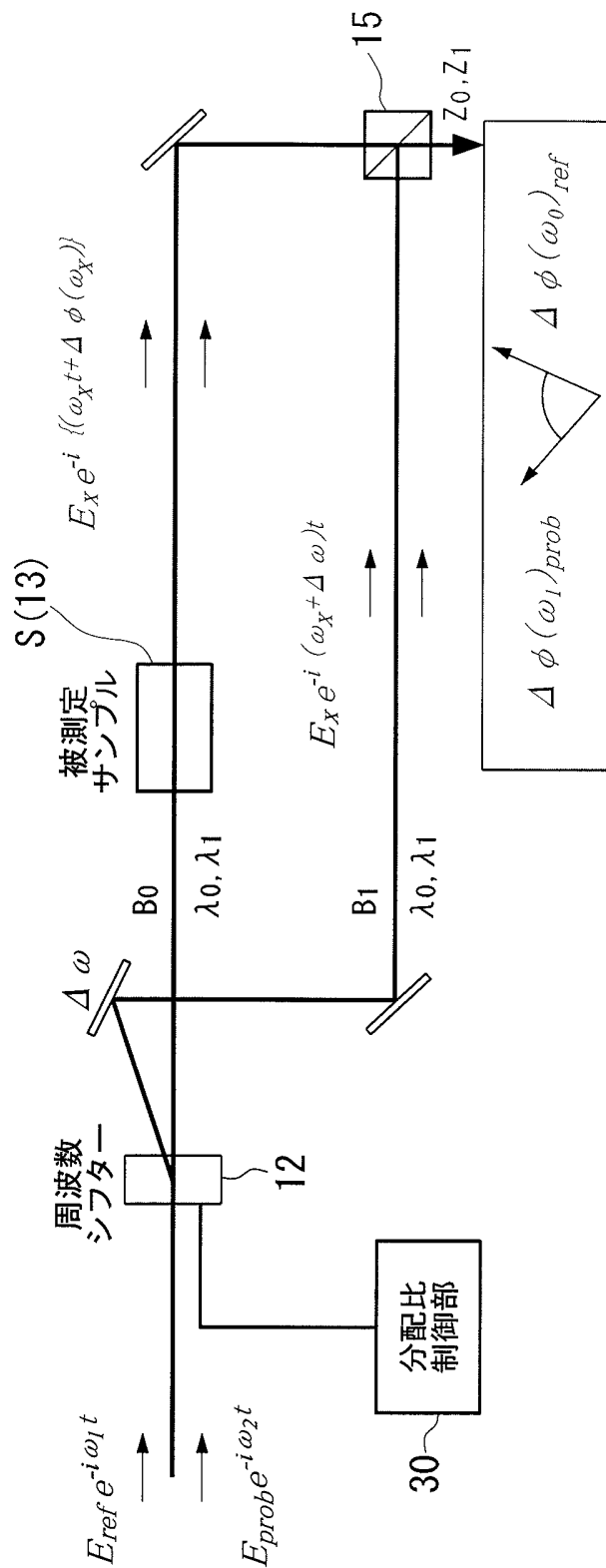
[図10]



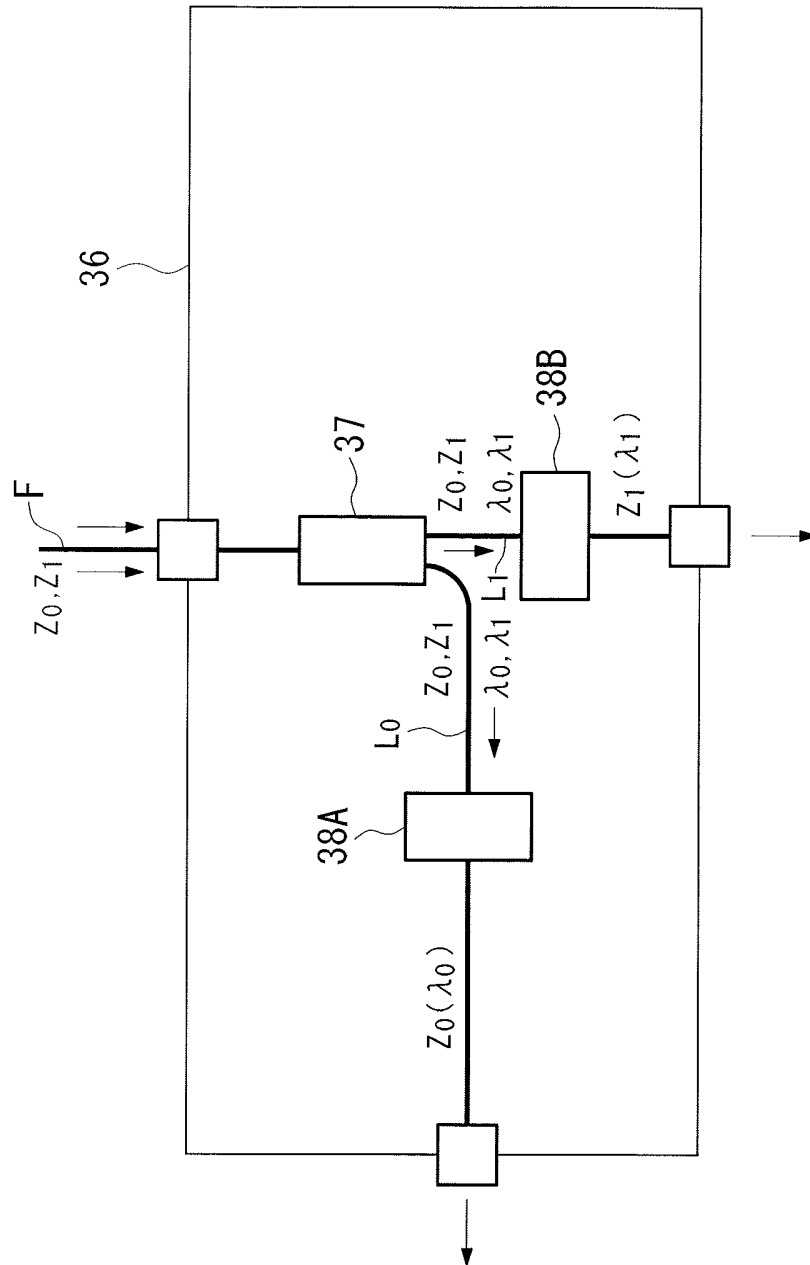
[図11]



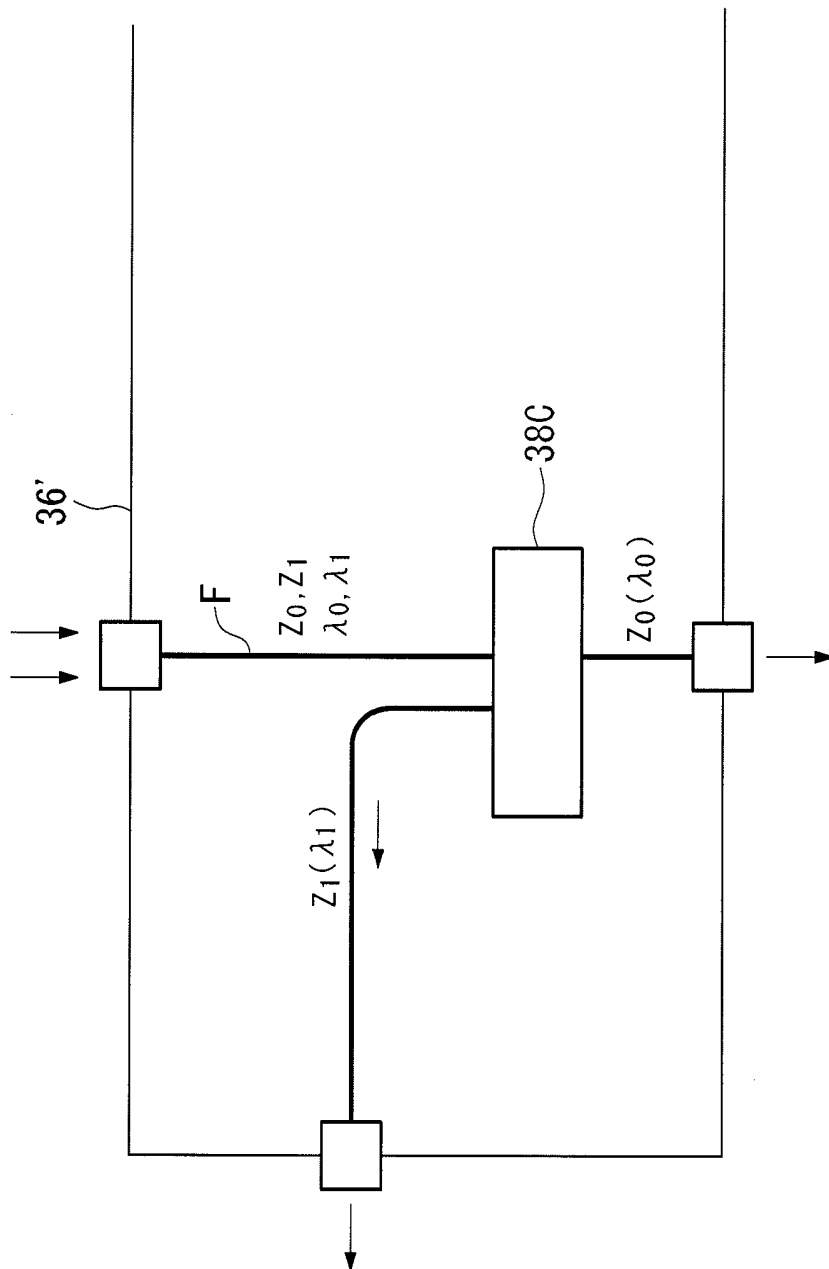
[図12]



[図13]

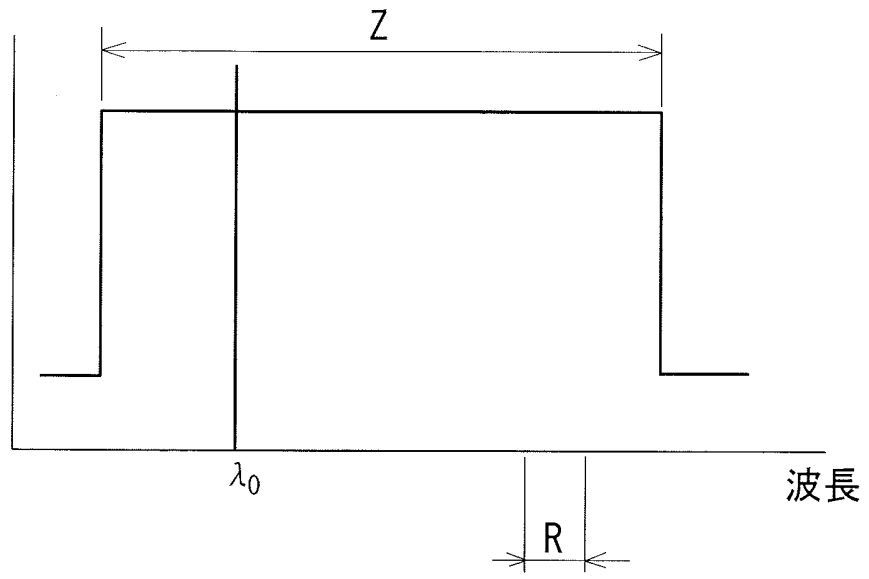


[図14]

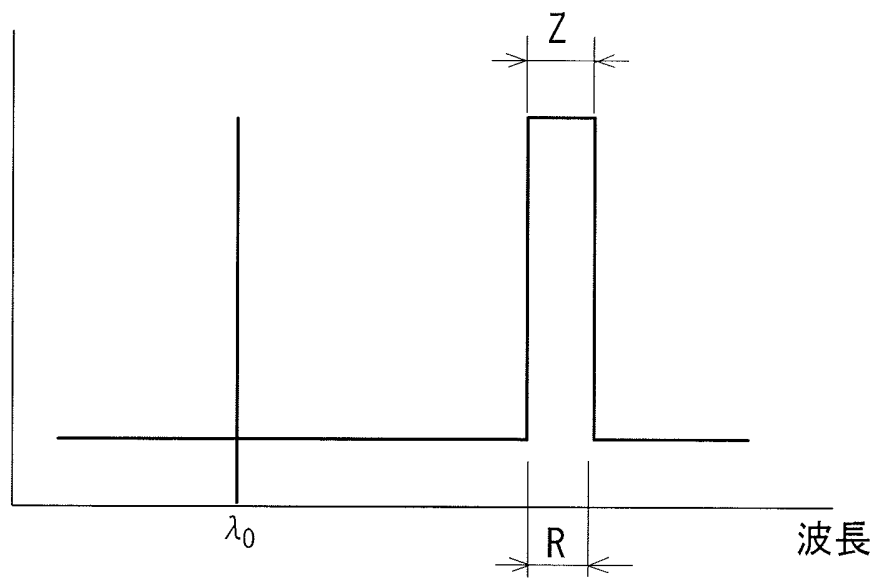


[図15]

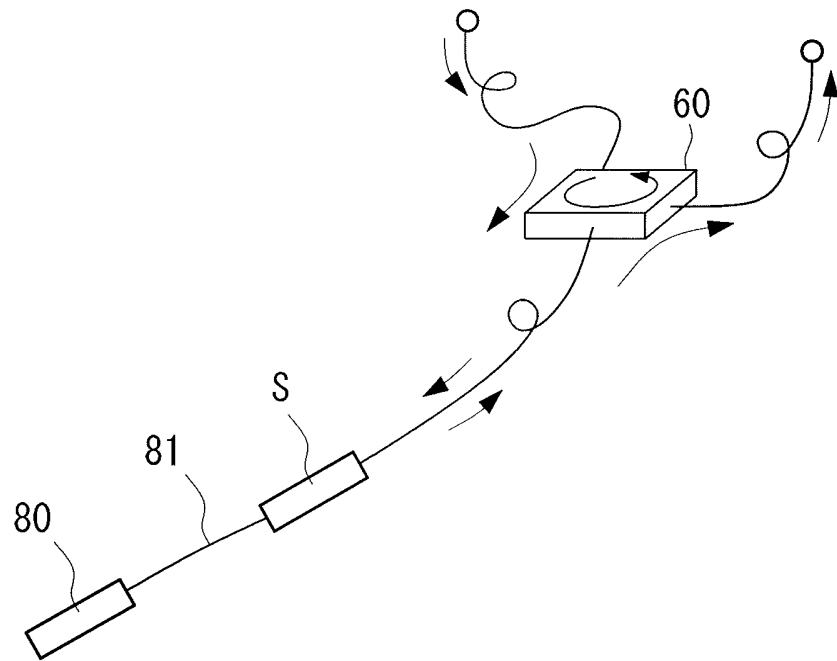
(A)



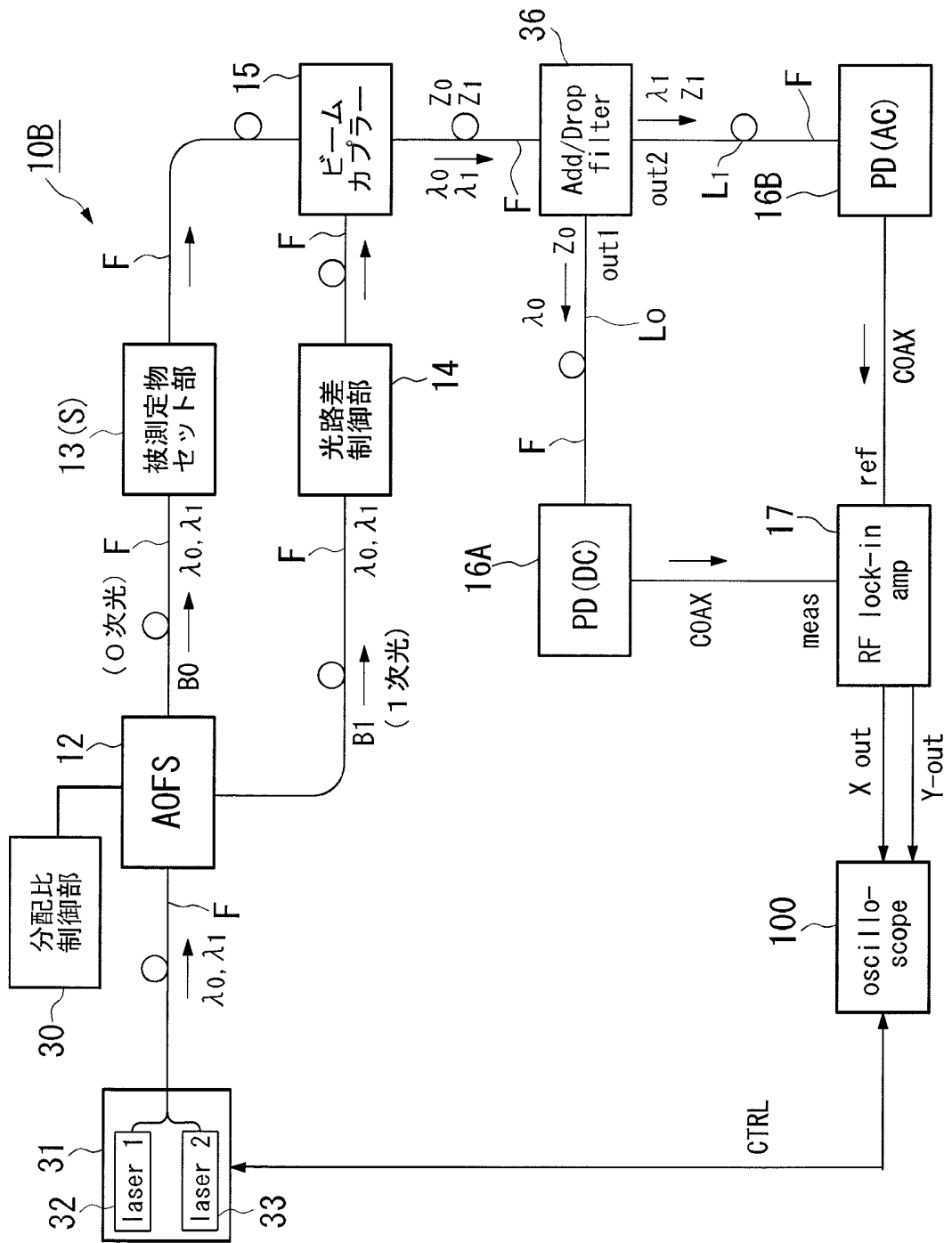
(B)



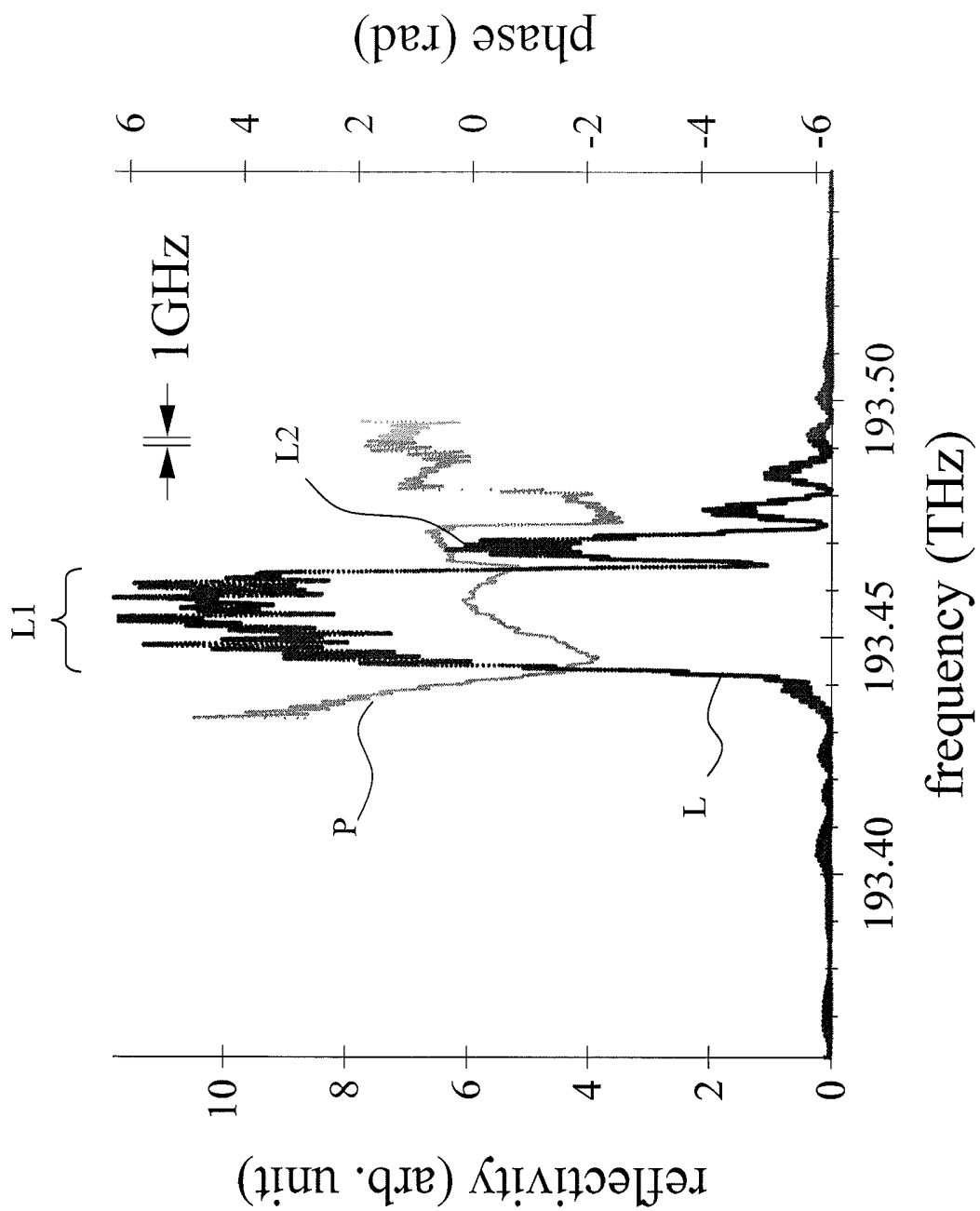
[図16]



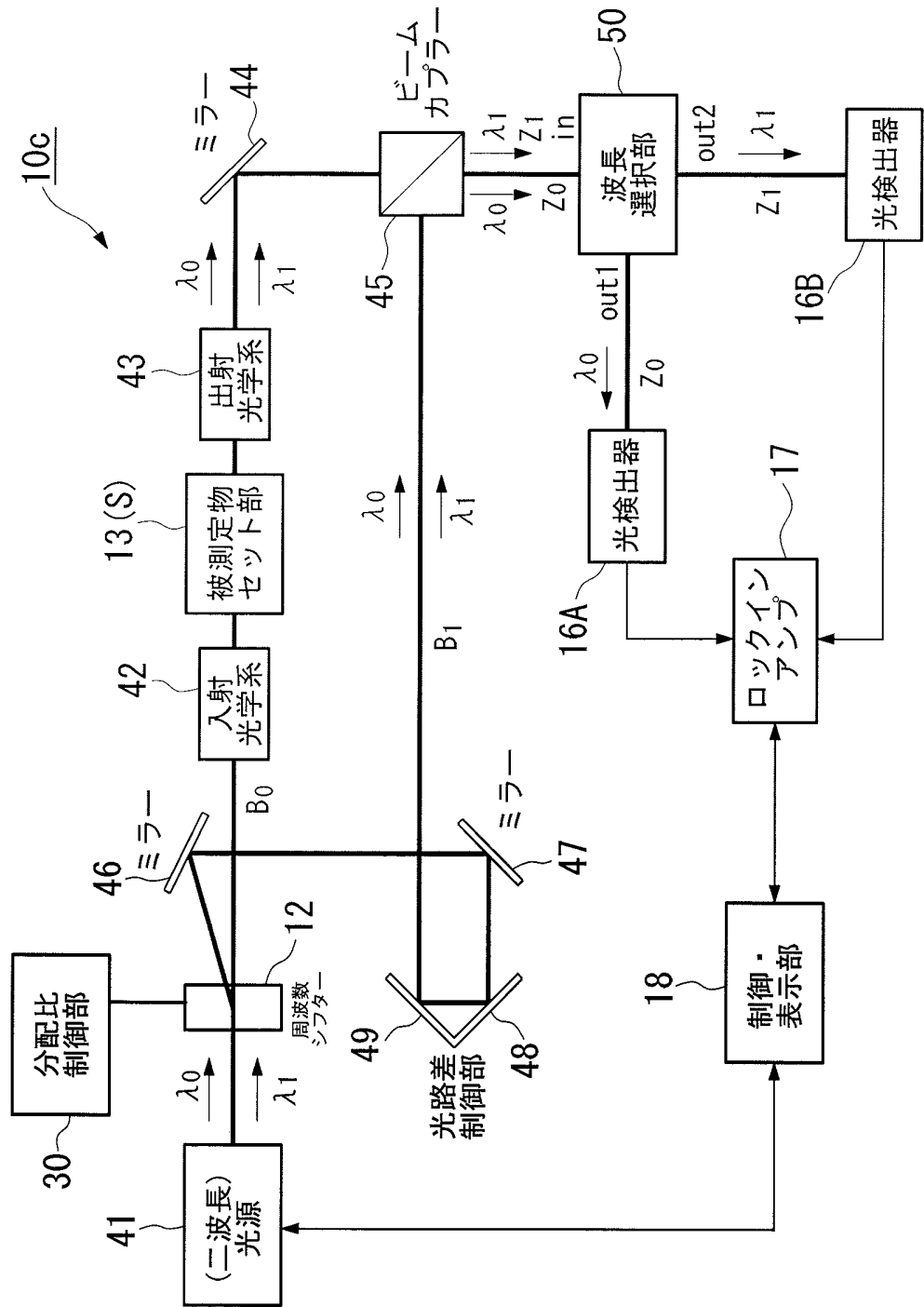
[図17]



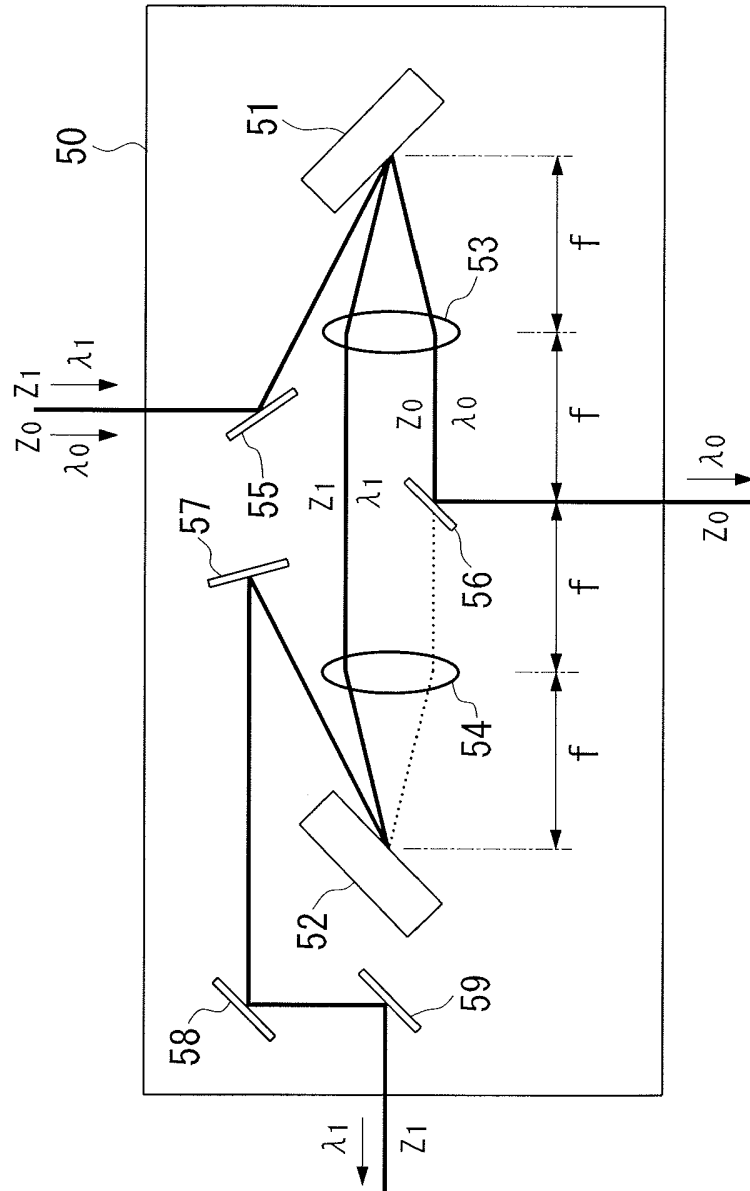
[図18]



[図19]



[図20]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011367

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 G01M11/00-11/02, G01N21/17-21/61, G01J9/00-9/04,
G01B9/00-9/10

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 1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

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.
X	JP 62-63833 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 20 March, 1987 (20.03.87), Full text; all drawings (Family: none)	15-16, 32
A	JP 10-19508 A (Nikon Corp.), 23 January, 1998 (23.01.98), Full text; all drawings (Family: none)	1-2, 7, 27
A	JP 61-247901 A (Director General, Agency of Industrial Science and Technology), 05 November, 1986 (05.11.86), Full text; all drawings (Family: none)	12-13, 18-19, 33, 35

 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 application or patent 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
25 October, 2004 (25.10.04)Date of mailing of the international search report
09 November, 2004 (09.11.04)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011367

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The inventions of claims 1-24 and 27-35 relate to configuration for applying the light from the light source to an object to be measured and detecting a beat generated by superimposing the light from the light source which has been subjected to frequency shift and the light from the object to be measured.

The inventions of claims 25-26 relate to a measurement instrument for reflecting light of a particular wavelength.

Accordingly, the inventions of claims 1-24, 27-35 and the inventions of claims 25-26 do not share a special technical feature and these inventions are not so linked as to form a single general inventive concept.

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

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 G01M11/00-11/02, G01N21/17-21/61, G01J9/00-9/04, G01B9/00-9/10		
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 1971-2004年 日本国登録実用新案公報 1994-2004年 日本国実用新案登録公報 1996-2004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
X	JP 62-63833 A (日本電信電話株式会社) 1987.03.20, 全文, 全図 (ファミリー無し)	15-16, 32
A	JP 10-19508 A (株式会社ニコン) 1998.01.23, 全文, 全図 (ファミリー無し)	1-2, 7, 27
A	JP 61-247901 A (工業技術院長) 1986.11.05, 全文, 全図 (ファミリー無し)	12-13, 18-19, 33, 35
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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	25.10.2004	国際調査報告の発送日
		09.11.2004
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 9409
日本国特許庁 (ISA/JP)	田邊 英治	
郵便番号100-8915		
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	電話番号 03-3581-1101	内線 3290

第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

請求の範囲1-24及び27-35に係る発明は、おおよそ光源からの光を被測定物に入射させ、光源からの光の周波数をシフトさせた光と被測定物からの光とを重畳することで生じるビートを検出する構成を備えている。

請求の範囲25-26に係る発明は、特定の波長の光を反射する測定用器具である。してみると、請求の範囲1-24及び27-35に係る発明と請求の範囲25-26に係る発明とは特別な技術的特徴を共有するものとはいえないから、これらの一群の発明は単一の一般的発明概念を形成するように連関しているとは認められない。

1. 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。