(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2023年3月9日(09.03.2023)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2023/032005 A1

(51) 国際特許分類:
G01B 11/00 (2006.01) *G01N 21/17* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2021/031748

(22) 国際出願日： 2021年8月30日(30.08.2021)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

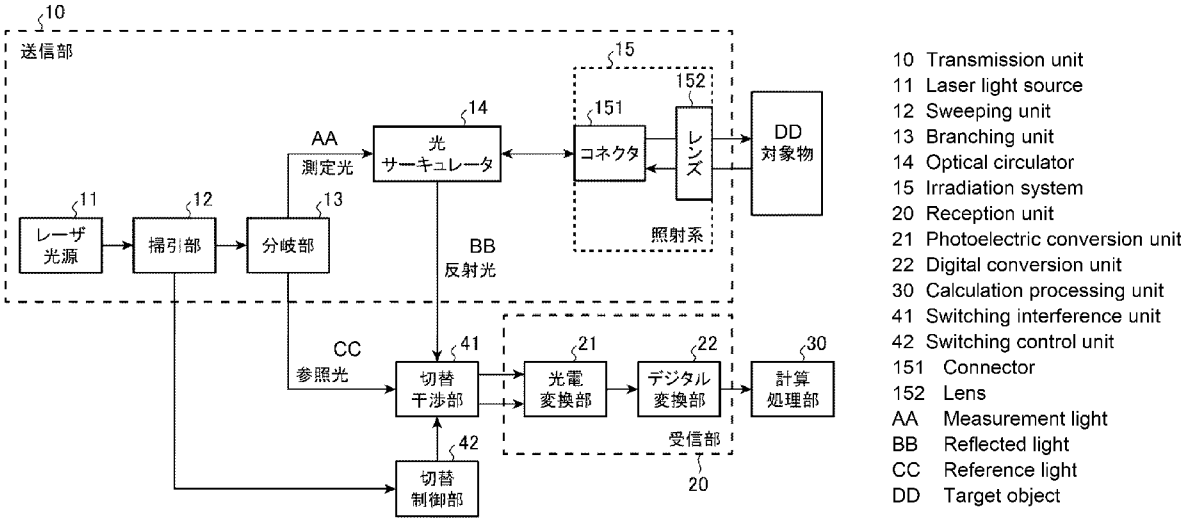
(71) 出願人: 三菱電機株式会社(**MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 山内 隆典 (**YAMAUCHI, Takanori**); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 西岡 隼也(**NISHIOKA, Junya**); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 宮城 ゆかり(**MIYAGI, Yukari**); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 後藤 広樹(**GOTO, Hiroki**); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 小西 良明(**KONISHI, Yoshiaki**); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人山王内外特許事務所 (**SANNO PATENT ATTORNEYS OFFICE**); 〒1000014 東京都千代田区永田町二丁目１２番４号 赤坂山王センタービル５階 Tokyo (JP).

(54) **Title:** OPTICAL MEASUREMENT DEVICE

(54) 発明の名称： 光測定装置



(57) **Abstract:** This optical measurement device comprises: a branching unit (13; 13A) that branches light emitted from a laser light source into measurement light and reference light; a switching interference unit (41; 41A; 41B) that outputs first interference light obtained by causing two orthogonal polarizing waves of the reference light to interfere with each other, second interference light obtained by causing two orthogonal polarizing waves of reflected light of the measurement light from a target object to interfere with each other, and third interference light obtained by causing the reference light and the reflected light to interfere with each other, the interference light being output in a state in which the orthogonal polarizing states of the respective interference light are separated; a photoelectric conversion unit (21) that receives each interference light and converts the received interference light into electrical signals; a digital conversion unit (23) that performs A/D

WO 2023/032005 A1

［続葉有］

(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, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

conversion on the electrical signals and outputs the digital signals after the A/D conversion as reception signals; and a calculation processing unit (30) that converts the reception signals into a frequency spectrum to obtain an optical path length difference between the two orthogonal polarizing waves of the reference light, an optical path length difference between the two orthogonal polarizing waves of the reflected light, and an optical path length difference between the reference light and the measurement light.

(57) 要約：光測定装置は、レーザ光源から出射された光を測定光と参照光に分岐する分岐部（１３；１３Ａ）と、参照光の直交する二偏波を干渉させた第１の干渉光、測定光の対象物からの反射光の直交する二偏波を干渉させた第２の干渉光、および参照光と反射光を干渉させた第３の干渉光を、各干渉光の直交する偏波状態を分離した状態で出力する切替干渉部（４１；４１Ａ；４１Ｂ）と、各干渉光を受光して、受光した干渉光を電気信号に変換する光電変換部（２１）と、電気信号をＡ／Ｄ変換して、Ａ／Ｄ変換後のデジタル信号を受信信号として出力するデジタル変換部（２３）と、受信信号を周波数スペクトルに変換して、参照光の直交する二偏波間の光路長差分、反射光の直交する二偏波間の光路長差分、および参照光と測定光の光路長差分を得る計算処理部（３０）と、を備える。

明　細　書

発明の名称 ： 光測定装置

技術分野

[0001] 本開示は光測定技術に関する。

背景技術

[0002] 光の干渉現象を用いた光測距技術がある。光の干渉現象を用いた光測距技術によれば、光源から出射された光は参照光と測定光に分岐され、参照光と測定光が対象物上で反射した光である反射光とが干渉させられ、参照光と反射光が強め合う条件に基づいて光源から対象物までの距離が測定される。このような光測距技術を適用した断層計は、光干渉断層計（ＯＣＴ：Optical Coherence Tomography）として知られている。

[0003] このような光測距技術の例には、波長走査干渉方式および白色干渉方式が含まれる。波長走査干渉方式では、光源から出射された光が波長掃引され、波長掃引された光が測定光と参照光に分岐される。測定光は対象物上で反射して反射光となり、反射光と参照光を干渉させて干渉光を発生させる。干渉光の周波数を測定することにより、光源から対象物までの距離が測定される。波長走査干渉方式を適用した光干渉断層計は、波長掃引型光干渉断層計（ＳＳ－ＯＣＴ：Swept Source-OCT）として知られている。

[0004] 一方、白色干渉方式は、スペクトルドメイン干渉方式とも呼ばれ、広帯域の光を出射する白色光源を用いる。白色干渉方式は、光源が出射した広帯域の光を測定光と参照光に分岐する。測定光は対象物上で反射して反射光となり、反射光と参照光を干渉させて干渉光を発生させる。干渉光を分光器により空間的にスペクトル分光し、干渉条件に基づいて生じた干渉縞をフーリエ変換することで、光源から対象物までの距離を測定する。白色干渉方式を適用した光干渉断層計は、スペクトルドメイン型光干渉断層計（ＳＤ－ＯＣＴ：Spectral Domain-OCT）として知られている。

[0005] これらの何れの方式も、測定光と参照光の光路長差が光源のコヒーレンス

長の範囲内にあるときに光干渉が検出されることを利用する。一度の測定で測定可能な範囲を決定するコヒーレンス長は光源の仕様によって異なり、光源の線幅に反比例する。すなわち、線幅が狭いほどコヒーレンス長は長くなり、一度の測定で測定可能な範囲は広くなる、しかしながら、一般的に狭い線幅を持つ光源ほどコストが高いので、低コスト光源で広い測定範囲をもつためには工夫が必要となる。

[0006] 特許文献１には、可動ミラーを用いた参照光の遅延長を調整する機構を設け、参照光の光路長を変化させて測定を繰り返すことで、測定範囲を実質的に拡大する技術が開示されている。測定対象内の測定したい任意の場所からの反射光の光路長と参照光の光路長とが同一となるように参照光の光路長が調整され、反射光と参照光が合波される。参照光の光路長を測定周期に応じて略同時に制御することで、短いコヒーレンス長を持つ低コスト光源で、実質的な測定可能範囲を拡大している。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開２００９－２４４２０７号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] しかしながら、調整した参照光の光路長は周囲の環境温度に応じて変化するため、制御した参照光の光路長は制御値と完全には一致せず、常に変動が生じる。そのため、特許文献１の技術によれば、継接ぎのようにコヒーレンス長ごとに不連続点が生じることがある。

[0009] 本開示はこのような問題を解決するためになされたものであり、環境温度による光路長変動の影響を抑制した測距ができる光測定技術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

[0010] 本開示の実施形態による光特定装置は、レーザ光源から出射された光を測

定光と参照光に分岐する分岐部と、前記参照光の直交する二偏波を干渉させた第１の干渉光、前記測定光の対象物からの反射光の直交する二偏波を干渉させた第２の干渉光、および前記参照光と前記反射光を干渉させた第３の干渉光を、各干渉光の直交する偏波状態を分離した状態で出力する切替干渉部と、各干渉光を受光して、受光した干渉光を電気信号に変換する光電変換部と、前記電気信号をＡＤ変換して、ＡＤ変換後のデジタル信号を受信信号として出力するデジタル変換部と、前記受信信号を周波数スペクトルに変換して、前記参照光の直交する二偏波間の光路長差分、前記反射光の直交する二偏波間の光路長差分、および前記参照光と前記測定光の光路長差分を得る計算処理部と、を備える。

発明の効果

[0011] 本開示の実施形態による光測定装置によれば、環境温度による光路長変動の影響を抑制した測距ができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]図１は、実施の形態１に係る光測定装置の構成例を示すブロック図である。

[図2A]図２Ａは、実施の形態１に係る送信部と対象物の間の距離がある特定距離である場合の切替干渉部に入力される参照光と反射光の関係の一例を示す図である。

[図2B]図２Ｂは、図２Ａに示す参照光と反射光から得られる干渉光強度の時間波形の一例を示す図である。

[図2C]図２Ｃは、ある時点における干渉光強度の時間波形に基づいて、計算処理部から出力される周波数スペクトルの一例を示す図である。

[図3A]図３は、実施の形態１に係る光測定装置の切替部および干渉部について説明する図である。図３Ａは、参照光の温度変動を測定する場合の形態を示す図である。

[図3B]図３は、実施の形態１に係る光測定装置の切替部および干渉部について説明する図である。図３Ｂは、反射光の温度変動を測定する場合の形態を

示す図である。

[図3C]図３は、実施の形態１に係る光測定装置の切替部および干渉部について説明する図である。図３Ｃは、参照光と測定光の同一偏波の合波から、対象物までの測距を行う場合の形態を示す図である。

[図4]図４は、実施の形態１に係る光測定装置の動作について説明するフローチャートである。

[図5]図５は、実施の形態２に係る光測定装置の構成例を示すブロック図である。

[図6]図６は、実施の形態２に係る光測定装置の切替部および干渉部について説明する図である。

[図7]図７は、実施の形態３に係る光測定装置の構成例を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0013] 以下、添付の図面を参照して、本開示における種々の実施形態について詳細に説明する。なお、図面において同一または類似の符号を付された構成要素は、同一または類似の構成または機能を有するものであり、そのような構成要素についての重複する説明は省略する。

[0014] 実施の形態１.

＜構成＞

図１から図４を参照して、本開示の実施の形態１による光測定装置について説明する。図１に示されているように、実施の形態１による光測定装置は、送信部１０、切替干渉部４１、切替制御部４２、受信部２０、および計算処理部３０を備える。送信部１０は、レーザ光源１１、掃引部１２、分岐部１３、光サーキュレータ１４、および照射系１５を含む。受信部２０は、光電変換部２１およびデジタル変換部２２を含む。

[0015] （レーザ光源）

レーザ光源１１は、連続光であるレーザ光を出射する。レーザ光源１１は、例えば半導体レーザであり、所定の周波数のレーザ光を出射する。

[0016]（掃引部）

掃引部１２は、レーザ光源１１が出射したレーザ光を波長掃引する。掃引部１２は、掃引後のレーザ光を掃引光として出力する。掃引部１２が出力する掃引光は、連続波のレーザ光である。

[0017]（分岐部）

分岐部１３は、光カプラ等により構成され、入力された光を所定のパワー比率で分岐する。実施の形態１においては、分岐部１３は、掃引部から出力された掃引光を所定のパワー比率で分岐し、分岐後のレーザ光を測定光及び参照光として出力する。測定光は光サーキュレータ１４に導かれ、参照光は切替干渉部４１に導かれる。

[0018]（光サーキュレータ）

光サーキュレータ１４は、例えば３ポート光サーキュレータにより構成され、測定光を照射系１５に導く。また、光サーキュレータ１４は、照射された測定光が対象物上で反射した光である反射光を切替干渉部４１に導く。

[0019]（照射系）

照射系１５は、測定光を対象物に照射する。例えば、照射系１５は、光ファイバを接続するコネクタ１５１と、１個以上の透過レンズ又は１個以上の反射レンズ等のレンズ１５２とにより構成され、照射系１５は、光サーキュレータ１４が照射系１５に導いた測定光をコリメートして集光した上で集光した測定光を対象物に照射する。あるいは、レンズ１５２を用いないで、測定光をコネクタ１５１の末端から対象物に直接照射してもよい。また、照射系１５は、反射光を光サーキュレータ１４に導く。

[0020]（切替干渉部；切替制御部）

切替干渉部４１には参照光および反射光が入力され、切替干渉部４１は、参照光の直交する二偏波を干渉させた第１の干渉光、反射光の直交する二偏波を干渉させた第２の干渉光、または参照光と反射光を干渉させた第３の干渉光を出力する。このような機能を実現するため、切替干渉部４１は、図３Ａ～図３Ｃに示されているように、切替部４１１および干渉部４１２を備え

る。

[0021] 切替部４１１は、光経路を、参照光の直交する二偏波のパターン、反射光の直交する二偏波のパターン、または参照光と反射光のパターンの何れか１つのパターンに順次切り替え、各パターンにおける二偏波または参照光と反射光を干渉部４１２へ出力する。光経路の切替えは、切替制御部４２からの信号に基づいて、光スイッチおよびＶＯＡ（Variable Optical Attenuator）を用いて行う。光経路の切替えを掃引部１２の掃引ごとに行うため、切替制御部４２における経路を切り替える時間は掃引部１２からの電気信号によって制御する。このとき、切替えの頻度比率は各パターン間で均等でもよいし、不均等でもよい。例えば、対象物からの反射光強度が低い場合、対象物からの反射光をより得るため、参照光の直交する二偏波を干渉させるパターンの経路へ切り替える頻度比率を反射光強度に応じて適応的に下げてもよい。

[0022] 干渉部４１２は、例えばファイバカプラにより構成され、入力された光を干渉させる。干渉部４１２は、参照光の直交する二偏波、反射光の直交する二偏波、または同一偏波の参照光と反射光を干渉させる。また、干渉部４１２は、参照光の直交する二偏波または反射光の直交する二偏波を干渉させた後の干渉光を、各干渉光の直交する偏波状態を分離した状態で出力する。また、干渉部４１２は、同一偏波の参照光と反射光を干渉させた後の干渉光を出力する。経路の切替えを掃引ごとに行うことにより、各干渉光は略同時に得られる。干渉部４１２には、直交する二つの偏波を分離できる部材を用いる。例えば、光情報通信で用いられるＩＣＲ（Intradyne Coherent Receiver）を用いることで、直交する二偏波を分離できる。切替干渉部４１の更なる詳細については後述する。

[0023]（光電変換部）

光電変換部２１は、切替干渉部４１が出力した干渉光を光電変換して、干渉光を示すアナログ信号を出力する。

[0024]（デジタル変換部）

デジタル変換部２２は、アナログ信号をＡ／Ｄ変換して、Ａ／Ｄ変換後のデジタル信号を受信信号として出力する。

[0025] 実施の形態１に係る光測定装置は、光電変換部２１、及びデジタル変換部２２により、受信部が構成されている。すなわち、受信部は、参照光、及び、測定光が対象物で反射した光である反射光を受けて、干渉光を示す受信信号を出力する。

[0026]（計算処理部）

計算処理部３０は、受信信号に基づいて、干渉光の周波数スペクトルから測定距離を出力する。より具体的には、例えば、計算処理部３０は、受信信号をフーリエ変換することにより、干渉光の周波数スペクトルを測定する。測定距離は測定光と参照光の光路長差によって決まる。分岐部１３からの両者の光路長差が０のとき得られる周波数は０となり、光路長差に比例して周波数は大きくなる。この値を測定することで、測定対象の測距を行う。このとき、周波数スペクトルが得られる距離はコヒーレンス長によって制限される。

[0027] レーザ光源１１と掃引部１２の間、掃引部１２と分岐部１３の間、分岐部１３と切替干渉部４１の間、切替干渉部４１と光電変換部２１の間、分岐部１３と光サーキュレータ１４の間、光サーキュレータ１４とコネクタ１５１の間、および光サーキュレータ１４と切替干渉部４１の間は、例えば光ファイバにより接続され、レーザ光は当該光ファイバを介して導かれる。特に、分岐部１３から光電変換部２１に至る光が伝搬する経路は偏波保持ファイバのように直交する二つの偏波状態を保持する偏波保持ファイバで構成される。すなわち、分岐部１３と切替干渉部４１の間の経路、切替干渉部４１と光電変換部２１の間の経路、分岐部１３と光サーキュレータ１４の間の経路、光サーキュレータ１４とコネクタ１５１の間の経路、および光サーキュレータ１４と切替干渉部４１の間の経路は偏波保持ファイバで構成される。

[0028] 切替制御部４２および計算処理部３０の全部または一部は、例えば、不図示のプロセッサ及びメモリを備えたコンピュータにより実現される。メモリ

に格納されたプログラムがプロセッサに読み出されて実行されることにより、それらの機能部が実現される。プログラムは、ソフトウェア、ファームウェア又はソフトウェアとファームウェアとの組合せとして実現される。メモリの例には、例えば、ＲＡＭ（Ｒａｎｄｏｍ　Ａｃｃｅｓｓ　Ｍｅｍｏｒｙ）、ＲＯＭ（Ｒｅａｄ　Ｏｎｌｙ　Ｍｅｍｏｒｙ）、フラッシュメモリ、ＥＰＲＯＭ（Ｅｒａｓａｂｌｅ　Ｐｒｏｇｒａｍｍａｂｌｅ　Ｒｅａｄ　Ｏｎｌｙ　Ｍｅｍｏｒｙ）、ＥＥＰＲＯＭ（Ｅｌｅｃｔｒｉｃａｌｌｙ－ＥＰＲＯＭ）などの不揮発性又は揮発性の半導体メモリ、磁気ディスク、フレキシブルディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ミニディスク、ＤＶＤが含まれる。

[0029] 別の例として、切替制御部４２および計算処理部３０の全部または一部は、プロセッサ及びメモリに替えて不図示の処理回路により実現されてもよい。この場合、処理回路は、例えば、単一回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、ＡＳＩＣ（Ａｐｐｌｉｃａｔｉｏｎ　Ｓｐｅｃｉｆｉｃ　Ｉｎｔｅｇｒａｔｅｄ　Ｃｉｒｃｕｉｔ）、ＦＰＧＡ（Ｆｉｅｌｄ－Ｐｒｏｇｒａｍｍａｂｌｅ　Ｇａｔｅ　Ａｒｒａｙ）、またはこれらの組合せである。

[0030] 次に、図２を参照して、実施の形態１に係る光測定装置が対象物の位置を測定する方法について説明する。図２Ａは参照光と反射光の時間-周波数の関係の一例、図２Ｂは干渉光の時間に対する強度グラフの一例、図２Ｃは干渉光に対しフーリエ変換を施した後の周波数スペクトルの一例をそれぞれ示している。

[0031] 反射光は、対象物までの距離に応じて、参照光に対して遅延する。そのため、図２Ａにおいて、反射光は、参照光に対して時間ΔＴだけ右側にずれた状態で示されている。対象物が遠いと時間ΔＴは大きくなり、時間に比例して周波数差も大きくなる。なお、参照光の経路長が反射光の取りえる経路長よりも長く設定されている場合には、参照光が反射光に対して遅延する。

[0032] 図２Ｂは、時間ΔＴだけずれた参照光と反射光を干渉部４１２で合波する

ことで得られる干渉光の時間に対する強度信号を表している.

[0033] 計算処理部３０は周波数測定機能を有し、計算処理部３０は干渉光に基づいて干渉光の周波数成分毎の強度（周波数スペクトル）を測定する。図２Ｃは、図２Ｂに示す干渉光に基づいて周波数測定部が測定した干渉光の周波数スペクトルを示す図である。図２Ｃにおいて、横軸は周波数を、縦軸は干渉光の強度を示している。周波数スペクトルの強度は参照光と反射光の距離差分が大きくなるほど低下する。ここで、最大値に対して3ｄＢ低下するとき（強度が１／２になるとき）の距離差分の値がコヒーレンス長と定義され、次の式（１）により表される。

$$l_c = \frac{c}{\Delta\nu}\frac{2\ln 2}{\pi} \qquad (1)$$

[0034] 式（１）において、ｃは光速、Δνは光源の線幅を示す。式（１）に示されるように、コヒーレンス長は光源の線幅に反比例する。レーザ光源のコヒーレンス長はコストと反比例し、狭い線幅のレーザ光源ほどコストが高い。低コストなレーザ光源のコヒーレンス長は、数十ｍｍ未満に限定される。

[0035] 次に、図３を参照して、実施の形態１に係る温度による変動を補正する方法について説明する。図３Ａは参照光の直交する二偏波間の光路長差を測定した場合の切替部４１１の経路と周波数スペクトル例、図３Ｂは反射光の直交する二偏波間の光路長差を測定した場合の切替部４１１と周波数スペクトル例、図３Ｃは参照光と反射光の光路長差から対象物までの距離を測定した場合の切替部４１１と周波数スペクトル例をそれぞれ示している。対象物までの距離を測定するとき、直交する２つの偏光状態の内どちらか片方の偏光状態のみを用いる。

[0036] 光路長は屈折率と長さの積で表される。本開示における干渉系を用いる測定方法は、参照光と反射光の二つの経路の光路長差分を測定することで測距を行う。光ファイバなどを光路として用いる際、屈折率及び材料のガラス長さは温度依存性が存在するため、環境温度の変化に応じて光路長が変化する。この比例係数を線膨張係数αとする。

[0037] 光ファイバなどの光路を光が伝搬する際、伝搬経路である光ファイバコア断面は製造で生じるばらつきの交差内で完全な真円の形状にならない。そのため、光は伝搬中に主に二つの直交する偏波状態（偏波モード）に分離される。そのため、直交する二つの偏波状態には屈折率差が生じ、それに応じて光路長も二つの偏波間で異なる。この屈折率差を複屈折と呼ぶ。一般的な光ファイバは複屈折が長手方向に不均等に分布し、温度分布またはねじれによる応力不可により偏波状態は時間に対して変動する。一方で、複屈折を設計に落とし込んだ光ファイバを偏波保持ファイバと呼ぶ。これは、偏波状態を維持するために光ファイバ長手方向にコアと並行にロッドを組み込むことで、送信中に偏波状態がクロストークしない設計となっている。そのため、長手方向の複屈折が均等であり、かつ複屈折率の温度依存性も線形関係にある。この比例係数をγとする。

[0038] 図３において、分岐部１３から干渉部４１２までの参照光の二つの直交する偏波状態の光路長をL_{RS}およびL_{RP}とする。参照光の経路の基準温度からの温度の変化量（温度差）をΔT_Rとする。事前に取得した基準温度（例えば２５℃）での参照光の経路長さをL_{RO}とする。そうすると、二つの直交する偏波状態の光路長差　L_Rは、次の式（２）のように表される。

$$\begin{aligned}\Delta L_R &= L_{RS} - L_{RP} \\ &= \gamma \Delta T_R L_{RO}\end{aligned} \qquad (2)$$

[0039] 式（２）を変形すると、光路長差　L_Rと温度差ΔT_Rの相関を表す式（３）が得られる。

$$L_{RO}\Delta T_R = \frac{\Delta L_R}{\gamma} \qquad (3)$$

[0040] 同様に、分岐部１３から干渉部４１２までの反射光の二つの直交する偏波状態の光路長をL_{MS}およびL_{MP}とする。反射光の経路の基準温度からの温度の変化量（温度差）をΔT_Mとする。事前に取得した基準温度での反射光経路長さをL_{MO}とする。そうすると、二つの直交する偏波状態の光路長差　L_Mは、次の式（４）のように表される。

$$\begin{aligned}\Delta L_{\mathrm{M}} &= L_{\mathrm{MS}} - L_{\mathrm{MP}} \\ &= \gamma \Delta T_{\mathrm{M}} L_{\mathrm{MO}}\end{aligned} \tag{4}$$

[0041] 式（４）を変形すると、光路長差　Ｌ$_{M}$と温度差ΔＴ$_{M}$の相関を表す式（５）が得られる。

$$L_{\mathrm{MO}} \Delta T_{\mathrm{M}} = \frac{\Delta L_{\mathrm{M}}}{\gamma} \tag{5}$$

[0042] 次に、参照光と反射光の光路長差をＬとする。このＬの値は両経路の温度変化の影響を受けて変化する。そこで、上式（３）および（５）を用いて温度の項を消去する。なお、以下の式は参照光の経路が反射光の経路よりも長い場合を想定した式である。反射光の経路が参照光の経路よりも長い場合は、Ｌ＝Ｌ$_{MS}$－Ｌ$_{RS}$を計算する。

$$\begin{aligned}L &= L_{RS} - L_{MS} \\ &= L_{RO} - L_{MO} + \alpha (L_{RO} \Delta T_R - L_{MO} \Delta T_M) \\ &= L_{RO} - L_{MO} + \frac{\alpha}{\gamma} (\Delta L_R - \Delta L_M)\end{aligned} \tag{6}$$

[0043] 式（６）を変形すると、次の式（７）を得る。

$$L_{RO} - L_{MO} = L - \frac{\alpha}{\gamma} (\Delta L_R - \Delta L_M) \tag{7}$$

[0044] 式（７）の左辺は、基準温度における対象物までの光路長差を示す。したがって、基準温度における各径路の長さと、偏波保持ファイバの線膨張係数αおよび複屈折率の温度係数γを事前に取得しておくことで、測定によって得られる値Ｌ、ΔＬ$_{R}$、およびΔＬ$_{M}$から温度変化による影響を抑制した測距が可能となる。このとき、反射光と参照光の偏波状態は一致させておく。

[0045] ＜動作＞

次に、図４を参照して、計算処理部３０による動作を中心に、実施の形態１に係る光測定装置の動作について説明する。まず、ステップＳＴ１０１において、切替制御部４２は、温度補正の対象となる経路に応じて切替部４１１のパターンを決定する。具体的には、図３Ａ～図３Ｃで示したような、参照光の直交する二偏波のパターン、反射光の直交する二偏波のパターン、ま

たは参照光と反射光のパターンの何れか１つに切替部４１１のパターンを決定する。

[0046] 次に、ステップＳＴ１０２～ＳＴ１０４において、計算処理部３０は、直交する二偏光の光路長差を得る。直交する二偏波の差周波数は光路長に比例するため、フーリエ変換によるスペクトルのピーク位置から光路長差が得られる。

[0047] 具体的には、ステップＳＴ１０２において、計算処理部３０は、図２Ｂに示されたような直交する二偏光の差周波数信号を得る。

[0048] 次に、ステップＳＴ１０３において、計算処理部３０は、差周波数信号をフーリエ変換して周波数スペクトルを得る。

[0049] 次に、ステップＳＴ１０４において、計算処理部３０は、周波数スペクトルから光路長差を得る。

[0050] 次に、ステップＳＴ１０５において、計算処理部３０は、基準温度からの光路長差分を取得する。周波数スペクトルから得られた光路長差は式（３）または式（５）に応じて温度に依存するので、基準温度からの光路長差分を式（３）または式（５）に従って取得する。

[0051] 次に、ステップＳＴ１０６において、計算処理部３０は、すべての切替パターンで基準温度からの光路長差分を取得したかを判定する。取得していない場合、処理はステップＳＴ１０１へ戻る。取得した場合、処理はステップＳＴ１０７へ進む。

[0052] ステップＳＴ１０７において、計算処理部３０は、各切替パターンで得た参照光と反射光の差周波数を得ることで、対象物までの測距を行う。得られた値を式（３）および式（５）を用いて補正する。これが式（７）に相当する。

[0053] 図３Ａ～図３Ｃで示した３つのパターンの切替頻度の比率は均等に1：1：1としてもよいし、不均等であってもよい。例えば、周波数スペクトルの強度が未知である対象物からの反射については、反射光を複数回得ることで充分な平均化回数が得られるように、３つのパターンの切替頻度の比率は不均等

であってもよい。また、切替制御部４２によって周波数スペクトルの強度に応じて適応的に比率を変えてもよい。

[0054] また、合波後のスペクトル強度は各軸で1：1が最も強度が高くなる。しかし、空気中及び対象物表面での偏光比によっては大きく変動する可能性がある。そこで、光サーキュレータ１４の下流に偏光コントローラを導入することで偏光比を適応的に変化させてもよい。同様に、対象物表面での消光比に応じて分岐部１３における分岐比を適応的に変化させてもよい。

[0055] また、測定のためには直交する二偏波のどちらかの偏波強度が０になってはいけない。しかし、ファイバ揺れや対象物での偏波回転によって、偏波強度が測定中に変動する可能性がある。そのため、光電部で得られる偏波強度比変動をフィードバックすることで、レーザ光源１１における偏波強度比を適応的に変化させてもよい。

[0056] 実施の形態２.

図５および図６を参照して、実施の形態２に係る光測定装置について説明する。図５に示されているように、実施の形態２による光測定装置は、送信部１０Ａ、切替干渉部４１Ａ、切替制御部４２、受信部２０、および計算処理部３０を備える。送信部１０は、レーザ光源１１、掃引部１２、分岐部１３Ａ、光サーキュレータ１４、および照射系１５を含む。

[0057] 実施の形態１の場合と異なり、実施の形態２による光測定装置においては、分岐部１３Ａから切替干渉部４１Ａへの参照光の経路（参照光経路）が複数備えられている。この複数の参照光の経路の長さは互いに異なる。切替経路が二つだけの場合、コヒーレンス長内に測距の対象とする二つの反射光が存在する必要がある。しかし、図５のように分岐部１３から切替干渉部４１Ａまでの参照光経路を複数備えることにより、そのような必要はなくなる。すなわち、長さの異なる複数の参照光の経路を備えることにより、参照光を反射光に対して多段で遅延させることができるので、測定可能な範囲を拡大することができる。

[0058] 図６のように、複数の参照光の光路長をL_{Rk}（ｋは１～４の整数）とする

。測定レンジは、参照光と反射光の光路長が等しい点を中心にコヒーレンス長で規定される（図２Ｃを参照）。そのため、参照光の経路を複数用い、切替部４１Ａ１で測定する経路を切り替えることで測定レンジを拡大できる。このとき、各差分はコヒーレンス長よりも充分短いとする。式（２）にL_{R1}～L_{R4}の各L_{Rk}を代入することにより、複数の参照光の経路に温度分布変化が生じる場合でも、温度変動の影響を抑制した測定を実現し、かつ、コヒーレンス長を超えた範囲にも測定レンジを実質的に拡大することが可能である。

[0059] 実施の形態３．

図７を参照して、実施の形態３に係る光測定装置について説明する。図７は、ＳＤ－ＯＣＴ技術による光測定装置を示す。

[0060] 図７に示されているように、実施の形態３による光測定装置は、送信部１０Ｂ、切替干渉部４１Ｂ、切替制御部４２Ｂ、受信部２０、および計算処理部３０を備える。送信部１０Ｂは、白色光源１１Ｂ、分岐部１３、光サーキュレータ１４、および照射系１５を含む。実施の形態３による光測定装置では、白色のレーザ光源である白色光源１１Ｂが用いられる。したがって、実施の形態３による光測定装置では、実施の形態１において用いられた波長掃引する掃引部１２が不要である。なお、実施の形態３による光測定装置では波長掃引は行わないので、切替制御部４２Ｂは予め設定されたタイミングに基づいて切替干渉部４１Ｂの不図示の切替部を制御する。

[0061] このように、波長掃引をすることに代えて、白色光源１１Ｂを用いてもよい。この場合、切替干渉部４１Ｂでは、干渉部の後段に回折格子のような波長に応じてスペクトル分光を生じるデバイスを設け、そのようなデバイスに干渉光を透過させて透過光を得る。そして、透過光をＣＭＯＳのような二次元光電変換デバイス（光電変換部２１）に照射することで、アナログ的にスペクトル強度が得られる。

[0062] なお、実施形態を組み合わせたり、各実施形態を適宜、変形、省略したりすることが可能である。

産業上の利用可能性

[0063] 本開示の光測定装置は、各種部品を計測する測定装置として用いることができる。

符号の説明

[0064] １０（１０Ａ；１０Ｂ） 送信部、１１ レーザ光源、１１Ｂ 白色光源（白色レーザ光源）、１２ 掃引部、１３（１３Ａ） 分岐部、１４ 光サーキュレータ、１５ 照射系、２０ 受信部、２１ 光電変換部、２２ デジタル変換部、３０ 計算処理部、４１（４１Ａ；４１Ｂ） 切替干渉部、４１Ａ１ 切替部、４２（４２Ｂ） 切替制御部、１５１ コネクタ、１５２ レンズ、４１１ 切替部、４１２ 干渉部。

請求の範囲

[請求項1] レーザ光源から出射された光を測定光と参照光に分岐する分岐部と、

前記参照光の直交する二偏波を干渉させた第１の干渉光、前記測定光の対象物からの反射光の直交する二偏波を干渉させた第２の干渉光、および前記参照光と前記反射光を干渉させた第３の干渉光を、各干渉光の直交する偏波状態を分離した状態で出力する切替干渉部と、

各干渉光を受光して、受光した干渉光を電気信号に変換する光電変換部と、

前記電気信号をＡ／Ｄ変換して、Ａ／Ｄ変換後のデジタル信号を受信信号として出力するデジタル変換部と、

前記受信信号を周波数スペクトルに変換して、前記参照光の直交する二偏波間の光路長差分、前記反射光の直交する二偏波間の光路長差分、および前記参照光と前記測定光の光路長差分を得る計算処理部と、

を備える、光測定装置。

[請求項2] 前記分岐部から前記光電変換部へ至る光の経路は偏波保持ファイバからなる経路を備える、

請求項１に記載された光測定装置。

[請求項3] 前記分岐部から前記切替干渉部へ至る前記参照光の経路は、長さの異なる偏波保持ファイバからなる複数の参照光経路を備える、

請求項２に記載された光測定装置。

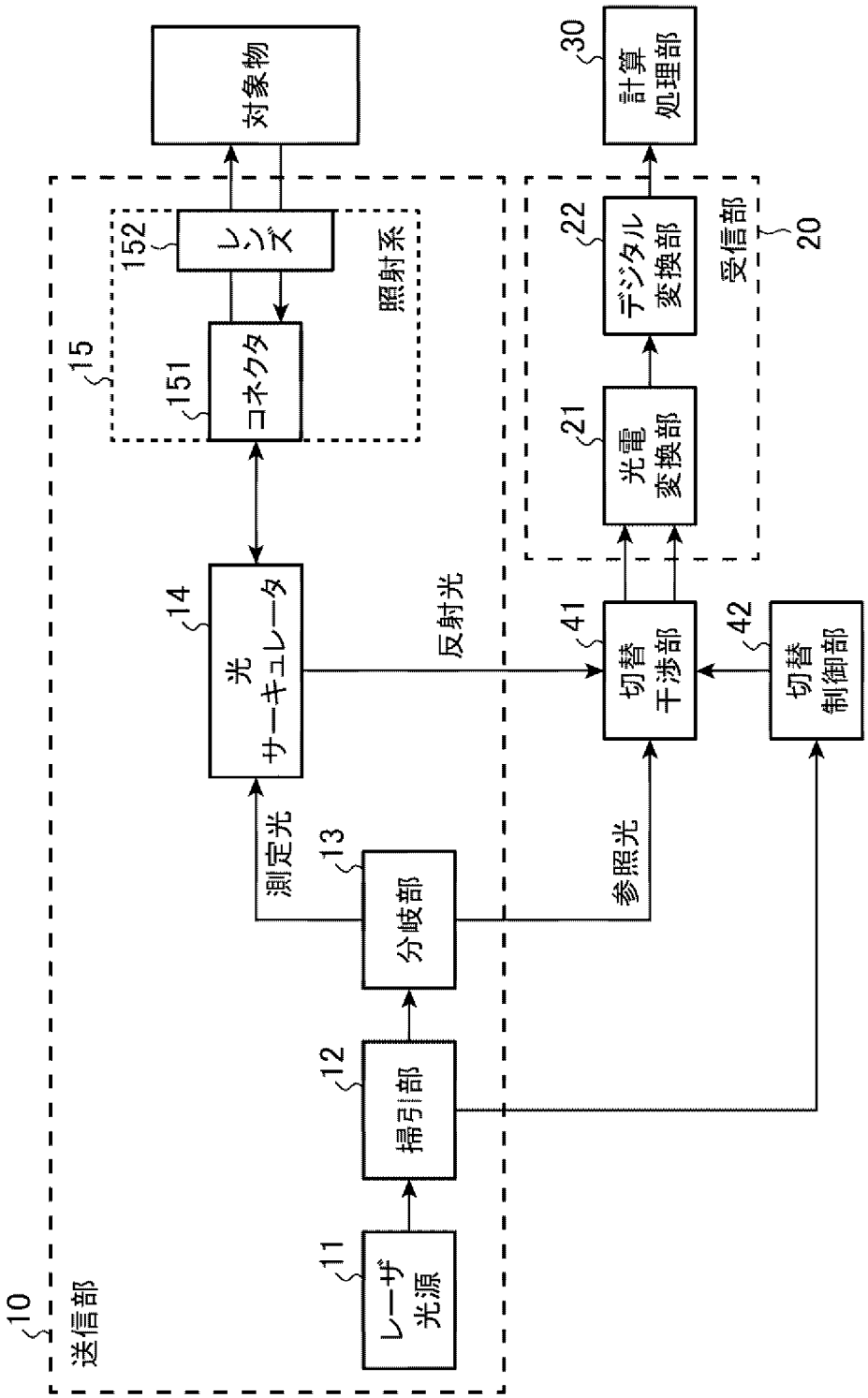
[請求項4] 前記レーザ光源を波長掃引して掃引光を出力する掃引部を更に備え、

前記分岐部は前記掃引光を測定光と参照光に分岐する、

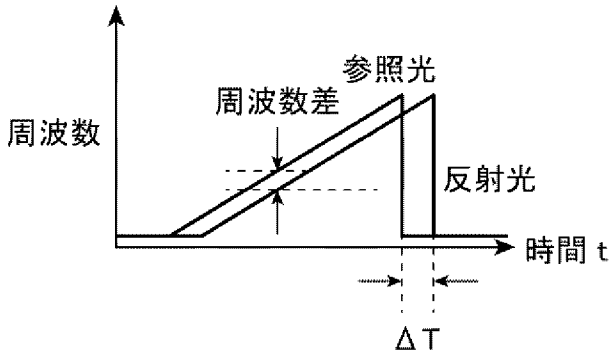
請求項１から３のいずれか１項に記載された光測定装置。

[請求項5] 前記レーザ光源は白色レーザ光源である、請求項１または２に記載された光測定装置。

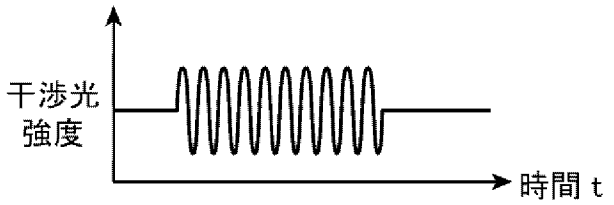
[図1]


対象物
30
計算
処理部
152
レンズ
照射系
15
151
コネクタ
22
デジタル
変換部
受信部
20
21
光電
変換部
14
光
サーキュレータ
反射光
41
切替
干渉部
42
切替
制御部
測定光
13
分岐部
参照光
12
掃引部
11
レーザ
光源
10
送信部

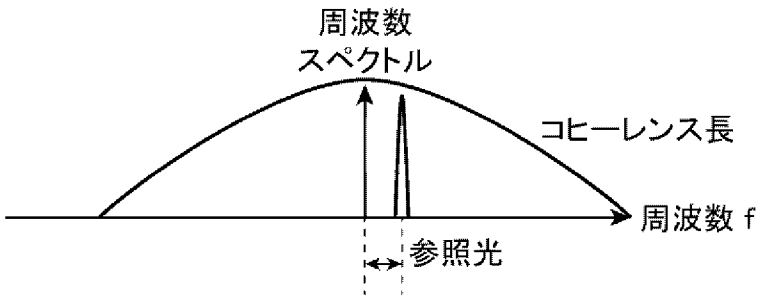
[図2A]



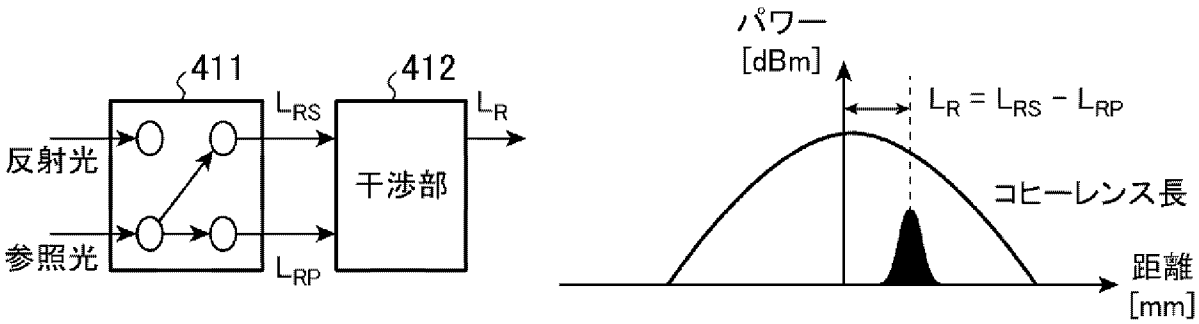
[図2B]



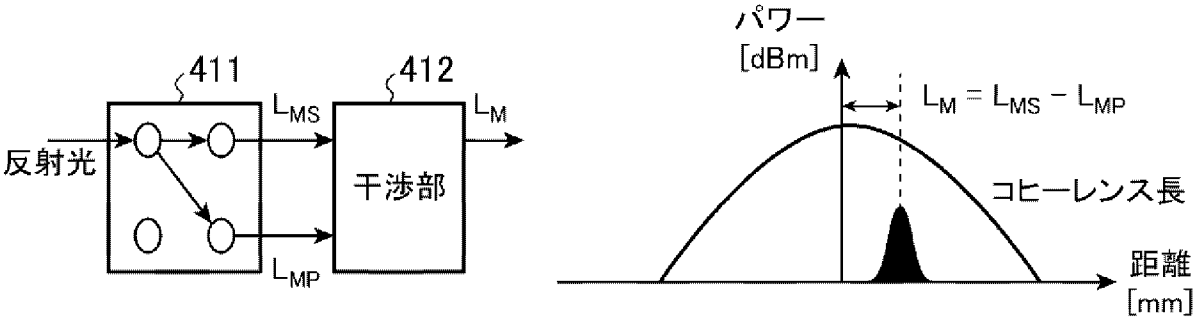
[図2C]



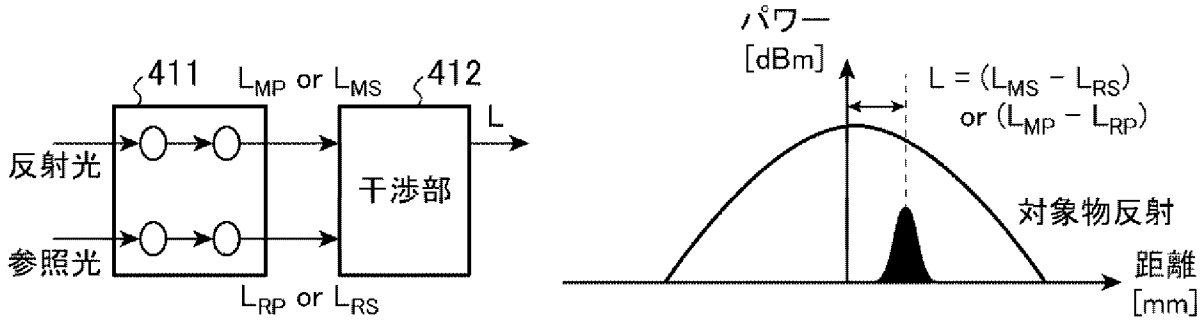
[図3A]



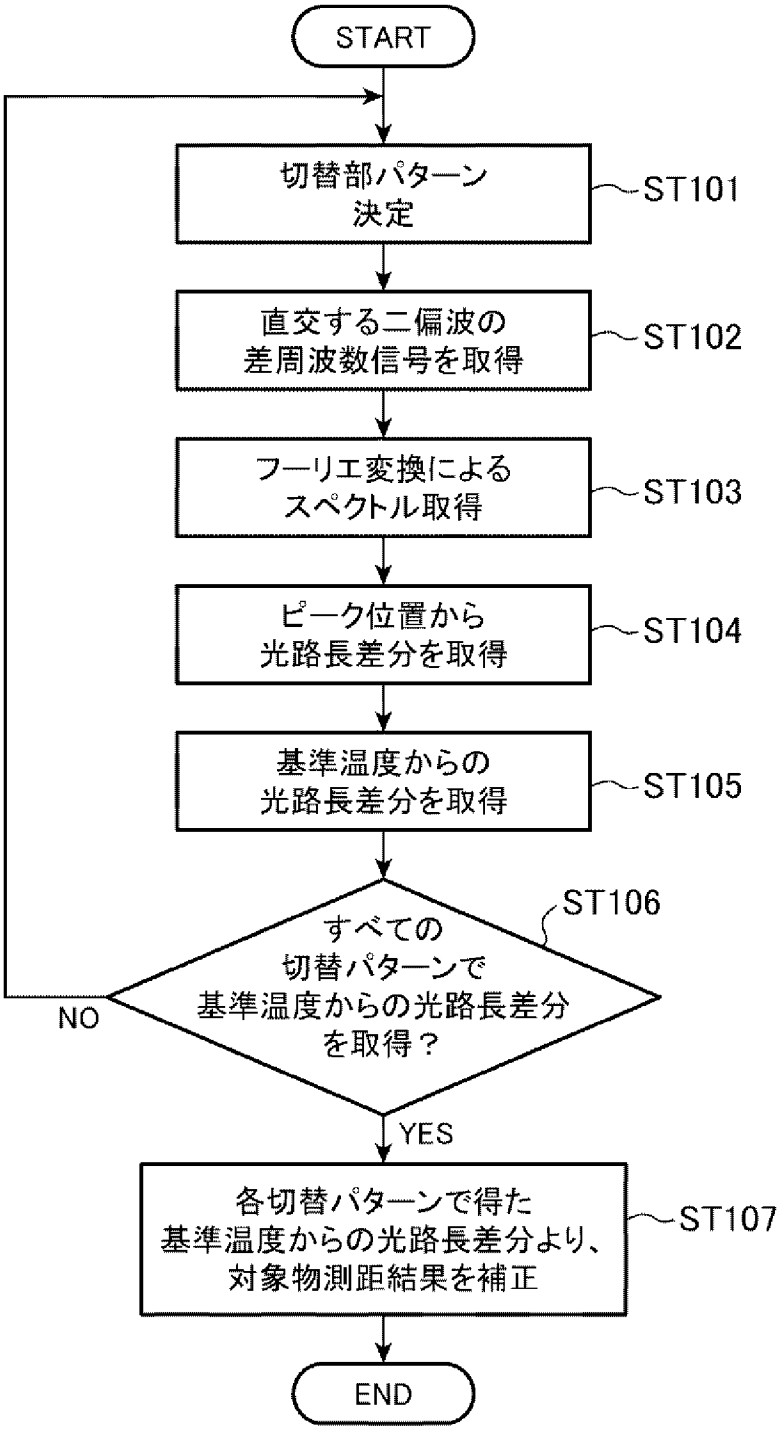
[図3B]


411
412
L_{MS}
L_M
反射光
干渉部
L_{MP}
パワー
[dBm]
$L_M = L_{MS} - L_{MP}$
コヒーレンス長
距離
[mm]

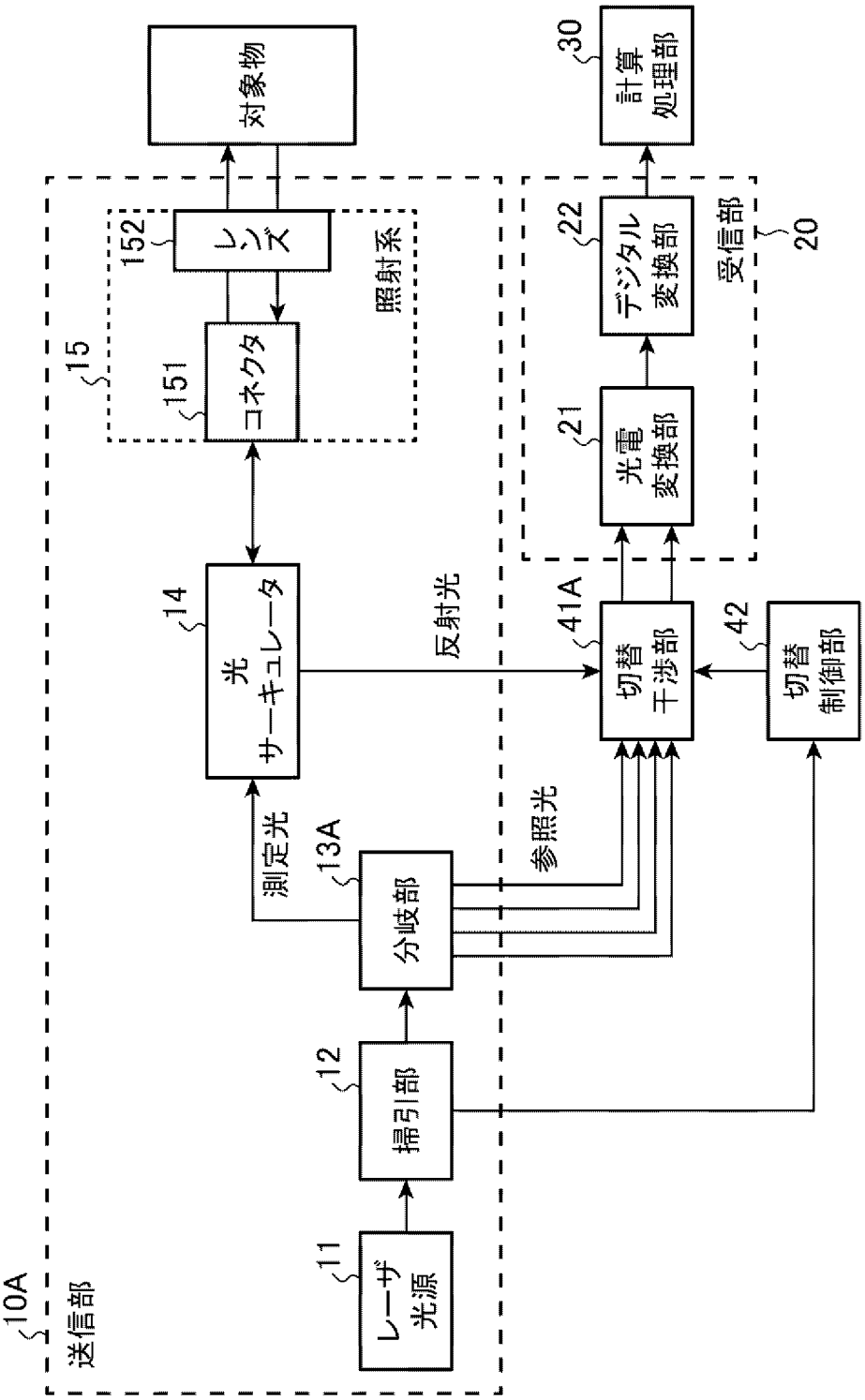
[図3C]


411
L_{MP} or L_{MS}
412
L
反射光
参照光
干渉部
L_{RP} or L_{RS}
パワー
[dBm]
$L = (L_{MS} - L_{RS})$
or $(L_{MP} - L_{RP})$
対象物反射
距離
[mm]

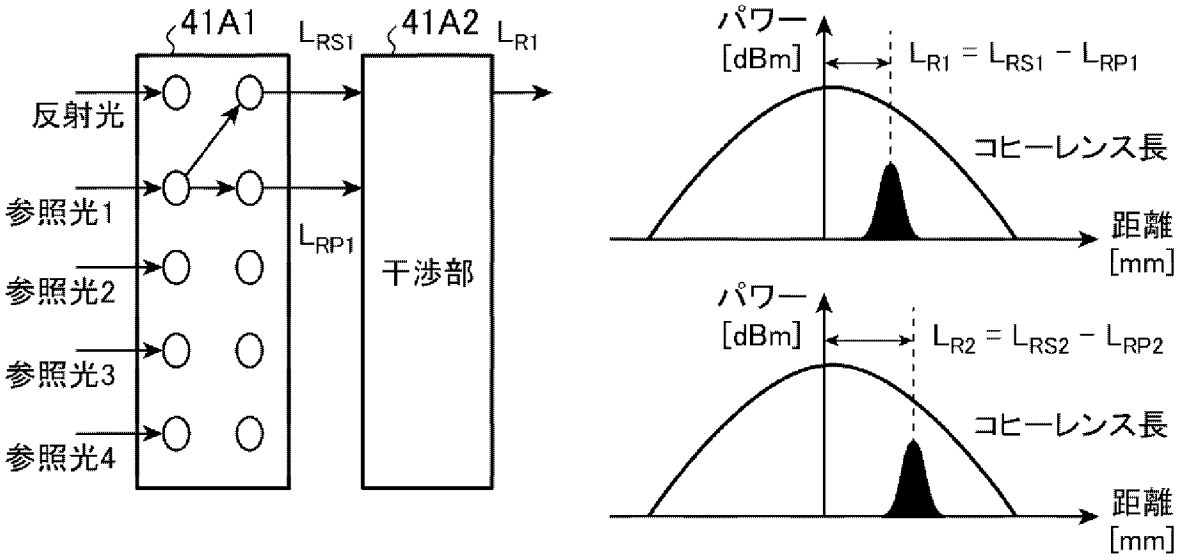
[図4]


START
切替部パターン
決定
ST101
直交する二偏波の
差周波数信号を取得
ST102
フーリエ変換による
スペクトル取得
ST103
ピーク位置から
光路長差分を取得
ST104
基準温度からの
光路長差分を取得
ST105
すべての
切替パターンで
基準温度からの光路長差分
を取得？
ST106
NO
YES
各切替パターンで得た
基準温度からの光路長差分より、
対象物測距結果を補正
ST107
END

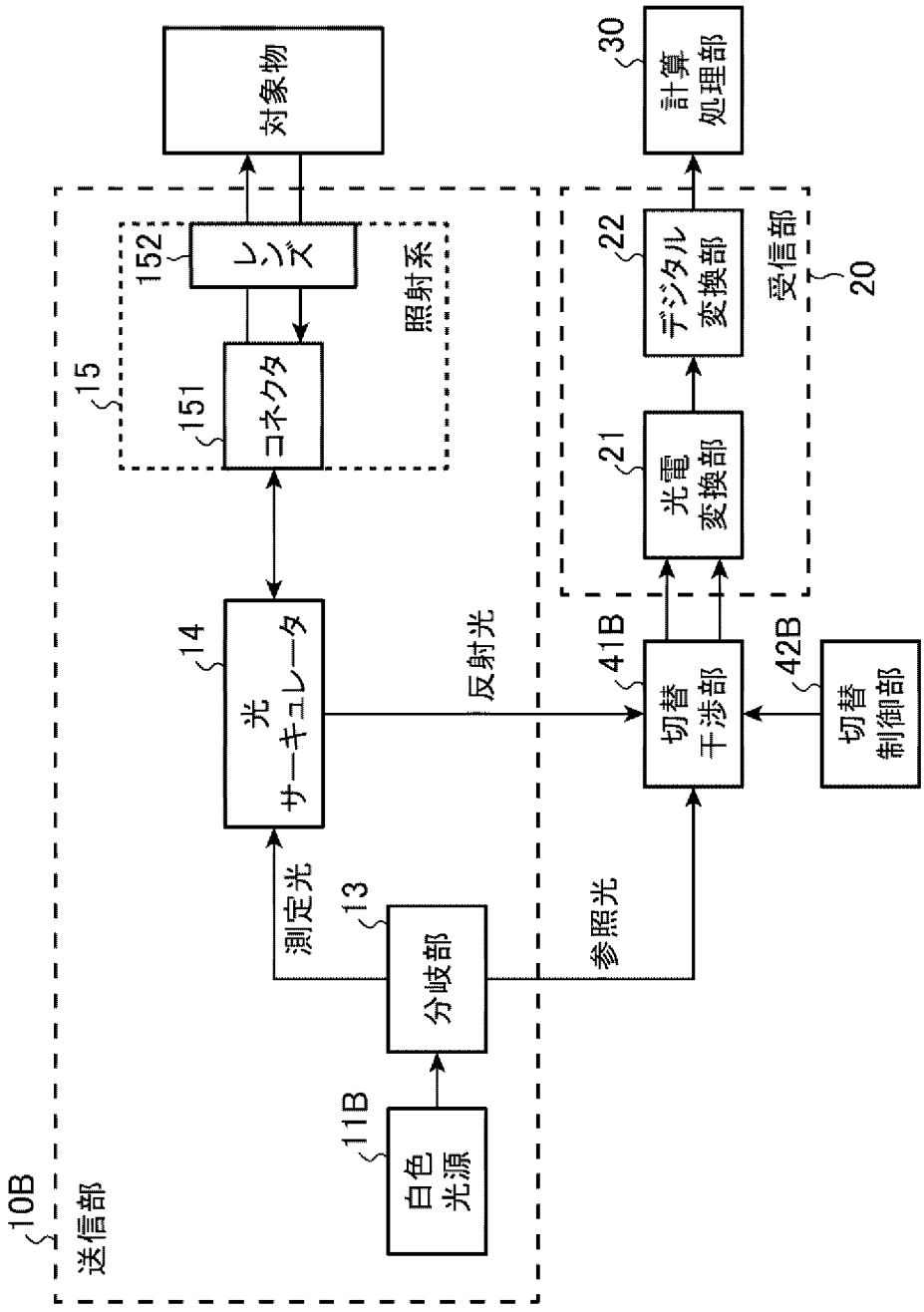
[図5]


対象物
30
計算処理部
152
レンズ
照射系
22
デジタル変換部
受信部
20
15
151
コネクタ
21
光電変換部
14
光サーキュレータ
反射光
41A
切替干渉部
42
切替制御部
測定光
13A
分岐部
参照光
12
掃引部
11
レーザ光源
10A
送信部

[図6]


41A1
L_{RS1}
41A2
L_{R1}
反射光
参照光1
参照光2
参照光3
参照光4
L_{RP1}
干渉部
パワー
[dBm]
$L_{R1} = L_{RS1} - L_{RP1}$
コヒーレンス長
距離
[mm]
パワー
[dBm]
$L_{R2} = L_{RS2} - L_{RP2}$
コヒーレンス長
距離
[mm]

[図7]


対象物
30
計算処理部
152
レンズ
22
デジタル変換部
受信部
20
照射系
15
151
コネクタ
21
光電変換部
14
光サーキュレータ
反射光
41B
切替干渉部
42B
切替制御部
測定光
13
分岐部
参照光
11B
白色光源
10B
送信部

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2021/031748

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B 11/00(2006.01)i; ***G01N 21/17***(2006.01)i
FI: G01N21/17 630; G01B11/00 G

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)

G01N21/00-G01N21/61; A61B3/00-A61B3/18; A61B9/00-A61B10/06; G01B9/00-G01B9/10; G01B11/00-G01B11/30

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2021
Registered utility model specifications of Japan 1996-2021
Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

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

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2013-190444 A (CANON KABUSHIKI KAISHA) 26 September 2013 (2013-09-26) entire text, all drawings	1-5
A	JP 2020-54480 A (TOMEY CORP.) 09 April 2020 (2020-04-09) entire text, all drawings	1-5
A	JP 2017-169863 A (CANON KABUSHIKI KAISHA) 28 September 2017 (2017-09-28) entire text, all drawings	1-5
A	CN 107064001 A (FUJIAN NORMAL UNIVERSITY) 18 August 2017 (2017-08-18) entire text, all drawings	1-5
A	JP 2008-528953 A (CARL ZEISS MEDITEC AG) 31 July 2008 (2008-07-31) entire text, all drawings	1-5
A	CN 104483289 A (SOUTHEAST UNIVERSITY) 01 April 2015 (2015-04-01) entire text, all drawings	1-5

☐ 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	Date of mailing of the international search report
12 October 2021	**26 October 2021**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2021/031748

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2013-190444 A	26 September 2013	JP 2010-38910 A entire text, all drawings US 2011/0058175 A1 entire text, all drawings WO 2010/005091 A1 EP 2297567 A1 KR 10-2011-0036593 A CN 102084240 A	
JP 2020-54480 A	09 April 2020	US 2020/0100674 A1 entire text, all drawings EP 3639727 A1 CN 110960186 A	
JP 2017-169863 A	28 September 2017	(Family: none)	
CN 107064001 A	18 August 2017	(Family: none)	
JP 2008-528953 A	31 July 2008	JP 5274843 B2 entire text, all drawings US 2007/0030483 A1 entire text, all drawings US 2006/0164639 A1 WO 2006/077106 A1 WO 2007/014708 A2 EP 1839034 A1	
CN 104483289 A	01 April 2015	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2021/031748

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G01B 11/00(2006.01)i; G01N 21/17(2006.01)i
FI: G01N21/17 630; G01B11/00 G

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））

G01N21/00-G01N21/61; A61B3/00-A61B3/18; A61B9/00-A61B10/06; G01B9/00-G01B9/10; G01B11/00-G01B11/30

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	１９７１－２０２１年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２１年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２１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）

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)

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	関連する請求項の番号
A	JP 2013-190444 A (キヤノン株式会社) 26.09.2013 (2013-09-26) 全文、全図	1-5
A	JP 2020-54480 A (株式会社トーメーコーポレーション) 09.04.2020 (2020-04-09) 全文、全図	1-5
A	JP 2017-169863 A (キヤノン株式会社) 28.09.2017 (2017-09-28) 全文、全図	1-5
A	CN 107064001 A (FUJIAN NORMAL UNIVERSITY) 18.08.2017 (2017-08-18) 全文、全図	1-5
A	JP 2008-528953 A (カール ツァイス メディテック アクチエンゲゼルシャフト) 31.07.2008 (2008-07-31) 全文、全図	1-5
A	CN 104483289 A (SOUTHEAST UNIVERSITY) 01.04.2015 (2015-04-01) 全文、全図	1-5

☐ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

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

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
12.10.2021	26.10.2021

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）

横尾　雅一 2W 3716

電話番号 03-3581-1101 内線 3258

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2021/031748

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2013-190444 A	26.09.2013	JP 2010-38910 A 全文、全図 US 2011/0058175 A1 全文、全図 WO 2010/005091 A1 EP 2297567 A1 KR 10-2011-0036593 A CN 102084240 A	
JP 2020-54480 A	09.04.2020	US 2020/0100674 A1 全文、全図 EP 3639727 A1 CN 110960186 A	
JP 2017-169863 A	28.09.2017	（ファミリーなし）	
CN 107064001 A	18.08.2017	（ファミリーなし）	
JP 2008-528953 A	31.07.2008	JP 5274843 B2 全文、全図 US 2007/0030483 A1 全文、全図 US 2006/0164639 A1 WO 2006/077106 A1 WO 2007/014708 A2 EP 1839034 A1	
CN 104483289 A	01.04.2015	（ファミリーなし）	