

(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
2025年5月1日(01.05.2025)

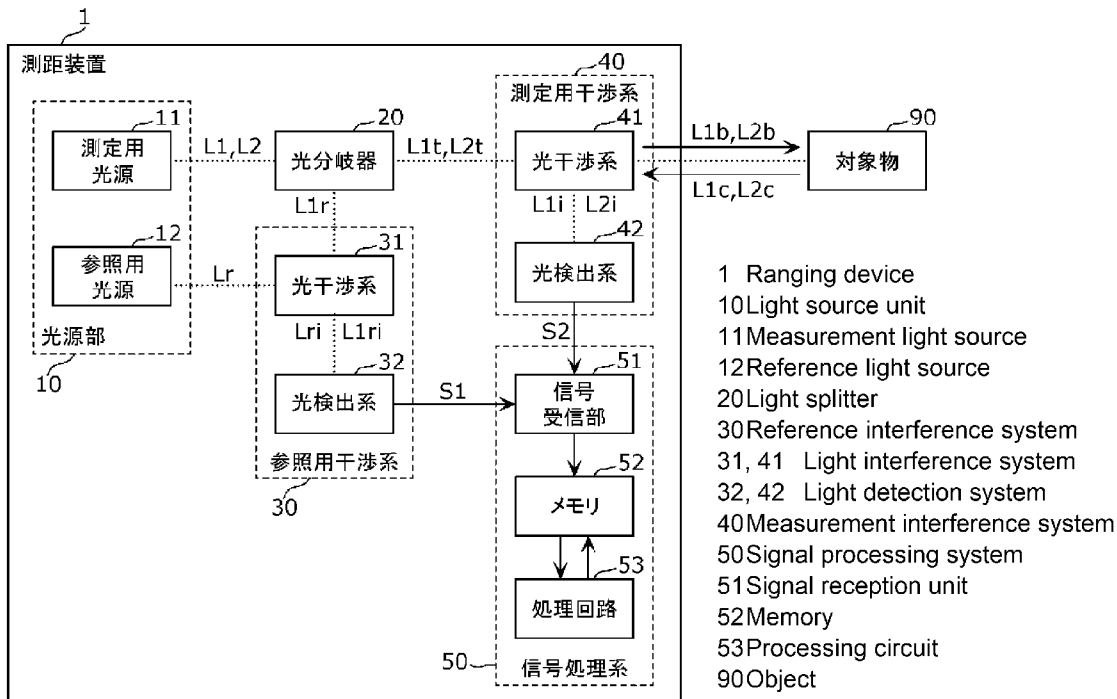


(10) 国際公開番号
WO 2025/088872 A1

- (51) 国際特許分類:
G01B 9/02055 (2022.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2024/028030
- (22) 国際出願日: 2024年8月6日(06.08.2024)
- (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 2023-184003 2023年10月26日(26.10.2023) JP
- (71) 出願人: パナソニックIPマネジメント株式会社 (PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5710057 大阪府門真市元町2番6号 (JP).
- (72) 発明者: 清原 孝行 (KIYOHARA Takayuki). 能澤 克弥 (NOZAWA Katsuya). 稲田 安寿 (INADA Yasuhisa).
- (74) 代理人: 鎌田 健司, 外 (KAMATA Kenji et al.); 〒5710057 大阪府門真市元町2番6号 パナソニックIPマネジメント株式会社内 (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, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY,

(54) Title: RANGING DEVICE

(54) 発明の名称: 測距装置



(57) Abstract: A ranging device according to the present invention comprises a light source unit that emits first laser light and reference laser light, a reference interference system that detects first interference light generated by making the first laser light interfere and second interference light generated by making the reference laser light interfere and outputs a first signal, a measurement interference system that receives input of first reflected light generated by reflection of the first laser light at an object and outputs a second signal, and a signal processing system that generates wavelength information



WO 2025/088872 A1

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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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))

about the wavelength of the first laser light on the basis of the first signal and calculates the distance from the ranging device to the object on the basis of the wavelength information and the second signal. A light path for the first laser light and a light path for the reference laser light are provided at the reference interference system such that the first laser light and the reference laser light do not interfere with each other.

(57) 要約 : 測距装置は、第1のレーザー光及び参照レーザー光を出射する光源部と、第1のレーザー光を干渉させることにより生じた第1の干渉光と参照レーザー光を干渉させることにより生じた第2の干渉光とを検出し、第1の信号を出力する参照用干渉系と、第1のレーザー光が対象物によって反射されることにより生じた第1の反射光が入力されて、第2の信号を出力する測定用干渉系と、第1の信号に基づいて、第1のレーザー光の波長に関する波長情報を生成し、波長情報と第2の信号とに基づいて、測距装置から対象物までの距離を算出する信号処理系と、を備える。参照用干渉系において、第1のレーザー光及び参照レーザー光が互いに干渉しないように、第1のレーザー光の光路及び参照レーザー光の光路が配置されている。

明 細 書

発明の名称：測距装置

技術分野

[0001] 本開示は、測距装置に関する。

背景技術

[0002] レーザー光を用いた光干渉は、非接触で物体の距離及び／又は形状を示す情報などが取得できる手段として、幅広く応用されている。その例として、Frequency modulated continuous wave radar (FMCW) 方式のLiDAR (Light Detection And Ranging) は、ミリメートル精度の3次元計測装置として知られている。また、Optical coherence tomography (OCT) 又はOptical combを用いた光干渉は、マイクロメートル精度で計測できる手段として知られている。これらは、医療分野及び／又は産業分野で広く活用されている。

[0003] また、光干渉現象をさらに高精度に制御することで、ナノメートル精度の計測が可能となる。例えば、単一波長レーザーを用いたマイケルソン干渉系による計測は、ナノメートル単位の距離の違いを計測する1つの方法である。

[0004] ホモダイン光干渉を代表とするナノメートル精度の光計測は、非接触にて高精度な計測が可能な一方で測長レンジが波長の半分（サブマイクロメートル単位）に制限される課題がある。このため、ナノメートル単位の構造と数十マイクロメートル単位の構造とを併せ持つサンプルの計測において難しいケースが存在する。

[0005] この課題を解決する方法として、2つ以上の単一波長レーザー光を用いた光干渉であるマルチ波長干渉が期待されている。マルチ波長干渉は、従来課題である測長レンジと測長精度とのトレードオフを解消し、長い測長レンジと高い測長精度とを同時に達成することができる。

[0006] 例えば、特許文献1及び2では、波長の異なるレーザー光の光干渉結果を組み合わせることで、従来課題である測長レンジと測長精度とのトレードオフを解消し、長い測長レンジと高い測長精度とを達成できるとされている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開2021-148634号公報

特許文献2：国際公開第2008/146480号

特許文献3：実開平5-14867号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] レーザー光の干渉を利用した測距方式では、レーザー光の波長が時間的に揺らぐことによって、算出される距離情報に影響が及ぶ。具体的には、測長精度の低下、及び、長時間の測定による測長結果の安定性の低下が起きる。

[0009] そこで、本開示は、測長精度及び長期安定性の低下を抑制することができる測距装置を提供する。

課題を解決するための手段

[0010] 本開示の一態様に係る測距装置は、第1のレーザー光及び参照レーザー光を出射する光源部と、前記第1のレーザー光を干渉させることにより生じた第1の干渉光と前記参照レーザー光を干渉させることにより生じた第2の干渉光とを検出し、第1の信号を出力する参照用干渉系と、前記第1のレーザー光が対象物によって反射されることにより生じた第1の反射光が入力されて、第2の信号を出力する測定用干渉系と、前記第1の信号に基づいて、前記第1のレーザー光の波長に関する波長情報を生成し、前記波長情報と前記第2の信号とに基づいて、前記測距装置から前記対象物までの距離を算出する信号処理系と、を備える。前記参照用干渉系において、前記第1のレーザー光及び前記参照レーザー光が互いに干渉しないように、前記第1のレーザー光の光路及び前記参照レーザー光の光路が配置されている。

発明の効果

[0011] 本開示によれば、測長精度及び長期安定性の低下を抑制することができる。

図面の簡単な説明

- [0012] [図1]図1は、実施の形態1に係る測距装置の構成を示すブロック図である。
- [図2]図2は、実施の形態1に係る測距装置の光源部の構成を示すブロック図である。
- [図3]図3は、実施の形態1に係る測距装置の測定用干渉系の具体的な構成を示す図である。
- [図4]図4は、実施の形態1に係る測距装置の参照用干渉系の具体的な構成を示す図である。
- [図5]図5は、実施の形態1に係る測距装置による単一波長レーザー光を用いた第1の測定の原理を説明するための図である。
- [図6]図6は、実施の形態1に係る測距装置による複数の単一波長レーザー光を用いた第2の測定の原理を説明するための図である。
- [図7]図7は、実施の形態1に係る測距装置による2つの測定の測長レンジと測長精度とを示す図である。
- [図8]図8は、単一波長レーザー光の波長及び周波数の安定性を説明するための図である。
- [図9]図9は、実施の形態1に係る測距装置の動作を示すフローチャートである。
- [図10]図10は、波長情報の更新頻度と距離の算出頻度との関係を示す図である。
- [図11]図11は、実施の形態2に係る測距装置の構成を示すブロック図である。
- [図12]図12は、実施の形態2に係る測距装置の動作を示すフローチャートである。
- [図13]図13は、実施の形態3に係る測距装置の構成を示すブロック図であ

る。

[図14]図14は、実施の形態の変形例1に係る測距装置の光源部の構成を示すブロック図である。

[図15]図15は、実施の形態の変形例2に係る測距装置の構成を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0013] (本開示の概要)

まず、本明細書で用いる主要な用語の定義について以下に示す。

[0014] 「測長精度」は、距離を測定する際の正確さの度合いを表す。すなわち、測長精度は、どれだけ正確に距離情報が得られるかを判断する尺度である。このため、測長精度が高いほど、正確な測定を行えていると言える。

[0015] 「測長レンジ」は、一意な距離情報を取得することができる距離方向の範囲を表す。すなわち、測長レンジは、距離計測（測距）が可能な範囲を表している。

[0016] 本明細書では、測長精度及び測長レンジはいずれも、距離と同じ次元で表される。具体的には、測長精度の単位及び測長レンジの単位はいずれも、ナノメートル（nm）、マイクロメートル（ μm ）、ミリメートル（mm）などで表される。このため、「測長精度が高い」とは、距離の次元で表される「測長精度が短い」と同義である。「測長精度が低い」とは、距離の次元で表される「測長精度が長い」と同義である。また、本明細書では、測長精度は、単に「精度」と記載する場合がある。測長レンジは、単に「レンジ」と記載する場合がある。

[0017] 測長レンジ内での距離計測は、「絶対距離計測」と呼ばれる。例えば、精度10nmで測長レンジが1mmの場合の距離計測は、1mmの範囲内で10nmの違いを見分けられる絶対距離計測である。

[0018] 「長期安定性」は、測定の開始から終了までの期間において、時間的な変動が十分に少なく、一貫した精度で測長ができることを意味する。例えば、レーザー光の波長が時間的に揺らぐと、長期安定性は低下する。長期安定性

が低下すると、測長時間の制限等の問題が起こりうる。

[0019] 本開示に係る測距装置の複数の態様は、以下のとおりである。

[0020] 本開示の第1の態様に係る測距装置は、第1のレーザー光及び参照レーザー光を出射する光源部と、前記第1のレーザー光を干渉させることにより生じた第1の干渉光と前記参照レーザー光を干渉させることにより生じた第2の干渉光とを検出し、第1の信号を出力する参照用干渉系と、前記第1のレーザー光が対象物によって反射されることにより生じた第1の反射光が入力されて、第2の信号を出力する測定用干渉系と、前記第1の信号に基づいて、前記第1のレーザー光の波長に関する波長情報を生成し、前記波長情報と前記第2の信号とに基づいて、前記測距装置から前記対象物までの距離を算出する信号処理系と、を備える。前記参照用干渉系において、前記第1のレーザー光及び前記参照レーザー光が互いに干渉しないように、前記第1のレーザー光の光路及び前記参照レーザー光の光路が配置されている。

[0021] これにより、レーザー光の波長が揺らいだとしても、測定に用いたレーザー光の実際の波長の値又はそれと同等の値を波長情報から得ることができる。波長の揺らぎを距離の算出にフィードバックすることができ、測長精度及び長期安定性の低下を抑制することができる。

[0022] 本開示の第2の態様に係る測距装置は、第1の態様に係る測距装置であって、第2の態様に係る測距装置において、前記光源部は、さらに、前記第1のレーザー光とは波長が異なる第2のレーザー光を出射してもよく、前記測定用干渉系には、さらに、前記第2のレーザー光が前記対象物によって反射されることにより生じた第2の反射光が入力されてもよい。

[0023] これにより、複数の波長の光を利用したマルチ波長干渉 (Multi wavelength interferometry: MWI) を利用した測距を行うことができる。よって、高い測長精度と大きな測長レンジを実現することができる。

[0024] なお、前記参照用干渉系は、前記第2のレーザー光を干渉させることにより生じた干渉光と前記参照レーザー光を干渉させることにより生じた干渉光

とを検出し、第3の信号を出力し、前記信号処理系は、前記第3の信号に基づいて、前記第2のレーザー光の波長に関する第2の波長情報を生成し、前記第1のレーザー光の波長に関する波長情報である第1の波長情報と前記第2の波長情報と前記第2の信号とに基づいて、前記測距装置から前記対象物までの距離を算出してもよい。

[0025] なお、第2のレーザー光を利用する場合に第2の波長情報を生成することは必須ではない。例えば、第1のレーザー光の波長の揺らぎが第2のレーザー光の波長の揺らぎより小さい場合、第1のレーザー光の干渉結果に基づいて測長精度を高く確保することができる。このため、第2のレーザー光の波長に関する第2の波長情報が得られていない場合であっても、高い測長精度と大きな測長レンジを実現することができる。

[0026] 本開示の第3の態様に係る測距装置は、第2の態様に係る測距装置であって、第3の態様に係る測距装置において、前記参照レーザー光の波長は、前記第1のレーザー光の波長より短くてもよい。

[0027] これにより、MW1で利用する複数のレーザー光の各波長を計測することができるので、測長レンジが拡大しても測長精度を高めることができる。

[0028] 本開示の第4の態様に係る測距装置は、第2の態様又は第3の態様に係る測距装置であって、第4の態様に係る測距装置において、前記測定用干渉系は、前記第1のレーザー光と前記第1の反射光とを干渉させて、前記第1のレーザー光と前記第1の反射光との干渉により生じた第3の干渉光を出射し、かつ、前記第2のレーザー光と前記第2の反射光とを干渉させて、前記第2のレーザー光と前記第2の反射光との干渉により生じた第4の干渉光を出射する第1の光干渉系と、前記第3の干渉光及び前記第4の干渉光を検出して、前記第2の信号を出力する第1の光検出系と、を含んでもよい。

[0029] これにより、波長毎に光をホモダイン干渉させて、波長毎の干渉信号を第2の信号として精度良く得ることができる。波長毎の干渉信号を組み合わせることにより、測長レンジを大きくすることができる。詳細については、図6を用いて後述するとおりである。

[0030] なお、特許文献1に記載された技術では、測長用レーザー光と参照レーザー光とをヘテロダイン干渉させてビート信号を光検出器で検出し、その結果に基づいて、測長用レーザー光で測長した結果を補正している。ヘテロダイン干渉の条件として、2つのレーザー光の波長差を小さくするため、参照レーザー光によって、測長用レーザー光の波長の選択肢が限定される。

[0031] 一般的に使われる波長が安定化されたレーザーとして、HeNeレーザーが挙げられる。しかしながら、ヘテロダイン干渉の場合、測長用レーザー光の波長は、HeNeレーザー光の波長である633nm近傍の波長に限定されてしまう。633nm近傍の波長に適した光学素子は、高価であり、また、対象物がARコート付の可視用レンズなどである場合は測定が難しいという課題がある。また、MWIでは測長用レーザー光として複数の波長の異なるレーザーを用いるため、参照レーザー光の光源も同じ台数を用意する必要がある。これに対して、本態様に係る測距装置では、ホモダイン干渉を利用するので、ヘテロダイン干渉を利用する場合に比べて、測定に用いる2つのレーザー光の波長の差分絶対値が大きくてよいので、2つのレーザー光の波長選択性を高めることができる。例えば、対象物の測定に適した波長を選択することができるので、結果として、対象物の測長精度及び長期安定性の低下を抑制することができる。また、測定用レーザー光の波長の数によらず、参照レーザー光の光源は1台のみでよい。よって、測距装置の構成の簡略化、小型化、及び低コスト化を実現することができる。さらに、HeNeレーザーを代表とする、より安定な単一波長レーザーを使うことができるので、他方式に対して波長を測定する精度が高くなり、結果的に他方式に対して測長精度及び長期安定性が高くなる。

[0032] 本開示の第5の態様に係る測距装置は、第1の態様に係る測距装置であって、第5の態様に係る測距装置において、前記光源部は、さらに、複数の第2のレーザー光を出射してもよく、前記複数の第2のレーザー光の波長は互いに異なってもよく、前記複数の第2のレーザー光の各々の波長は、前

記第1のレーザー光の波長と異なっていてもよく、前記測定用干渉系には、さらに、前記複数の第2のレーザー光が前記対象物によって反射されることにより生じた複数の第2の反射光が入力されてもよい。

[0033] これにより、3波長以上のレーザー光を測定に利用することができる。よって、測長レンジをさらに拡大することができる。

[0034] 本開示の第6の態様に係る測距装置は、第1の態様から第5の態様のいずれか1つに係る測距装置であって、さらに、前記光源部から出射された前記第1のレーザー光を第1部分及び第2部分に分割して、前記第1部分を前記参照用干渉系に入力させ、前記第2部分を前記測定用干渉系に入力させる光分岐器を備えていてもよい。

[0035] これにより、簡単な構成で、測定に用いる第1のレーザー光の一部を参照用干渉系に入力させることができる。

[0036] 本開示の第7の態様に係る測距装置は、第1の態様から第6の態様のいずれか1つに係る測距装置であって、第7の態様に係る測距装置において、前記参照用干渉系は、前記第1のレーザー光を干渉させて、前記第1のレーザー光の干渉により生じた前記第1の干渉光を出射し、前記参照レーザー光を干渉させて、前記参照レーザー光の干渉により生じた前記第2の干渉光を出射する第2の光干渉系と、前記第1の干渉光及び前記第2の干渉光を検出して、前記第1の信号を出力する第2の光検出系と、を含んでいてもよい。

[0037] これにより、波長毎に光をホモダイン干渉させて、第1のレーザー光の干渉信号及び参照レーザー光の干渉信号を第1の信号として精度良く得ることができる。よって、第1の信号に基づいた波長の算出精度を高めることができる。ヘテロダイン干渉を利用する場合に比べて、測定に用いる2つのレーザー光の波長の差分絶対値が大きくてよいので、2つのレーザー光の波長選択性を高めることができる。例えば、対象物の測定に適した波長を選択することができるので、結果として、対象物の測長精度及び長期安定性の低下を抑制することができる。また、測定用レーザー光の波長の数によらず、参照レーザー光の光源は1台のみでよいので、測距装置の構成を簡略化、小型化

、低コスト化を実現することができる。さらに、HeNeレーザーを代表とする、より安定な単一波長レーザーを使うことができるので、他方式に対して波長を測定する精度が高くなり、結果的に他方式に対して測長精度及び長期安定性が高くなる。

[0038] 本開示の第8の態様に係る測距装置は、第7の態様に係る測距装置であって、第8の態様に係る測距装置において、前記参照用干渉系は、前記第2の光干渉系を通過する前記第1のレーザー光の光路長と、前記第2の光干渉系を通過する前記参照レーザー光の光路長との差を変更する光路差変更機構をさらに含んでもよい。

[0039] これにより、光路差を調整することによって、第1のレーザー光及び参照レーザー光の各々の干渉信号の強度変化を生じさせることができる。干渉信号の強度変化に基づいて第1のレーザー光の波長を精度良く算出することができる。なお、光路長の差の変更は必須ではない。光路長の差を変更せずに、第1のレーザー光の干渉信号と参照レーザー光の干渉信号とをそれぞれ、モニタしてもよい。

[0040] なお、干渉信号を利用することで、第1のレーザー光及び参照レーザー光の各々のスペクトル情報が算出される。第1のレーザー光及び参照レーザー光の各々のスペクトル強度がガウス特性を持つことを仮定すると、測長の演算に必要な波長は、各レーザー光のピーク波長である。

[0041] そこで、本開示の第9の態様に係る測距装置は、第1の態様から第8の態様のいずれか1つに係る測距装置であって、第9の態様に係る測距装置において、前記信号処理系は、前記第1の信号に基づいて、前記第1のレーザー光のピーク波長を算出することで、前記ピーク波長を示す前記波長情報を生成してもよい。

[0042] これにより、レーザー光の分光スペクトルを得る必要がないので、光検出に必要な素子及び演算処理の複雑化を抑制することができる。素子構成の単純化による測距装置の小型化及び軽量化、並びに、演算の処理量の低減による演算に関わる電力消費の低減等を実現することができる。

- [0043] 本開示の第10の態様に係る測距装置は、第2の態様から第4の態様のいずれか1つに係る測距装置であって、第10の態様に係る測距装置において、前記信号処理系は、前記第1の信号に基づいて、前記第1のレーザー光のピーク波長及び前記第2のレーザー光のピーク波長を算出することで、前記第1のレーザー光の前記ピーク波長及び前記第2のレーザー光の前記ピーク波長を示す前記波長情報を生成してもよい。
- [0044] これにより、第1のレーザー光だけでなく、実際の測定に利用した第2のレーザー光の波長又はそれと同等の値を距離の算出に利用することができるので、MW1の場合においても測長精度を高めることができる。
- [0045] 本開示の第11の態様に係る測距装置は、第1の態様から第10の態様のいずれか1つに係る測距装置であって、第11の態様に係る測距装置において、前記信号処理系は、所定の条件を満たした場合に、前記波長情報を更新してもよい。
- [0046] これにより、波長情報の更新を適切なタイミングで行うことができる。不要な波長情報の更新が行われることを抑制することで、波長情報の更新に要する演算コストである演算時間及び／又は演算に要する消費電力等を抑制することができる。
- [0047] 本開示の第12の態様に係る測距装置は、第1の態様から第11の態様のいずれか1つに係る測距装置であって、第12の態様に係る測距装置において、前記信号処理系は、生成した前記波長情報を記憶するためのメモリを含んでいてもよく、前記信号処理系が前記波長情報を生成する頻度は、前記信号処理系が前記距離を算出する頻度より少なくてもよく、前記信号処理系は、前記メモリに記憶された前記波長情報と前記第2の信号とに基づいて、前記距離を算出してもよい。
- [0048] これにより、例えば、波長の長期的な揺らぎであるドリフトが緩やかに進行する場合には、波長情報の生成頻度を減らすことができる。また、波長情報の生成に要する演算コストは、測長に必要な演算コストよりも一般的に高い。波長情報の生成頻度を減らすことにより、演算コストを抑制することが

できる。

[0049] 本開示の第13の態様に係る測距装置は、第12の態様に係る測距装置であって、第13の態様に係る測距装置において、前記信号処理系は、前記第1のレーザー光の前記波長の揺らぎが閾値を超えた場合に、前記波長情報を生成し、前記メモリに記憶された前記波長情報を更新してもよい。

[0050] これにより、波長情報の生成頻度を減らすことができるので、波長情報の生成に要する電力消費を抑制することができる。例えば、距離の算出結果に影響を及ぼす程度の波長の揺らぎが生じた場合に波長情報を更新することができる。つまり、効果的で無駄の少ないタイミングで波長情報を更新することができる。

[0051] 本開示の第14の態様に係る測距装置は、第1の態様から第13の態様のいずれか1つに係る測距装置であって、第14の態様に係る測距装置において、前記光源部は、前記波長情報に基づいて前記第1のレーザー光の前記波長を調整する調整部を備えていてもよい。

[0052] これにより、例えば、揺らいだ波長を元に戻すことができるので、測長精度を高めることができる。

[0053] 本開示の第15の態様に係る測距装置は、第1の態様から第14の態様のいずれか1つに係る測距装置であって、第15の態様に係る測距装置において、前記第1のレーザー光は、複数の単一モードを含むレーザー光であってもよい。

[0054] これにより、単一波長レーザー光以外のレーザー光も利用することができる。

[0055] 本開示の第16の態様に係る測距装置は、第1の態様から第15の態様のいずれか1つに係る測距装置であって、第16の態様に係る測距装置において、前記参照用干渉系と前記測定用干渉系とは、光干渉系を共用してもよい。

[0056] これにより、測距装置の小型化及び軽量化を実現することができる。

[0057] 本開示の第17の態様に係る測距装置は、第1の態様に係る測距装置であ

って、第17の態様に係る測距装置において、前記測定用干渉系には、さらに、前記参照レーザー光が前記対象物によって反射されることにより生じた第3の反射光が入力されてもよい。

[0058] これにより、レーザー光源の数を減らすことができるので、測距装置の小型化及び軽量化を実現することができる。

[0059] 以下では、実施の形態について、図面を参照しながら具体的に説明する。

[0060] なお、以下で説明する実施の形態は、いずれも包括的又は具体的な例を示すものである。以下の実施の形態で示される数値、形状、材料、構成要素、構成要素の配置位置及び接続形態、ステップ、ステップの順序などは、一例であり、本開示を限定する主旨ではない。また、以下の実施の形態における構成要素のうち、独立請求項に記載されていない構成要素については、任意の構成要素として説明される。

[0061] また、各図は、模式図であり、必ずしも厳密に図示されたものではない。したがって、例えば、各図において縮尺などは必ずしも一致しない。また、各図において、実質的に同一の構成については同一の符号を付しており、重複する説明は省略又は簡略化する。

[0062] また、本明細書において、平行又は垂直などの要素間の関係性を示す用語、要素の形状を示す用語、及び、数値範囲は、厳格な意味のみを表す表現ではなく、実質的に同等な範囲、例えば数%程度の差異をも含むことを意味する表現である。

[0063] また、本明細書において、「第1」、「第2」などの序数詞は、特に断りの無い限り、構成要素の数又は順序を意味するものではなく、同種の構成要素の混同を避け、区別する目的で用いられている。

[0064] (実施の形態1)

[1. 測距装置の構成]

まず、実施の形態1に係る測距装置の構成について、図1を用いて説明する。図1は、本実施の形態に係る測距装置1の構成を示すブロック図である。

- [0065] 図1に示す測距装置1は、対象物90までの距離を測定する装置である。例えば、測距装置1は、対象物90の部位毎の距離を測定することにより、対象物90の表面形状を示す情報を得ることができる。このため、例えば、測距装置1は、製品等の外観検査等に利用することができる。
- [0066] 図1に示すように、測距装置1は、光源部10と、光分岐器20と、参照用干渉系30と、測定用干渉系40と、信号処理系50と、を備える。また、図示していないが、測距装置1は、対象物90を支持する支持部を備えてもよい。支持部は、例えば、モーター、ピエゾ素子等の駆動部を含み、対象物90の姿勢及び／又は位置を変更可能であってもよい。
- [0067] なお、図1において、測距装置1を構成する2つのブロック間を接続する点線は、光の経路を表している。また、測距装置1を構成する2つのブロック間を接続する実線の矢印は、主たる信号の伝送経路及び当該信号の伝送方向を示している。
- [0068] 光源部10は、複数のレーザー光を出射する。本実施の形態では、複数のレーザー光は、互いのピーク波長が異なる単一波長レーザー光である。具体的には、光源部10は、第1のレーザー光、第2のレーザー光及び参照レーザー光を出射する。図1に示すように、光源部10は、測定用光源11と、参照用光源12と、を備える。
- [0069] 測定用光源11は、第1のレーザー光の一例であるレーザー光L1を出射する。また、測定用光源11は、第2のレーザー光の一例であるレーザー光L2を出射する。参照用光源12は、参照レーザー光Lrを出射する。光源部10のより具体的な構成は、図2を用いて後で説明する。
- [0070] なお、レーザー光は、一般的に、一定の波長及び周波数で維持することが困難であり、ある程度、波長及び周波数が時間的に変動する。波長の揺らぎは、波長の時間的な変動量を示すパラメータである。波長の揺らぎには、短期間での変動だけでなく、長期的なドリフトも含まれる。ドリフトとは、短期的な変動の平均値が時間の経過とともにずれていくことを意味する。本実施の形態では、参照レーザー光Lrの波長の揺らぎは、レーザー光L1及び

L 2の波長の揺らぎよりも小さい。波長の揺らぎの詳細については、後で説明する。

[0071] 光分岐器20は、光源部10から出射されたレーザー光L1を光L1rと光L1tとに分割して出射する。光L1rは、参照用干渉系30に入力され、光L1tは、測定用干渉系40に入力される。また、光分岐器20は、レーザー光L2を分割せずにそのまま光L2tとして出射する。あるいは、光分岐器20は、レーザー光L2を2つの光に分割して出射してもよい。分割後の2つの光の一方は、参照用干渉系30に入力され、他方である光L2tは、測定用干渉系40に入力される。

[0072] 光分岐器20は、入射する光を強度分割して異なる方向に出射する。光分岐器20は、例えばハーフミラーであり、その強度分割比は、例えば1:1であるが、これに限定されない。光L1rの強度が光L1tの強度より高くてもよく、光L1tの強度が光L1rの強度より高くてもよい。光分岐器20による分割の際に光の波長は変化しない。

[0073] 参照用干渉系30は、第1のレーザー光を干渉させた光及び参照レーザー光を干渉させた光を検出し、干渉させた光の検出結果に応じた第1の信号S1を出力する。具体的には、参照用干渉系30には、光分岐器20から出射される光L1rと参照用光源12からの参照レーザー光Lrとが入射される。図1に示すように、参照用干渉系30は、光干渉系31と、光検出系32と、を含む。

[0074] 光干渉系31は、第2の光干渉系の一例であり、光L1rを干渉させて干渉光L1riを出射し、参照レーザー光Lrを干渉させて干渉光Lriを出射する。干渉光L1riは、第1の干渉光の一例であり、干渉光Lriは、第2の干渉光の一例である。光干渉系31による干渉は、ホモダイン干渉である。

[0075] 光検出系32は、第2の光検出系の一例であり、干渉光L1ri及びLriを検出して、第1の信号S1を出力する。第1の信号S1は、信号処理系50に出力される。第1の信号S1は、光L1rの波長、すなわち、光L1

t の波長を算出するために用いられる。

[0076] 光干渉系 3 1 及び光検出系 3 2 の各々の具体的な構成については、図 4 を用いて後で説明する。

[0077] 測定用干渉系 4 0 は、第 1 のレーザー光のうち対象物 9 0 に照射された光が、対象物 9 0 によって反射されることにより生じた第 1 の反射光が入力されて、第 2 の信号 S 2 を出力する。また、測定用干渉系 4 0 には、さらに、第 2 のレーザー光のうち対象物 9 0 に照射された光が、対象物 9 0 によって反射されることにより生じた第 2 の反射光が入力される。具体的には、測定用干渉系 4 0 には、光分岐器 2 0 から出射される光 L 1 t と対象物 9 0 からの反射光 L 1 c とが入力される。さらに、測定用干渉系 4 0 には、光分岐器 2 0 から出射される光 L 2 t と対象物 9 0 からの反射光 L 2 c とが入力される。図 1 に示すように、測定用干渉系 4 0 は、光干渉系 4 1 と、光検出系 4 2 と、を含む。

[0078] 光干渉系 4 1 は、第 1 の光干渉系の一例であり、光 L 1 t と反射光 L 1 c とを干渉させて、光 L 1 t と反射光 L 1 c との干渉により生じた第 3 の干渉光 L 1 i を出射し、かつ、光 L 2 t と反射光 L 2 c とを干渉させて、光 L 2 t と反射光 L 2 c との干渉により生じた第 4 の干渉光 L 2 i を出射する。光干渉系 4 1 による干渉は、ホモダイン干渉である。

[0079] 光検出系 4 2 は、第 1 の光検出系の一例であり、第 3 の干渉光 L 1 i 及び第 4 の干渉光 L 2 i を検出して、第 3 の干渉光 L 1 i 及び第 4 の干渉光 L 2 i の検出結果に応じた第 2 の信号 S 2 を出力する。第 2 の信号 S 2 は、信号処理系 5 0 に出力される。第 2 の信号 S 2 は、測距装置 1 から対象物 9 0 までの距離の算出に用いられる。

[0080] 光干渉系 4 1 及び光検出系 4 2 の各々の具体的な構成については、図 3 を用いて後で説明する。

[0081] 信号処理系 5 0 は、第 1 の信号 S 1 に基づいて、第 1 のレーザー光の波長に関する波長情報を生成し、波長情報と第 2 の信号 S 2 とに基づいて、測距装置 1 から対象物 9 0 までの距離を算出する。図 1 に示すように、信号処理

系50は、信号受信部51と、メモリ52と、処理回路53と、を含む。

[0082] 信号受信部51は、参照用干渉系30から第1の信号S1を取得し、測定用干渉系40から第2の信号S2を取得する。信号受信部51は、取得した第1の信号S1及び第2の信号S2をメモリ52に記憶する。

[0083] メモリ52は、不揮発性メモリ及び／又は揮発性メモリ等の記憶装置である。メモリ52には、第1の信号S1及び第2の信号S2が記憶される。また、メモリ52には、測距装置1の各構成要素を動作させるためのプログラム及びデータ、並びに、信号処理によって得られる波長情報及び距離情報等が記憶されてもよい。

[0084] 処理回路53は、参照用干渉系30及び測定用干渉系40から出力される信号を処理する回路である。具体的には、処理回路53は、第1の信号S1に基づいて、第1のレーザー光のピーク波長を算出することで、算出したピーク波長を示す波長情報を生成する。本実施の形態では、処理回路53は、第1の信号S1に基づいて、レーザー光L1のピーク波長 λ_1 及びレーザー光L2のピーク波長 λ_2 を算出する。処理回路53は、メモリ52に記憶された波長情報と第2の信号S2とに基づいて、測距装置1から対象物90までの距離を算出する。例えば、処理回路53は、測定用干渉系40から出力される第2の信号S2を所定のアルゴリズムに基づいて処理することで、対象物90の位置を位相情報として取得する。代表的な位相推定のアルゴリズムとして、4ステップ位相シフトアルゴリズム(4-step phase-shifting algorithm)などを用いることができる。処理回路53は、位相情報に基づいて、測距装置1から対象物90までの距離を算出することができる。

[0085] 本実施の形態では、処理回路53は、波長 λ_1 に対応する干渉結果に基づいて、第1の測長レンジ内の第1の距離を第1の測長精度で算出する。また、処理回路53は、波長 λ_1 と波長 λ_2 とに対応する干渉結果に基づいて、第2の測長レンジ内の第2の距離を第2の測長精度で算出する。処理回路53は、第1の距離と第2の距離とに基づいて、測距装置1から対象物90までの

距離を算出する。処理回路53は、測距装置1から対象物90までの絶対距離を算出する。

[0086] ここで、第1の測長精度は、第2の測長精度より高い。また、第2の測長レンジは、第1の測長レンジより長い。このため、簡単に言い換えると、処理回路53は、1波長分の干渉結果に基づいて、短い測長レンジ内の距離を高い測長精度で算出する。処理回路53は、2波長分の干渉結果に基づいて、長い測長レンジ内の距離を低い測長精度で算出する。具体的な距離の算出方法については、後で説明する。

[0087] 処理回路53は、LSI (Large Scale Integration) などの集積回路によって実現される。例えば、処理回路53は、専用のハードウェア構成で実現されて、測距装置1から対象物90までの距離を算出してもよい。あるいは、処理回路53は、プロセッサを含み、メモリ52に格納されたプログラムをプロセッサに実行させることで、測距装置1から対象物90までの距離を算出してもよい。あるいは、処理回路53は、プログラム可能なFPGA (Field Programmable Gate Array)、又は、LSI内の回路セルの接続及び設定が再構成可能なりコンフィギュラブルプロセッサであってもよい。

[0088] [1-1. 光源部]

続いて、光源部10の具体的な構成について、図2を用いて説明する。図2は、本実施の形態に係る測距装置1の光源部10の構成を示すブロック図である。図2に示すように、測定用光源11は、レーザー光源13a及び13bと、波長合成系14と、を備える。参照用光源12は、レーザー光源13rを備える。

[0089] レーザー光源13aは、波長 λ_1 のレーザー光L1を出射する。レーザー光L1は、第1のレーザー光の一例であり、例えば、単一波長レーザー光である。波長 λ_1 は、レーザー光L1のピーク波長である。

[0090] レーザー光源13bは、波長 λ_2 のレーザー光L2を出射する。レーザー光L2は、第2のレーザー光の一例であり、例えば、単一波長レーザー光であ

る。波長 λ_2 は、レーザー光L2のピーク波長であり、波長 λ_1 とは異なる波長である。波長 λ_1 と波長 λ_2 との差分絶対値 ($|\lambda_1 - \lambda_2|$) が短くなる程、測長レンジを長くすることができる。

[0091] レーザー光源13rは、波長 λ_r の参照レーザー光Lrを出射する。参照レーザー光Lrは、参照レーザー光の一例であり、例えば、単一波長レーザー光である。波長 λ_r は、参照レーザー光Lrのピーク波長であり、波長 λ_1 及び λ_2 のいずれとも異なる波長である。波長 λ_r は、波長 λ_1 より短い。

[0092] レーザー光源13a及び13bは、例えば、半導体レーザー素子である。一例として、レーザー光源13a及び13bには、波長及び周波数の安定性が高い特徴をもつDFB (Distributed Feedback) レーザー光源を利用することができる。また、レーザー光源13rは、例えば、HeNeレーザー光源である。レーザー光源13rが出射する参照レーザー光Lrの波長は、約633nmである。HeNeレーザー光源は、半導体レーザー素子に比べて、出射光の波長の揺らぎが少ない波長、すなわち、波長の時間安定性が高い光源である。

[0093] 波長合成系14は、2つのレーザー光源13a及び13bの各々から出射されたレーザー光L1及びL2を合波する。波長合成系14は、例えば、DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) 素子、又は、ホログラフィック光学素子等である。

[0094] [1-2. 測定用干渉系の具体的な構成]

続いて、測定用干渉系40の具体的な構成について説明する。上述したように、測定用干渉系40は、光干渉系41と、光検出系42と、を含む。以下では、それぞれの構成を、図3を用いて順に説明する。図3は、本実施の形態に係る測距装置1の測定用干渉系40の具体的な構成を示す図である。

[0095] 本実施の形態では、光干渉系41は、マイケルソン干渉を利用する光学系である。図3に示すように、光干渉系41は、ビームスプリッタ43と、ミラー44と、を備える。

[0096] ビームスプリッタ43は、入射する光を複数の光に強度分割して、複数の

光をそれぞれ異なる方向へ出射させる光学素子である。ビームスプリッタ43は、例えば、ハーフミラーであり、入射する光を透過光と反射光とにそれぞれ、同じ強度になるように分割する。なお、透過光と反射光との強度比率は1 : 1でなくてもよい。

[0097] 具体的には、ビームスプリッタ43は、光源部10からのレーザー光L1のうち、光分岐器20によって分割された光L1tを、2つの光L1a及びL1bに分割する。また、ビームスプリッタ43は、光源部10からのレーザー光L2のうちの光L2tを、2つの光L2a及びL2bに分割する。図3に示す例では、光L1a及び光L2aは、ビームスプリッタ43で反射された反射光であり、ミラー44に向けて出射される。光L1b及びL2bは、ビームスプリッタ43を透過した透過光であり、対象物90に向けて出射される。

[0098] ミラー44は、ビームスプリッタ43からの光L1a及びL2aを反射して、ビームスプリッタ43に入射させる光学素子の一例である。具体的には、ミラー44は、入射する光を鏡面反射させる。反射率が高い程、光のロスが減るため検出精度を高めることができる。ミラー44に入射した光L1a及びL2aはいずれも、ミラー44で反射されてビームスプリッタ43に再入射する。ミラー44で反射されてビームスプリッタ43に再入射する光L1a及びL2aの各々の少なくとも一部は、ビームスプリッタ43を透過する。

[0099] 対象物90に照射された光L1b及びL2bは、対象物90によって反射されて、反射光L1c及びL2cとしてビームスプリッタ43に再び入射する。ビームスプリッタ43に再入射する反射光L1c及びL2cの各々の少なくとも一部はビームスプリッタ43によって反射される。この場合に、反射光L1c及びL2cと光L1a及びL2aとの干渉が起きる。図3では、反射光L1cと光L1aとのホモダイン干渉によって生じる干渉光を干渉光L1iとして示している。反射光L2cと光L2aとのホモダイン干渉によって生じる干渉光を干渉光L2iとして示している。干渉光L1i及びL2

i は、光検出系 4 2 に出射される。

- [0100] なお、ミラー 4 4 と対象物 9 0 との配置は入れ替え可能である。すなわち、光源部 1 0 からの光がビームスプリッタ 4 3 によって透過光と反射光とに分割された場合に、透過光がミラー 4 4 に照射され、反射光が対象物 9 0 に照射されてもよい。
- [0101] また、光干渉系 4 1 は、マイケルソン干渉を利用する光学系には限定されない。光干渉系 4 1 は、フィゾー干渉又はマッハツェンダー干渉などを利用する光学系であってもよい。
- [0102] 光検出系 4 2 は、図 3 に示すように、ダイクロイックミラー 4 5 と、ミラー 4 6 と、光検出器 4 7 及び 4 8 と、を備える。
- [0103] ダイクロイックミラー 4 5 は、入射する光を波長 λ_1 の光と波長 λ_2 との光に分離する波長分離素子の一例である。具体的には、ダイクロイックミラー 4 5 は、ビームスプリッタ 4 3 から光検出系 4 2 に入射する光を波長分離する。本実施の形態では、ダイクロイックミラー 4 5 は、波長 λ_1 の光を光検出器 4 7 に向けて出射させ、波長 λ_2 の光を光検出器 4 8 に向けて出射させる。本実施の形態では、ミラー 4 6 が光路調整のために設けられている。
- [0104] ミラー 4 6 は、ダイクロイックミラー 4 5 で分離された波長 λ_2 の光を鏡面反射させて光検出器 4 8 に入射させる。なお、ミラー 4 6 が設けられずに、光検出器 4 8 がミラー 4 6 の位置に配置されていてもよい。あるいは、ミラー 4 6 は、波長 λ_1 の光の光路を調整する目的で設けられていてもよい。
- [0105] 光検出器 4 7 及び 4 8 はそれぞれ、入射する光の強度に応じた電気信号を生成する光電変換素子を含む。光検出器 4 7 は、少なくとも波長 λ_1 に感度を有し、波長 λ_1 の光を光電変換することで、その強度に応じた信号レベルを有する干渉信号 S 2 1 を第 2 の信号 S 2 として信号処理系 5 0 に出力する。干渉信号 S 2 1 は、レーザー光 L 1 の一部と対象物 9 0 からの反射光 L 1 c との干渉光 L 1 i を検出することで得られる信号である。
- [0106] 光検出器 4 8 は、少なくとも波長 λ_2 に感度を有し、波長 λ_2 の光を光電変換することで、その強度に応じた信号レベルを有する干渉信号 S 2 2 を第 2

の信号S 2として信号処理系5 0に出力する。干渉信号S 2 2は、レーザー光L 2の少なくとも一部と対象物9 0からの反射光L 2 cとの干渉光L 2 iを検出することで得られる信号である。

[0107] なお、波長毎の受光ができれば、光検出系4 2の構成は上記例に限定されない。例えば、ビームスプリッタ4 3から光検出系4 2に向かう光を2つの光に強度分割した後、分割後の2つの光の各々に対して、特定の波長成分に透過帯域を有するフィルタを通過させてもよい。フィルタは、例えばバンドパスフィルタが利用されるが、ローパスフィルタ、ハイパスフィルタなどであってもよい。

[0108] また、測定用干渉系4 0は、ホモダイン干渉を利用する光学系でなくてもよい。測定用干渉系4 0は、ヘテロダイン干渉を利用する光学系であってもよい。この場合、測定用干渉系4 0は、光を波長分割するダイクロイックミラー4 5を備えなくてもよく、光検出器の個数も1つで構わない。

[0109] [1-3. 参照用干渉系の具体的な構成]

続いて、参照用干渉系3 0の具体的な構成について説明する。上述したように、参照用干渉系3 0は、光干渉系3 1と、光検出系3 2と、を含む。以下では、それぞれの構成を、図4を用いて順に説明する。図4は、本実施の形態に係る測距装置1の参照用干渉系3 0の具体的な構成を示す図である。

[0110] 光干渉系3 1は、サニャック型のマイケルソン干渉系を利用する光学系である。光干渉系3 1には、光分岐器2 0によって分割されたレーザー光L 1の一部である光L 1 rと、参照レーザー光L rとが入射位置を異ならせて入射する。図4に示すように、光干渉系3 1は、ビームスプリッタ3 3と、ミラー3 4及び3 5と、移動ミラー3 6と、を備える。

[0111] ビームスプリッタ3 3は、入射する光を複数の光に強度分割して、複数の光をそれぞれ異なる方向へ出射させる光学素子である。ビームスプリッタ3 3は、例えば、ハーフミラーであり、入射する光を透過光と反射光とにそれぞれ、同じ強度になるように分割する。なお、透過光と反射光との強度比率は1 : 1でなくてもよい。

- [0112] 具体的には、ビームスプリッタ33は、光L1rを2つの光L1ra及びL1rbに分割する。また、ビームスプリッタ33は、参照レーザー光Lrを2つの光Lra及びLrbに分割する。図4に示す例では、光L1ra及び光Lraは、ビームスプリッタ33で反射された反射光であり、ミラー35に向けて出射される。光L1rb及びLrbは、ビームスプリッタ33を透過した透過光であり、ミラー34に向けて出射される。
- [0113] ミラー34は、光L1rb及びLrbを移動ミラー36に向けて反射する。ミラー35は、光L1ra及びLraを移動ミラー36に向けて反射する。
- [0114] 移動ミラー36は、2つの反射面36a及び36bを有する。反射面36aは、光Lra及びL1raをそれぞれ反射させる。反射面36aで反射された光Lra及びL1raは、ミラー35で反射された後、ビームスプリッタ33に入射し、その少なくとも一部が透過する。反射面36bは、光Lrb及びL1rbをそれぞれ反射させる。反射面36bで反射された光Lrb及びL1rbは、ミラー34で反射された後、ビームスプリッタ33に入射し、その少なくとも一部が反射される。ビームスプリッタ33を透過した光L1raとビームスプリッタ33で反射される光L1rbとがホモダイン干渉して、干渉光L1riとして光検出器37に入射する。ビームスプリッタ33を透過した光Lraとビームスプリッタ33で反射される光Lrbとがホモダイン干渉して、干渉光Lriとして光検出器38に入射する。
- [0115] 移動ミラー36は、反射面36a及び36bの位置を変更可能である。例えば、反射面36a及び36bの少なくとも一方を移動可能に支持する可動ステージが設けられている。反射面36a及び36bの位置を変更することによって、光干渉系31内を進行する光の光路長が変化する。すなわち、移動ミラー36は、光干渉系31を通過する光L1rの光路長と、光干渉系31を通過する参照レーザー光Lrの光路長との差を変更する光路差変更機構の一例である。光路差を調整することによって、干渉光Lri及びL1riが変化する。

[0116] なお、光干渉系 31 が備える光路差変更機構は、光路長を変化することができればよく、移動ミラー 36 に限定されない。例えば、光干渉系 31 は、光路上に配置された電気光学変調器 (EOM) を光路差変更機構として備えてもよい。

[0117] 光検出系 32 は、図 4 に示すように、光検出器 37 及び 38 を備える。光検出器 37 及び 38 はそれぞれ、入射する光の強度に応じた電気信号を生成する光電変換素子を含む。

[0118] 光検出器 37 は、少なくとも波長 λ_1 に感度を有し、波長 λ_1 の光を光電変換することで、その強度に応じた信号レベルを有する干渉信号 S11 を第 1 の信号 S1 として信号処理系 50 に出力する。干渉信号 S11 は、レーザー光 L1 の一部である光 L1r のホモダイン干渉により発生する干渉光 L1ri を検出することで得られる信号である。

[0119] 光検出器 38 は、少なくとも波長 λ_r に感度を有し、波長 λ_r の光を光電変換することで、その強度に応じた信号レベルを有する干渉信号 S12 を第 1 の信号 S1 として信号処理系 50 に出力する。干渉信号 S12 は、参照レーザー光 Lr のホモダイン干渉により発生する干渉光 Lri を検出することで得られる信号である。

[0120] [2. 測距の原理]

続いて、本実施の形態に係る測距装置 1 による距離測定の原理について説明する。

[0121] 本実施の形態に係る測距装置 1 では、複数のレーザー光を用いたマルチ波長干渉 (MWI) に基づく測距を行う。MWI は、互いに波長の異なる複数の単一波長レーザー光の干渉結果を組み合わせることで、測長レンジと測長精度とのトレードオフを解消し、長い測長レンジと高い測長精度とを達成できる。以下、マルチ波長干渉の原理を説明する。

[0122] [2-1. 第 1 の測定 (1 波長を利用)]

まず、1 つの単一波長レーザー光を用いた第 1 の測定について説明する。

[0123] 図 3 を用いて説明したように、ホモダイン光干渉では、単一波長レーザー

光をビームスプリッタ43によって分岐させて、参照面として機能するミラー44と、距離の測定対象である対象物90とに照射する。ミラー44及び対象物90のそれぞれによる反射光をビームスプリッタ43にて干渉させている。その干渉した光を光検出器47で検出した際に光検出器47から出力される信号の強度 P_{PD} は、以下の式(1)で表される。

[0124] [数1]

$$(1) \quad P_{PD} \propto 1 - \cos\left(\frac{4\pi L_-}{\lambda_k}\right)$$

[0125] 式(1)において、 $L_- = L_x - L_y$ である。 L_x は、ビームスプリッタ43からミラー44の反射面までの距離である。 L_y は、ビームスプリッタ43から対象物90までの距離である。 λ_k は、単一波長レーザー光の波長である。ここでは、 $k = 1$ である。 λ_k は、参照用干渉系30から出力される第1の信号S1に基づいて算出される。その結果、 L_x 及び λ_k はいずれも、処理回路53にとって既知の値となる。このため、処理回路53は、信号強度 P_{PD} に基づいて、ビームスプリッタ43から対象物90までの距離 L_y を算出することができる。

[0126] 第1の測定では、測長レンジが相対的に短いという問題がある。以下では、図5を用いて、対象物90の位置と測長レンジとの関係について説明する。

[0127] 図5は、本実施の形態に係る測距装置1による単一波長レーザー光を用いた第1の測定の原理を説明するための図である。図5において、対象物90a、90b及び90cはそれぞれ、図1及び図3に示した対象物90が異なる位置に位置していることを表している。位置を区別する必要がない場合には、「対象物90」として説明を行う。

[0128] 図5では、横軸に、所定の位置を基準点とする対象物90までの距離を表し、縦軸に、処理回路53が算出する距離を表したグラフを示している。図5に示すように、処理回路53は、所定の測長レンジ内で、測距装置1から対象物90までの距離を算出することができる。測長レンジは、式(1)か

ら分かるように、単一波長レーザー光の波長を λ_1 とした場合、その半波長（ $\lambda_1/2$ ）になる。

[0129] 第1の測定では、測長レンジを越えた場合には、測距装置1から対象物90までの絶対距離を算出することができない。例えば、図5に示す例では、対象物90a、90b及び90cが全て同じ距離として算出される。

[0130] 単一波長レーザー光の波長は、例えば、近赤外光帯域又は可視光帯域の波長である。近赤外光帯域は、約700nm以上約2500nm以下の波長帯域である。可視光帯域は、約380nm以上約780nm以下の波長帯域である。この場合、第1の測定における測長レンジは、約190nm以上約1250nm以下になる。すなわち、第1の測定における測長レンジは、数百ナノメートルオーダーから数マイクロメートルオーダーの大きさとなる。このように、第1の測定の測長レンジは、後述する第2の測定と比較して相対的に狭くなる。

[0131] [2-2. 第2の測定（2波長を利用）]

次に、第1の測定の課題である測長レンジの短さを解決するための、互いに異なる波長を有する2つの単一波長レーザー光を利用する第2の測定について、図3及び図6を用いて説明する。

[0132] 図3に示したように、本実施の形態に係る測距装置1では、ビームスプリッタ43にて干渉した光を、ダイクロイックミラー45によって波長毎に分光して2台の光検出器47及び48で検出する。この結果、光検出器47及び48の各々から、対応する波長毎のホモダイン光干渉の結果に対応する信号が出力される。処理回路53は、2つの信号に基づいて、測距装置1から対象物90までの距離を算出することができる。

[0133] 第2の測定では、2つの信号を組み合わせることにより、測長レンジが長くなる。以下では、図6を用いて、対象物90の位置と測長レンジとの関係について説明する。

[0134] 図6は、本実施の形態に係る測距装置1による2つの単一波長レーザー光を用いた第2の測定の原理を説明するための図である。図6において、対象

物 90 a、90 b 及び 90 c はそれぞれ、図 1 及び図 3 に示した対象物 90 が異なる位置に位置していることを表している。位置を区別する必要がない場合には、「対象物 90」として説明を行う。

[0135] 図 6 では、横軸に、所定の位置を基準点とする対象物 90 までの距離を表し、縦軸に、処理回路 53 が算出する距離を表したグラフを 2 つ示している。2 つのグラフのうち、上段のグラフは、図 5 に示したグラフと同じであり、2 つの光検出器 47 及び 48 の一方から得られる信号に基づいて算出される距離を表している。2 つのグラフのうちの、下段のグラフは、2 つの光検出器 47 及び 48 の他方から得られる信号に基づいて算出される距離を表している。

[0136] 2 つのグラフをそれぞれ、単独で利用するだけでは、測長レンジがそれぞれ $\lambda_1/2$ 又は $\lambda_2/2$ であるので、測長レンジのオーダーは、第 1 の測定とほとんど変わらない。第 2 の測定では、2 つのグラフを組み合わせることにより、測長レンジを長くすることができる。

[0137] 具体的には、対象物 90 a、90 b、90 c はそれぞれ、上段のグラフに対応して算出される距離は、互いにほぼ同じである。しかしながら、下段のグラフに対応して算出される距離が互いに異なっている。このため、2 つの算出結果を組み合わせることにより、 $\lambda_1/2$ 及び $\lambda_2/2$ のいずれよりも長い測長レンジで距離を算出することができる。具体的には、処理回路 53 は、第 1 の測定により得られる第 1 の距離と、第 2 の測定により得られる第 2 の距離とを組み合わせることで、測距装置 1 から対象物 90 までの絶対距離を算出する。

[0138] 第 2 の測定における測長レンジは、2 つの単一波長レーザー光のビート波長の半分になる。例えば、2 つの単一波長レーザー光の波長を λ_1 と λ_2 とするとビート波長 Λ_{12} は、以下の式 (2) で表される。

[0139] [数 2]

$$(2) \quad \Lambda_{12} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{|\lambda_1 - \lambda_2|}$$

[0140] このビート波長 Λ_{12} による光干渉により、ビート波長 Λ_{12} の半分に相当する測長レンジでの距離測定ができる。例えば、 λ_1 と λ_2 とがそれぞれ、1550 nmと1551 nmとである場合、ビート波長 Λ_{12} は2.4 mmとなり、測長レンジは1.2 mmになる。単一波長干渉の場合の測長レンジが約775 nmでナノメートルオーダーであるのに対して、MW1の測長レンジは、ミリメートルオーダーにまで拡大する。

[0141] [2-3. 測長精度]

続いて、第1の測定及び第2の測定の各々の測長精度について説明する。

[0142] 測長精度は、測定に利用する単一波長レーザー光の波長に依存する。具体的には、単一波長レーザー光の波長が短い程、測長精度が高くなり（すなわち、距離の次元では小さくなり）、単一波長レーザー光の波長が長い程、測長精度が低くなる（すなわち、距離の次元では長くなる）。

[0143] 第2の測定のように2つの単一波長レーザー光を利用する場合には、測長精度は、ビート波長に依存する。具体的には、ビート波長が短い程、測長精度が高くなり（すなわち、距離の次元では小さくなり）、ビート波長が長い程、測長精度が低くなる（すなわち、距離の次元では長くなる）。

[0144] ビート波長が単一波長レーザー光の波長より長いため、第2の測定では、第1の測定に比べて測長精度が低くなる。つまり、第2の測定の測長精度が、ビート波長 Λ_{12} に起因するために悪化する。このように、第2の測定を利用するだけでは、測長レンジと測長精度とのトレードオフはまだ解消されていない。

[0145] このトレードオフを解消するため、MW1では、第1の測定及び第2の測定を組み合わせることで、長い測長レンジと高い測長精度との両方を同時に達成している。すなわち、測長レンジは短いが、測長精度が高い第1の測定と、測長精度が低いが、測長レンジが長い第2の測定とを組み合わせることで、長い測長レンジと高い測長精度との両方を達成している。

[0146] 図7は、本実施の形態に係る測距装置1による2つの測定の測長レンジと測長精度とを示す図である。図7に示すように、第2の測定における測長精

度（第2の測長精度）を A_m とし、第2の測定における測長レンジ（第2の測長レンジ）を R_m とする。また、第1の測定における測長精度（第1の測長精度）を A_s とし、第1の測定における測長レンジ（第1の測長レンジ）を R_s とする。測長レンジ及び測長精度はいずれも、距離の次元で表されるので、比較が可能である。

[0147] 上述したように、また、図7に示すように、 $R_m > R_s$ 、かつ、 $A_m > A_s$ が成立している。また、本実施の形態では、 $A_m \leq R_s$ が成立している。すなわち、第2の測定の測長精度 A_m は、第1の測定の測長レンジ R_s 以下である。これにより、第1の測定と第2の測定との組み合わせを一意に行うことができるので、第2の測定の測長精度よりも高い測長精度で距離測定が可能になる。

[0148] ここで、より高い測長精度を実現するためには、第1の測定に利用されるレーザー光 L_1 の波長の正確な値を距離算出に利用することが重要となる。

[0149] [3. 波長及び周波数の安定性と測長精度との関係]

続いて、波長及び周波数の安定性と測長精度との関係について説明する。

[0150] レーザー光の波長及び周波数は、予め定められた設定値が維持されるように、図示しない制御部によって調整される。具体的には、レーザー光源に供給する電流量、及び／又は、レーザー光源の温度を調整することによって、波長を一定に保とうとする。本実施の形態では、光源部10の設定波長が測定期間において固定になるように制御される。

[0151] しかしながら、レーザー光源の特性上、完全に波長を一定に保つことが難しい。図8に示すように、単一波長レーザー光の波長が時間変化、すなわち、揺らぐ。なお、図8は、単一波長レーザー光の波長の安定性を説明するための図である。図8において、横軸は時間を表し、縦軸は単一波長レーザー光の波長または周波数を表している。図8は、短期的な波長の揺らぎを表している。

[0152] 波長の揺らぎは、例えば、図8に示す標準偏差 σ で表される。標準偏差 σ は、有限の時間内における、レーザー光の波長の平均値または中央値に対し

て統計的に算出することができる。なお、波長の揺らぎは、波長単位ではなく、周波数単位で表されてもよく、それ以外の波長に相関を持つ単位で表されてもよい。

[0153] 上述した式(1)から分かるように、波長 λ_k が揺らぐと、実際に測定に利用した単一波長レーザー光の波長と、計算上の波長とにずれが生じる。このため、算出される距離の値にばらつきが生じるため、測長精度が悪化する。このように、波長の揺らぎと測長精度とは相関がある。具体的には、揺らぎが小さい程、測長精度が良くなる。

[0154] なお、波長の安定性は、時間変化に対するレーザー光の波長の揺らぎと負の相関関係を有する値で表される。具体的には、揺らぎが小さい程、波長の安定性は高く、揺らぎが大きい程、波長の安定性は低い。

[0155] なお、レーザー光L1を出射するレーザー光源13aとしては、波長(周波数)の安定性が高い特徴をもつDFBレーザー光源、又は、参照周波数としてガスセルの吸収線と半導体レーザーとを組み合わせた光源装置などを用いることができるが、これらに限定されない。

[0156] なお、DFBレーザーは、波長の安定性が高いが、動作時間が長くなる(例えば、30分以上)と、波長がドリフトするので、測長精度が悪くなる。つまり、レーザー光L1を出射する光源として、波長が安定するレーザー光源を利用したとしても、長期的な観点では、測長精度及び長期安定性の低下を抑制することができない。なお、長期的な波長の揺らぎは、ピーク波長のドリフト量とみなすことができる。

[0157] これに対して、本実施の形態では、処理回路53が、参照用干渉系30から出力される第1の信号S1に基づいて、波長 λ_1 を算出する。具体的には、処理回路53は、干渉信号S11及びS12を用いて、それぞれの干渉信号の波の数の比較、あるいは、フーリエ変換によるスペクトル比較等を行うことによって、波長 λ_1 を算出する(例えば、特許文献3を参照)。そして、処理回路53は、算出した波長 λ_1 を利用して、測距装置1から対象物90までの距離を算出する。これにより、レーザー光L1の波長が揺らいだとしても

、測定に用いた時点の波長 λ_1 を精度良く得ることができるので、測距装置1の測長精度及び長期安定性を高めることができる。

[0158] なお、処理回路53は、高精度な測定が求められる第1の測定に使用するレーザー光L1の波長 λ_1 を算出したが、レーザー光L2の波長 λ_2 を算出してもよい。波長 λ_2 を算出するためには、レーザー光L1と同様に、光分岐器20によってレーザー光L2を第1の光と第2の光とに分割し、第1の光を参照用干渉系30に入力し、第2の光のホモダイン干渉による干渉信号を得ればよい。

[0159] このように、本実施の形態によれば、レーザー光L1の波長 λ_1 が揺らいだとしても、参照用干渉系30からの第1の信号S1に基づいて算出した波長 λ_1 を利用するので、実際の測定に利用した波長 λ_1 を距離の算出に利用することができる。これにより、測距装置1の測長精度及び長期安定性を高めることができる。

[0160] [4. 絶対距離の算出]

以下では、2つの単一波長レーザー光を用いて、MW1で、測距装置1から対象物90までの絶対距離を算出する方法の1つの例を説明する。

[0161] 第2の測定では、図3に示した2つの光検出器47及び48の各々からの信号に基づいて各波長の位相を算出し、その差分をビート波長 Λ_{12} の位相として取得している。上記MW1を行う条件を満たす場合、このビート波長 Λ_{12} の位相から算出された粗い距離を、周波数の揺らぎが少ないレーザー光L1の波長 λ_1 で割り算した際の商の成分から、レーザー光L1の波長 λ_1 の波数Nが決定される。このとき、レーザー光L1の波長 λ_1 は、第1の信号S1に基づいて算出された値を利用する。次に、第1の測定では、図3に示した2つの光検出器47及び48の一方（ここでは、光検出器47）からの信号に基づいて、単一波長の位相 ϕ を算出する。以上の結果に基づいて、絶対距離xは以下の式(3)を用いて算出される。

[0162] [数3]

$$(3) \quad x = \frac{\lambda_1}{2} \left(N + \frac{\phi}{2\pi} \right)$$

[0163] 算出した距離 x の揺らぎ成分の主な原因は ϕ であり、第1の単一波長レーザー光の波長の揺らぎに起因している。そのため、第1の測定で用いるレーザー光L1の波長 λ_1 として算出で得られた値を利用することで、絶対距離の算出精度を高めることができる。また、第1の測定で用いるレーザー光L1が最も波長の揺らぎが小さい、すなわち、波長の安定性が最も高いレーザーであることが、最適な波長の組み合わせ方となる。詳細については後で説明するが、波長数が3以上でも同様の手順で本開示に係る手法を適用できる。

[0164] [5. 動作（距離測定方法）]

続いて、本実施の形態に係る測距装置1の動作について、図9を用いて説明する。図9は、本実施の形態に係る測距装置1の動作を示すフローチャートである。

[0165] 図9に示すように、まず、測距装置1は、参照用干渉系30を用いて第1の信号S1を取得する（S10）。具体的には、光源部10は、レーザー光L1及び／又はL2と、参照レーザー光Lrと、を出力する。このうち、レーザー光L1は、光分岐器20によって光L1rと光L1tとに分割される。参照用干渉系30は、光L1r及び参照レーザー光Lrの各々をホモダイン干渉により干渉させて検出することにより、干渉信号S11及びS12を第1の信号S1として信号処理系50に出力する。

[0166] 次に、信号処理系50は、第1の信号S1に基づいて波長情報を生成して、メモリ52に記憶された波長情報を更新する（S11）。波長情報は、レーザー光L1の波長 λ_1 を示す情報である。生成された波長情報は、メモリ52に記憶される。

[0167] 次に、測距装置1は、測定用干渉系40を用いて第2の信号S2を取得する（S12）。具体的には、測定用干渉系40には、光L1t及び光L2t（レーザー光L2）と、これらの光の各々が対象物90により反射することにより生じた反射光L1c及びL2cとが入力される。測定用干渉系40は、光L1tと反射光L1cとをホモダイン干渉により干渉させて検出し、かつ、光L2tと反射光L2cとをホモダイン干渉により干渉させて検出する

ことにより、干渉信号S 2 1及びS 2 2を第2の信号S 2として信号処理系5 0に出力する。

[0168] 次に、信号処理系5 0は、メモリ5 2に記憶された波長情報と第2の信号S 2とに基づいて距離を算出する(S 1 3)。波長情報が示す波長 λ_1 を利用することにより、測長精度を高めることができる。

[0169] 測距処理を終了しない場合(S 1 4でNo)、信号処理系5 0は、波長情報の更新を行うか否かを判定する(S 1 5)。波長情報の更新は、例えば、予め定められたタイミングで行われる。波長情報の更新を行う場合(S 1 5でYes)、測距装置1では、第1の信号の取得(S 1 0)及び波長情報の更新(S 1 1)が行われる。

[0170] 波長情報の更新を行わない場合(S 1 5でNo)、測距装置1では、第2の信号の取得(S 1 2)及び距離の算出(S 1 3)が行われる。距離の算出では、メモリ5 2に記憶された波長情報が利用される。

[0171] 図1 0は、波長情報の更新頻度と距離の算出頻度との関係を示す図である。図1 0において、矢印は、時間の流れを表しており、三角印は、対応する処理を行うタイミングを表している。

[0172] 第1の信号S 1の取得及び波長情報の更新は、例えば、所定の期間毎に定期的に繰り返し行われる。第1の信号S 1の取得及び波長情報の更新の各々の頻度は、第2の信号S 2の取得及び距離の算出の各々の頻度より少ない。第1の信号S 1の取得及び波長情報の更新の頻度を減らすことによって、参照干渉系3 0及び信号処理系5 0の動作に要する電力を抑制することができる。

[0173] 波長情報が更新されない場合、ステップS 1 2で第2の信号S 2を取得する際に利用したレーザー光L 1は、メモリ5 2に記憶された波長情報を生成する際に利用したレーザー光L 1とは異なるタイミングで出射された光になる。レーザー光L 1を出射するレーザー光源1 3 aとして、短期的な波長の揺らぎが少ないDFBレーザー光源等を利用することにより、測長精度の低下を抑制することができる。さらに、本実施の形態によれば、所定のタイミ

ングでメモリ52に記憶された波長情報を更新することにより、レーザー光L1の長期的な波長 λ_1 の揺らぎ、すなわち、波長 λ_1 のドリフトが生じた場合であっても、測長精度の低下を抑制することができる。これにより、測距装置1の測長精度及び長期安定性の低下を抑制することができる。

- [0174] 波長情報の時間に対する揺らぎが小さい場合は、測定開始時の波長から一定以上の波長のずれが起こってから、メモリ52に記憶された波長情報の更新をしてもよい。具体的には、信号処理系50は、第1のレーザー光L1の波長 λ_1 の揺らぎが閾値を超えた場合に、波長情報を生成し、メモリ52に記憶された波長情報を更新してもよい。すなわち、処理回路53は、波長 λ_1 の算出を定期的に行い、算出した波長 λ_1 の値と測距開始時の初期値又はレーザー光源への設定波長との差分量、すなわち波長 λ_1 の揺らぎが閾値を超えた場合に、メモリ52に記憶された波長情報を更新してもよい。また、波長情報の更新をせずに、表示部及び／又は音声出力部等を利用してエラー出力を行うことにより、ユーザーに測定エラーを警告してもよい。
- [0175] あるいは、波長情報の更新頻度と距離の算出頻度とは同じであってもよい。この場合、レーザー光源13aとして波長の揺らぎが大きいレーザー光源を利用することができる。安価なレーザー光源を利用することができるので、測距装置1の低コスト化を実現することができる。
- [0176] また、波長情報の更新は、短期間の計測であれば、測定開始前の一回のみでもよい。すなわち、ステップS15の処理は実行されなくてもよい。
- [0177] なお、波長情報の更新は、測定開始前の1回に限定されるものではない。波長情報の更新は、所定の条件を満たした場合に行われてもよい。所定の条件の1つは、例えば、一定期間を経過したことである。具体的には、波長情報の更新は、1日、1週間又は1ヶ月に1回行うように、定期的に行われてもよい。測定を行わない期間は、波長の揺らぎはないものとして扱ってよい。
- [0178] また、所定の条件の1つは、波長のドリフトが閾値の範囲外であることであってもよい。具体的には、間接的にレーザー光の波長を計測することによ

り、波長のドリフトが閾値（例えば、1 nm / 8時間）の範囲内であることを確認してもよく、波長情報の更新は、波長のドリフトが閾値の範囲外になった場合に行われてもよい。間接的な波長のモニタ方法としては、レーザー光源の周辺の温度及び / 又は気圧の変化を計測、あるいは、レーザー光源自体の温度を計測することなどがある。

[0179] 以上のように、本実施の形態に係る測距装置1によれば、ヘテロダイン干渉ではなく、ホモダイン干渉を利用する。ヘテロダイン干渉では2つの光の波長の間隔を小さくする必要があるのに対して、ホモダイン干渉では、波長の制限がない。このため、測距装置1では、測定に利用するレーザー光L1及びL2の各々の波長選択性が高いという利点がある。

[0180] 例えば、対象物90がAR (Anti Reflection) コート付のレンズである場合は、対象物90に照射するレーザー光は、可視光帯域以外である必要がある。この場合、広く普及している通信波長帯のレーザー光を利用することが望ましい。本実施の形態によれば、波長選択性が高いため、測定用のレーザー光の波長を通信波長帯にして、参照レーザー光は、より測長精度の高くなる短波長にすることができる。サンプルに対してレーザー光の波長を最適化できること、及び、測長精度を高くできるという利点だけでなく、通信波長帯などの光通信で広く普及している光学素子が使えることで低コスト化も可能となる。

[0181] また、ヘテロダイン干渉を利用する場合には、測定用レーザー光源と参照用レーザー光源とを同じ台数用いる必要が出てくるため、装置の大型化及びコストが増大する。これに対して、本実施の形態に係る測距装置1では、参照用レーザー光源として1台のレーザー光源13rのみでよいので、測距装置の構成の簡略化、小型化、及び低コスト化を実現することができる。さらに、HeNeレーザーを代表とする、より安定な単一波長レーザーを使うことができるので、他方式に対して波長を測定する精度が高くなり、結果的に他方式に対して測長精度及び長期安定性が高くなる。

[0182] (実施の形態2)

続いて、実施の形態2について説明する。

- [0183] 実施の形態2に係る測距装置では、実施の形態1と比較して、光源部がレーザー光の波長を調整する調整部を備える点が主として相違する。以下では、実施の形態1との相違点を中心に説明を行い、共通点の説明を省略又は簡略化する。
- [0184] 図11は、本実施の形態に係る測距装置2の構成を示すブロック図である。図11に示すように、測距装置2は、図1に示した測距装置1と比較して、光源部10の代わりに光源部10Aを備える点が相違する。光源部10Aは、光源部10の構成に加えて、調整部15を備える。
- [0185] 調整部15は、波長情報に基づいて第1のレーザー光の波長を調整する。調整部15は、例えば、測定用光源11のレーザー光源13aの動作温度及び／又は印加電流等を制御することで、レーザー光L1の波長 λ_1 を調整する。一例として、調整部15は、揺らいだ（ドリフトした）波長 λ_1 の値を初期状態である測定開始時の波長 λ_1 に戻すように調整する。調整部15は、処理回路53で生成された波長情報を取得し、取得した波長情報が示す波長 λ_1 が閾値を超えた場合に、波長 λ_1 の調整を行う。
- [0186] 図12は、本実施の形態に係る測距装置2の動作を示すフローチャートである。
- [0187] 図12に示すように、まず、測距装置2では、調整部15が測定用のレーザー光の波長を設定する（S20）。具体的には、調整部15は、レーザー光L1の波長 λ_1 及びレーザー光L2の波長 λ_2 を所定の値に初期値として設定する。波長 λ_1 及び λ_2 の初期値は、例えば、対象物90の測距（例えば、表面形状の検査）に要求される測長精度等に基づいて定められる。
- [0188] 次に、測距装置2では、参照用干渉系30を用いて第1の信号S1を取得する（S21）。信号処理系50は、第1の信号S1に基づいて波長情報を生成する（S22）。波長情報は、レーザー光L1の波長 λ_1 を示す情報である。生成された波長情報は、メモリ52に記憶される。なお、ステップS21及びS22は、図9に示すステップS10及びS11と同じ処理である。

- [0189] 次に、調整部15は、レーザー光L1の波長 λ_1 を調整する(S23)。具体的には、調整部15は、メモリ52に記憶された波長情報が示す波長 λ_1 に基づいて、当該波長 λ_1 の値がレーザー光L1の波長 λ_1 の初期値になるようにレーザー光源13aの温度及び/又は印加電流等を調整する。なお、メモリ52に記憶された波長情報が示す波長 λ_1 とレーザー光L1の波長 λ_1 の初期値との差分が閾値未満である場合には、調整処理(S23)は省略されてもよい。
- [0190] 次に、測距装置2は、測定用干渉系40を用いて第2の信号S2を取得する(S24)。次に、信号処理系50は、メモリ52に記憶された波長情報と第2の信号S2とに基づいて距離を算出する(S25)。波長情報が示す波長 λ_1 を利用することにより、測長精度を高めることができる。なお、ステップS24及びS25は、図9に示すステップS12及びS13と同じ処理である。
- [0191] 測距処理を終了しない場合(S26でNo)、信号処理系50は、波長 λ_1 の調整を行うか否かを判定する(S27)。波長 λ_1 の調整は、例えば、予め定められたタイミングで行われる。波長 λ_1 の調整を行う場合(S27でYes)、測距装置2では、第1の信号の取得(S21)、波長情報の生成(S22)及び波長 λ_1 の調整(S23)が行われる。
- [0192] 波長 λ_1 の調整を行わない場合(S27でNo)、測距装置2では、第2の信号の取得(S24)及び距離の算出(S25)が行われる。距離の算出では、メモリ52に記憶された波長情報が利用される。
- [0193] このように、本実施の形態に係る測距装置2によれば、測距に用いるレーザー光L1の波長 λ_1 の揺らぎを抑制することができるので、測長精度を高めることができる。なお、調整部15は、さらに、レーザー光L2の波長 λ_2 を調整してもよく、測長精度をさらに高めることができる。
- [0194] なお、波長 λ_1 の調整を行うか否かは、実施の形態1における波長情報の更新を行うか否かと同様に、波長 λ_1 の揺らぎであるドリフト量に基づいて決定されてもよい。また、波長 λ_1 の調整は、短期間の計測であれば、測定開始前

の一回のみでもよい。すなわち、ステップS 27の処理は実行されなくてもよい。

[0195] (実施の形態3)

続いて、実施の形態3について説明する。

[0196] 実施の形態3に係る測距装置では、実施の形態1と比較して、参照用干渉系と測定用干渉系とで光干渉系を共有する点が主として相違する。以下では、実施の形態1との相違点を中心に説明を行い、共通点の説明を省略又は簡略化する。

[0197] 図13は、本実施の形態に係る測距装置3の構成を示すブロック図である。図13に示すように、測距装置3は、図1に示す測距装置1と比較して、参照用干渉系30と測定用干渉系40とが、1つの光干渉系60を共用している。この場合、測定用光源11から出射されるレーザー光L1を分岐させる必要がない。このため、測距装置3は、光分岐器20を備えなくてよい。

[0198] このように、本実施の形態によれば、測距装置3が備える構成要素を減らすことができるので、測距装置3の小型化及び軽量化を実現することができる。なお、測距装置3の動作は、測距装置1と同じである。また、測距装置3は、実施の形態2に係る測距装置2と同様に、光源部10が調整部15を備えてもよい。

[0199] (変形例)

続いて、実施の形態の変形例について説明する。以下に示す変形例1及び2はいずれも、光源部の構成が各実施の形態とは主として相違する。光源部以外の構成は、各実施の形態と同じであるので、説明を省略又は簡略化する。

[0200] [変形例1]

変形例1では、測距に利用する単一波長レーザー光の波長数が3つである点が、各実施の形態とは主として相違する。以下では、各実施の形態との相違点を中心に説明を行い、共通点の説明を省略又は簡略化する。

[0201] 図14は、変形例1に係る測距装置の光源部110の構成を示すブロック

図である。図14に示すように、光源部110は、測定用光源111と、参照用光源12と、を備える。測定用光源111は、3つのレーザー光源13a、13b及び13cと、波長合成系14と、を備える。レーザー光源13a及び13bは、実施の形態と同じであるので説明を省略する。

[0202] レーザー光源13cは、例えば半導体レーザー素子であり、電流が供給された場合に所定の単一波長のレーザー光を出射する。レーザー光源13cは、第3のレーザー光源の一例であり、波長 λ_3 を有するレーザー光L3を出射する。波長 λ_3 は、第3の波長の一例であり、レーザー光L3は、複数の第2のレーザー光のうちの1つの一例である。波長 λ_3 は、波長 λ_1 及び波長 λ_2 のいずれとも異なる波長である。本実施の形態では、波長 λ_3 は、波長 λ_1 及び波長 λ_2 のいずれよりも長い。このとき、例えば、波長 λ_3 と波長 λ_1 との差分は、波長 λ_2 と波長 λ_1 との差分の10倍以上にしてもよい。2波長間の差分に大きな差を設けることにより、ビート波長の差を大きくすることができる。その結果、測長レンジ及び測長精度を段階的に設定することができるので、絶対距離を精度良く測定することができる。

[0203] 波長合成系14は、3つのレーザー光源13a、13b及び13cの各々から出射されたレーザー光L1、L2及びL3を合波する。波長合成系14は、例えば、DWDM素子、又はホログラフィック光学素子などである。

[0204] 本変形例に係る測距装置の光源部110以外の構成は、図1に示した測距装置1、図11に示した測距装置2又は図13に示した測距装置3の構成と同様である。このとき、測定用干渉系40の光検出系42は、波長 λ_3 の光を検出するための光検出器を備える。あるいは、光検出系42は、ヘテロダイン干渉によってビート光を検出してもよい。

[0205] 本変形例のように、互いに異なる波長を有する3つの単一波長レーザー光を利用できる場合、2つの単一波長レーザー光の組み合わせが3とおりある。このため、3つの組み合わせのうちの少なくとも1つの組み合わせに基づいて第2の測定を行うことができる。具体的には、波長 λ_1 のレーザー光L1と波長 λ_2 のレーザー光L2との干渉によるビート波長 Λ_{12} 、波長 λ_1 のレー

レーザー光L1と波長 λ_3 のレーザー光L3との干渉によるビート波長 Λ_{13} 、及び、波長 λ_3 のレーザー光L3と波長 λ_2 のレーザー光L2との干渉によるビート波長 Λ_{23} 、の少なくとも1つに応じた測長精度及び測長レンジでの第2の測定ができる。

[0206] なお、ビート波長 Λ_{12} は、式(2)で表される。また、ビート波長 Λ_{13} 及び Λ_{23} はそれぞれ、以下の式(4)及び(5)で表される。

[0207] [数4]

$$(4) \quad \Lambda_{13} = \frac{\lambda_1 \lambda_3}{|\lambda_1 - \lambda_3|}$$

$$(5) \quad \Lambda_{23} = \frac{\lambda_2 \lambda_3}{|\lambda_2 - \lambda_3|}$$

[0208] 本変形例では、 $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$ を満たしている。また、 $|\lambda_1 - \lambda_3|$ が $|\lambda_1 - \lambda_2|$ よりも十分大きくなるように設定される。簡単に言えば、 $\lambda_1 \div \lambda_2$ とする。この結果、ビート波長 Λ_{12} とビート波長 Λ_{13} とを大きく異ならせることができる。例えば、 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 をそれぞれ、1550nm、1551nm、1600nmとする。このとき、式(2)及び(4)から、ビート波長 Λ_{12} は、約2.4mmになる、ビート波長 Λ_{13} は、約50 μ mになる。なお、 $\lambda_1 \div \lambda_2$ であるから、ビート波長 Λ_{13} はビート波長 Λ_{23} にほぼ等しくなる。

[0209] 本変形例に係る処理回路53は、ビート波長 Λ_{12} 、 Λ_{13} 及び Λ_{23} のうちの2つを利用して第2の測定を行い、第1の測定の結果と組み合わせることで、測距装置から対象物90までの距離を算出する。具体的には、処理回路53は、第1の測定により得られる第1の距離と、第2の測定により得られる2つの第2の距離とを組み合わせることで、測距装置から対象物90までの絶対距離を算出する。

[0210] 処理回路53は、光源部110が出射する全ての単一波長レーザー光のうち、最も波長及び周波数の揺らぎが最も小さいレーザー光に基づくビート波長を利用する。ここでは、レーザー光L1の波長の揺らぎが最も小さいので、ビート波長 Λ_{13} とビート波長 Λ_{12} とを利用する。また、第1の測定におい

ても、処理回路53は、光源部110が出射する全ての単一波長レーザー光のうち、最も波長の揺らぎが小さいレーザー光の干渉結果を利用する。

[0211] ここで、プローブから測定対象物までの絶対距離を x とおくと、絶対距離 x は以下の式(6)で表される。

$$[0212] \quad (6) \quad x = (A \times \Lambda_{13} + B \times \lambda_1 + \theta_i \times \lambda_1) / 2$$

[0213] A 及び B はそれぞれ、プローブから対象物90の第1の部位までの絶対距離 x_i 内に含まれるビート波長 Λ_{12} 及び波長 λ_1 の波数である。また、 θ_i は、対象物90の第1の部位、第2の部位及び第3の部位の各々の位置に対応し、第1の測定で得られる波長 λ_1 に基づく干渉結果の位相を表す。なお、式(6)は、式(3)を3波長に拡張したものに相当する。なお、第1の部位、第2の部位、第3の部位はそれぞれ、対象物90の表面の互いに異なる部位である。

[0214] 第2の測定は、最もビート波長が長くなる組み合わせで行われる。この第2の測定で算出される距離は、第3の測長レンジ内の第3の測長精度で算出される第3の距離の一例である。なお、第3の測長精度は、第2の測長精度及び第1の測長精度より低い。第3の測長レンジは、第2の測長レンジ及び第1の測長レンジより長い。簡単に言えば、最も測長レンジが長くなる組み合わせで第2の測定が行われる。

[0215] ここでは、処理回路53は、波長 λ_1 と波長 λ_2 との組み合わせに基づき、ビート波長 Λ_{12} の位相を特定する。処理回路53は、特定したビート波長 Λ_{12} の位相に基づいて、次の第2の測定のビート波長 Λ_{13} の波数 A をカウントする。具体的には、ビート波長 Λ_{12} に基づいて算出した距離を、ビート波長 Λ_{13} で割り算した商の成分を用いて、ビート波長 Λ_{13} の波数 A を算出する。

[0216] さらに、処理回路53は、次の第2の測定として、波長 λ_1 と波長 λ_3 との組み合わせに基づき、ビート波長 Λ_{13} の位相を特定する。処理回路53は、特定したビート波長 Λ_{13} の位相に基づいて、第1の測定の波長 λ_1 の波数 B をカウントする。具体的には、ビート波長 Λ_{13} に基づいて算出した距離を、波長 λ_1 で割ることにより、波長 λ_1 の波数 B を算出する。

[0217] 最後に、処理回路53は、第1の測定として、波長 λ_1 の位相 θ_1 を特定する。処理回路53は、波数A及びBと、波長 λ_1 の位相 θ_1 とに基づいて、上述した式(6)によって絶対距離 x_i を算出することができる。

[0218] 以上のように、複数のビート波長を利用して複数の第2の測定を行うことによって、測長レンジをさらに拡大することができる。

[0219] なお、上記の方式以外の絶対距離の算出が行われてもよい。例えば、用いるレーザーの全波長の位相の組み合わせ合致により絶対距離の算出を行うExcess fraction法が用いられてもよい。

[0220] [変形例2]

変形例2では、参照用光源12が出射する参照レーザー光を測距に利用する点が各実施の形態とは主として相違する。以下では、各実施の形態との相違点を中心に説明を行い、共通点の説明を省略又は簡略化する。

[0221] 図15は、変形例2に係る測距装置201の構成を示すブロック図である。図15に示すように、測距装置201は、図1に示す測距装置1と比較して、光源部10の代わりに光源部210を備える。光源部210は、レーザー光源13aと、レーザー光源13rと、を備える。なお、光源部210は、波長合成系14を備えてもよい。

[0222] レーザー光源13rは、図2に示したように、参照レーザー光 L_r を出射する光源である。本変形例では、参照レーザー光 L_r を参照用干渉系30だけでなく、測定用干渉系40にも入力する。すなわち、参照レーザー光 L_r を測定用の第2のレーザー光としても用いる。具体的には、参照レーザー光 L_r は、光分岐器20によって、参照用干渉系30に入力される光 L_{2r} (L_r)と、測定用干渉系40に入力される光 L_{2t} とに分割する。このため、測定用干渉系40には、参照レーザー光 L_r のうち、対象物90によって反射された反射光 L_{2c} が入力される。

[0223] これにより、光源部210が備える光源の数を減らすことができるので、測距装置201の小型化及び軽量化を実現することができる。なお、測距装置201の動作は、測距装置1と同じである。また、測距装置201は、実

施の形態 2 に係る測距装置 2 と同様に、光源部 210 が調整部 15 を備えてもよい。

[0224] (他の実施の形態)

以上、1つ又は複数の態様に係る測距装置について、実施の形態に基づいて説明したが、本開示は、これらの実施の形態に限定されるものではない。本開示の主旨を逸脱しない限り、当業者が思いつく各種変形を本実施の形態に施したものの、及び、異なる実施の形態における構成要素を組み合わせて構築される形態も、本開示の範囲内に含まれる。

[0225] 例えば、上記の実施の形態及び変形例では、処理回路 53 が測距装置から対象物 90 までの絶対距離を算出する例を示したが、これに限らない。処理回路 53 は、第 1 の距離及び第 2 の距離を算出した後、これらを他の機器に出力してもよい。例えば、処理回路 53 は、第 1 の距離及び第 2 の距離を他のコンピュータに送信し、当該他のコンピュータによって絶対距離を算出させてもよい。あるいは、処理回路 53 は、第 1 の距離及び第 2 の距離をディスプレイに送信してディスプレイに表示させてもよく、あるいは、プリンタに出力して紙などの媒体に印刷させてもよい。これにより、第 1 の距離及び第 2 の距離をユーザー等に提示することができるので、ユーザーは手計算で絶対距離を算出することができる。このように、処理回路 53 は、絶対距離の算出を行わなくてもよい。

[0226] また、2つの単一波長レーザー光の少なくとも一方の波長を変更可能であってもよい。例えば、波長の揺らぎが大きい方のレーザー光の波長が掃引できてよい。これにより、2つの波長の組み合わせを変更できるので、対象物 90 に適した測長レンジ及び測長精度を実現することができる。また、3つ以上のレーザー光源を備える場合に比べて、装置の小型化を実現することができる。

[0227] また、1つの単一波長レーザー光を2つに分岐させた一方のレーザー光と、他方の光の周波数をシフトさせたレーザー光とを2つの単一波長レーザー光として利用してもよい。周波数をシフトさせる手段としては、例えば、音

響光学素子（AOM：Acousto-Optic Modulator）が利用可能である。

- [0228] また、測定用光源 11 が出射する第 1 のレーザー光は、複数の単一モードを含むレーザー光であってもよい。例えば、第 1 のレーザー光は、光周波数コムレーザー光であってもよい。光周波数コムレーザー光は、スペクトルが離散的で等間隔に並んだ周波数線からなるレーザー光である。
- [0229] また、波長の揺らぎは、標準偏差 σ でなくてもよい。例えば、波長の揺らぎは、 3σ であってもよい。あるいは、波長の揺らぎは、有限の時間内におけるレーザー光の周波数の分散 σ^2 であってもよい。また、波長の揺らぎは、有限の時間内におけるレーザー光の波長の最大値と最小値との差分であってもよい。
- [0230] また、光源部は、3つ以上のレーザー光源を備える場合において、そのうちの2つのレーザー光源は、同じ波長の単一波長レーザー光を出射してもよい。また、この同一波長の2つの単一波長レーザー光の周波数の揺らぎは同じであってもよい。第 1 の測定では、同一波長の2つの単一波長レーザー光のうち的一方を利用し、第 2 の測定では、同一波長の2つの単一波長レーザー光のうち他方を利用してよい。言い換えると、第 1 の測定及び第 2 の測定の各々で利用される第 1 の単一波長レーザー光とは、異なるレーザー光源から出射されるレーザー光であってもよい。
- [0231] また、第 2 の測定の測長精度 A_m は、第 1 の測定の測長レンジ R_s より大きくてもよい。第 2 の測定の測長精度 A_m と第 1 の測定の測長レンジ R_s との差分が僅かで、 $A_m > R_s$ の場合、 $A_m \leq R_s$ の場合と実質的に同等程度の精度で距離の測定が可能になる。
- [0232] また、例えば、波長情報は、レーザー光のピーク波長ではなく、レーザー光の分光スペクトルを示す情報であってもよい。
- [0233] また、本開示の全般的又は具体的な態様は、システム、装置、方法、集積回路又はコンピュータプログラムで実現されてもよい。あるいは、当該コンピュータプログラムが記憶された光学ディスク、HDD若しくは半導体メモ

りなどのコンピュータ読み取り可能な非一時的記録媒体で実現されてもよい。また、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラム及び記録媒体の任意な組み合わせで実現されてもよい。

[0234] また、上記の各実施の形態は、特許請求の範囲又はその均等の範囲において種々の変更、置き換え、付加、省略などを行うことができる。

産業上の利用可能性

[0235] 本開示は、測長精度及び長期安定性の低下を抑制することができる測距装置として利用でき、例えば、表面形状の検査装置などに利用することができる。

符号の説明

[0236] 1、2、3、201 測距装置
10、10A、110、210 光源部
11、111 測定用光源
12 参照用光源
13a、13b、13c、13r レーザー光源
14 波長合成系
15 調整部
20 光分岐器
30 参照用干渉系
31、41、60 光干渉系
32、42 光検出系
33、43 ビームスプリッタ
34、35、44、46 ミラー
36 移動ミラー
36a、36b 反射面
37、38、47、48 光検出器
40 測定用干渉系
45 ダイクロイックミラー

50 信号処理系

51 信号受信部

52 メモリ

53 処理回路

90、90a、90b、90c 対象物

請求の範囲

- [請求項1] 測距装置であって、
第1のレーザー光及び参照レーザー光を出射する光源部と、
前記第1のレーザー光を干渉させることにより生じた第1の干渉光と前記参照レーザー光を干渉させることにより生じた第2の干渉光とを検出し、第1の信号を出力する参照用干渉系と、
前記第1のレーザー光が対象物によって反射されることにより生じた第1の反射光が入力されて、第2の信号を出力する測定用干渉系と、
、
前記第1の信号に基づいて、前記第1のレーザー光の波長に関する波長情報を生成し、前記波長情報と前記第2の信号とに基づいて、前記測距装置から前記対象物までの距離を算出する信号処理系と、を備え、
前記参照用干渉系において、前記第1のレーザー光及び前記参照レーザー光が互いに干渉しないように、前記第1のレーザー光の光路及び前記参照レーザー光の光路が配置されている、
測距装置。
- [請求項2] 前記光源部は、さらに、前記第1のレーザー光とは波長が異なる第2のレーザー光を出射し、
前記測定用干渉系には、さらに、前記第2のレーザー光が前記対象物によって反射されることにより生じた第2の反射光が入力される、
請求項1に記載の測距装置。
- [請求項3] 前記参照レーザー光の波長は、前記第1のレーザー光の波長より短い、
請求項2に記載の測距装置。
- [請求項4] 前記測定用干渉系は、
前記第1のレーザー光と前記第1の反射光とを干渉させて、前記第1のレーザー光と前記第1の反射光との干渉により生じた第3の干

渉光を出射し、かつ、前記第2のレーザー光と前記第2の反射光とを干渉させて、前記第2のレーザー光と前記第2の反射光との干渉により生じた第4の干渉光を出射する第1の光干渉系と、

前記第3の干渉光及び前記第4の干渉光を検出して、前記第2の信号を出力する第1の光検出系と、を含む、

請求項2に記載の測距装置。

[請求項5]

前記光源部は、さらに、複数の第2のレーザー光を出射し、

前記複数の第2のレーザー光の波長は互いに異なり、

前記複数の第2のレーザー光の各々の波長は、前記第1のレーザー光の波長と異なり、

前記測定用干渉系には、さらに、前記複数の第2のレーザー光が前記対象物によって反射されることにより生じた複数の第2の反射光が入力される、

請求項1に記載の測距装置。

[請求項6]

さらに、前記光源部から出射された前記第1のレーザー光を第1部分及び第2部分に分割して、前記第1部分を前記参照用干渉系に入力させ、前記第2部分を前記測定用干渉系に入力させる光分岐器を備える、

請求項1に記載の測距装置。

[請求項7]

前記参照用干渉系は、

前記第1のレーザー光を干渉させて、前記第1のレーザー光の干渉により生じた前記第1の干渉光を出射し、前記参照レーザー光を干渉させて、前記参照レーザー光の干渉により生じた前記第2の干渉光を出射する第2の光干渉系と、

前記第1の干渉光及び前記第2の干渉光を検出して、前記第1の信号を出力する第2の光検出系と、を含む、

請求項1に記載の測距装置。

[請求項8]

前記参照用干渉系は、前記第2の光干渉系を通過する前記第1のレ

ーザー光の光路長と、前記第2の光干渉系を通過する前記参照レーザー光の光路長との差を変更する光路差変更機構をさらに含む、
請求項7に記載の測距装置。

[請求項9] 前記信号処理系は、前記第1の信号に基づいて、前記第1のレーザー光のピーク波長を算出することで、前記ピーク波長を示す前記波長情報を生成する、
請求項1から8のいずれか1項に記載の測距装置。

[請求項10] 前記信号処理系は、前記第1の信号に基づいて、前記第1のレーザー光のピーク波長及び前記第2のレーザー光のピーク波長を算出することで、前記第1のレーザー光の前記ピーク波長及び前記第2のレーザー光の前記ピーク波長を示す前記波長情報を生成する、
請求項2から4のいずれか1項に記載の測距装置。

[請求項11] 前記信号処理系は、所定の条件を満たした場合に、前記波長情報を更新する、
請求項1から8のいずれか1項に記載の測距装置。

[請求項12] 前記信号処理系は、生成した前記波長情報を記憶するためのメモリを含み、
前記信号処理系が前記波長情報を生成する頻度は、前記信号処理系が前記距離を算出する頻度より少なく、
前記信号処理系は、前記メモリに記憶された前記波長情報と前記第2の信号とに基づいて、前記距離を算出する、
請求項1から8のいずれか1項に記載の測距装置。

[請求項13] 前記信号処理系は、前記第1のレーザー光の前記波長の揺らぎが閾値を超えた場合に、前記波長情報を生成し、前記メモリに記憶された前記波長情報を更新する、
請求項12に記載の測距装置。

[請求項14] 前記光源部は、前記波長情報に基づいて前記第1のレーザー光の前記波長を調整する調整部を備える、

請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の測距装置。

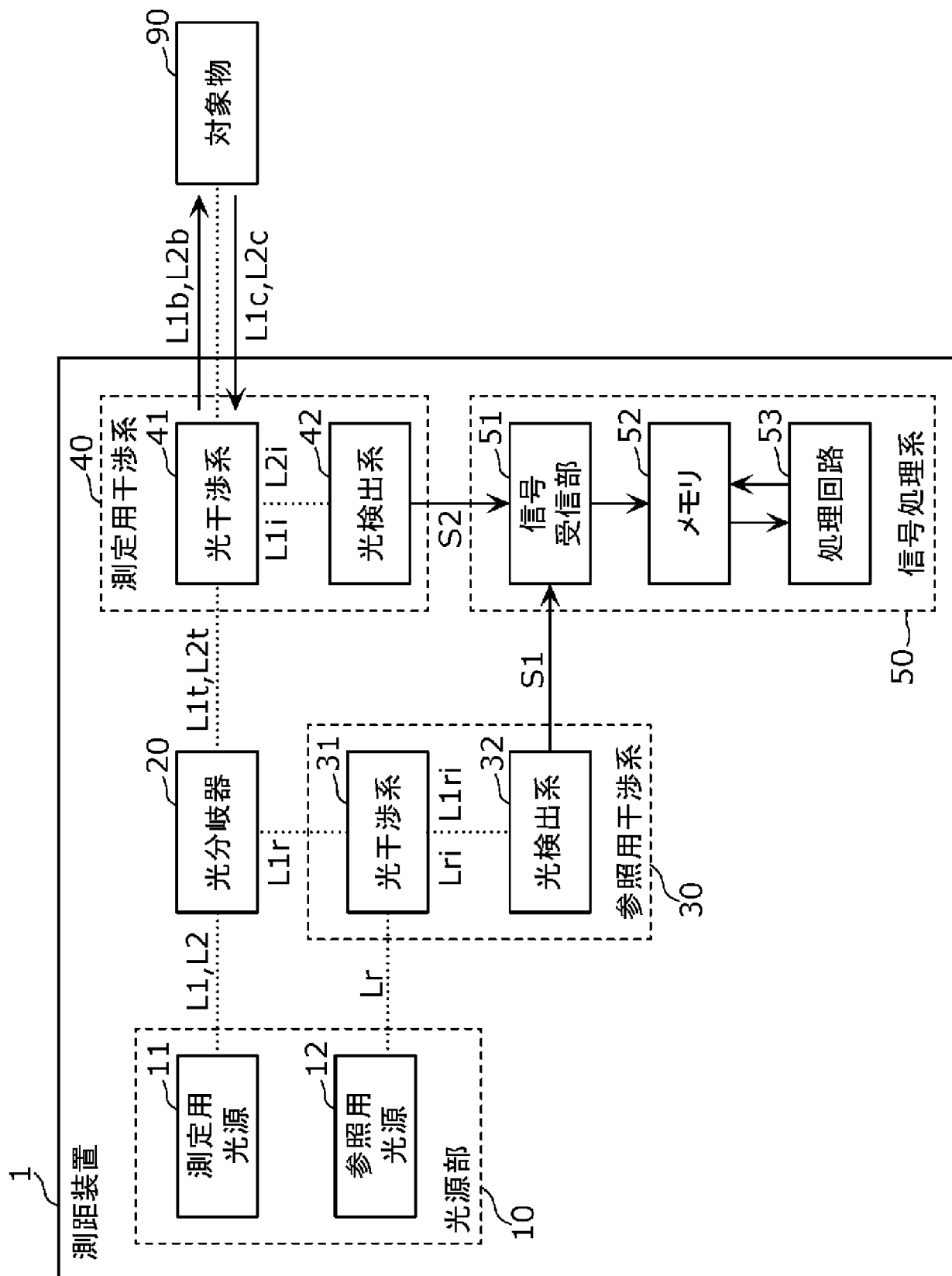
[請求項15] 前記第 1 のレーザー光は、複数の単一モードを含むレーザー光である、

請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の測距装置。

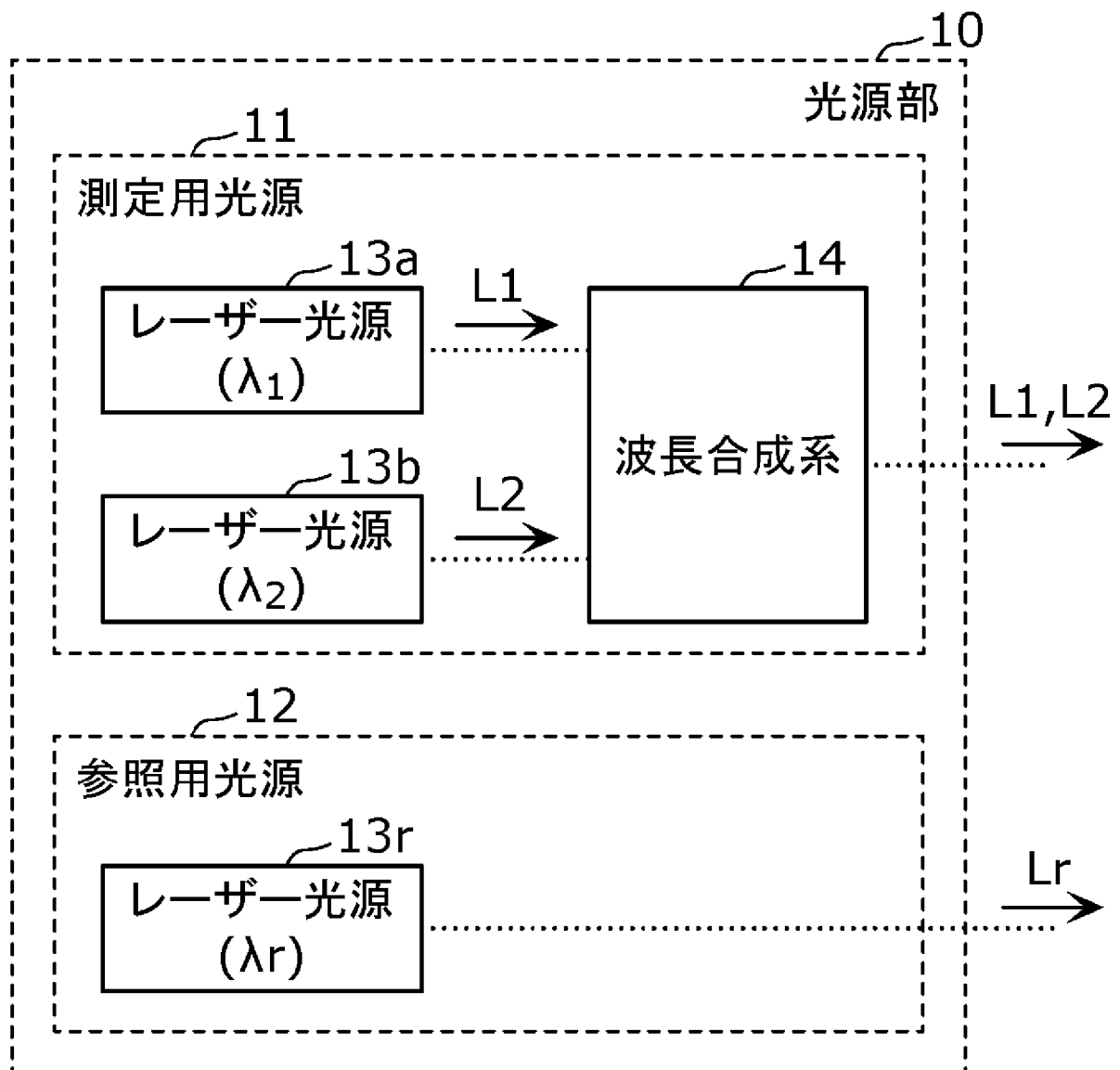
[請求項16] 前記参照用干渉系と前記測定用干渉系とは、光干渉系を共用する、
請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の測距装置。

[請求項17] 前記測定用干渉系には、さらに、前記参照レーザー光が前記対象物によって反射されることにより生じた第 3 の反射光が入力される、
請求項 1 に記載の測距装置。

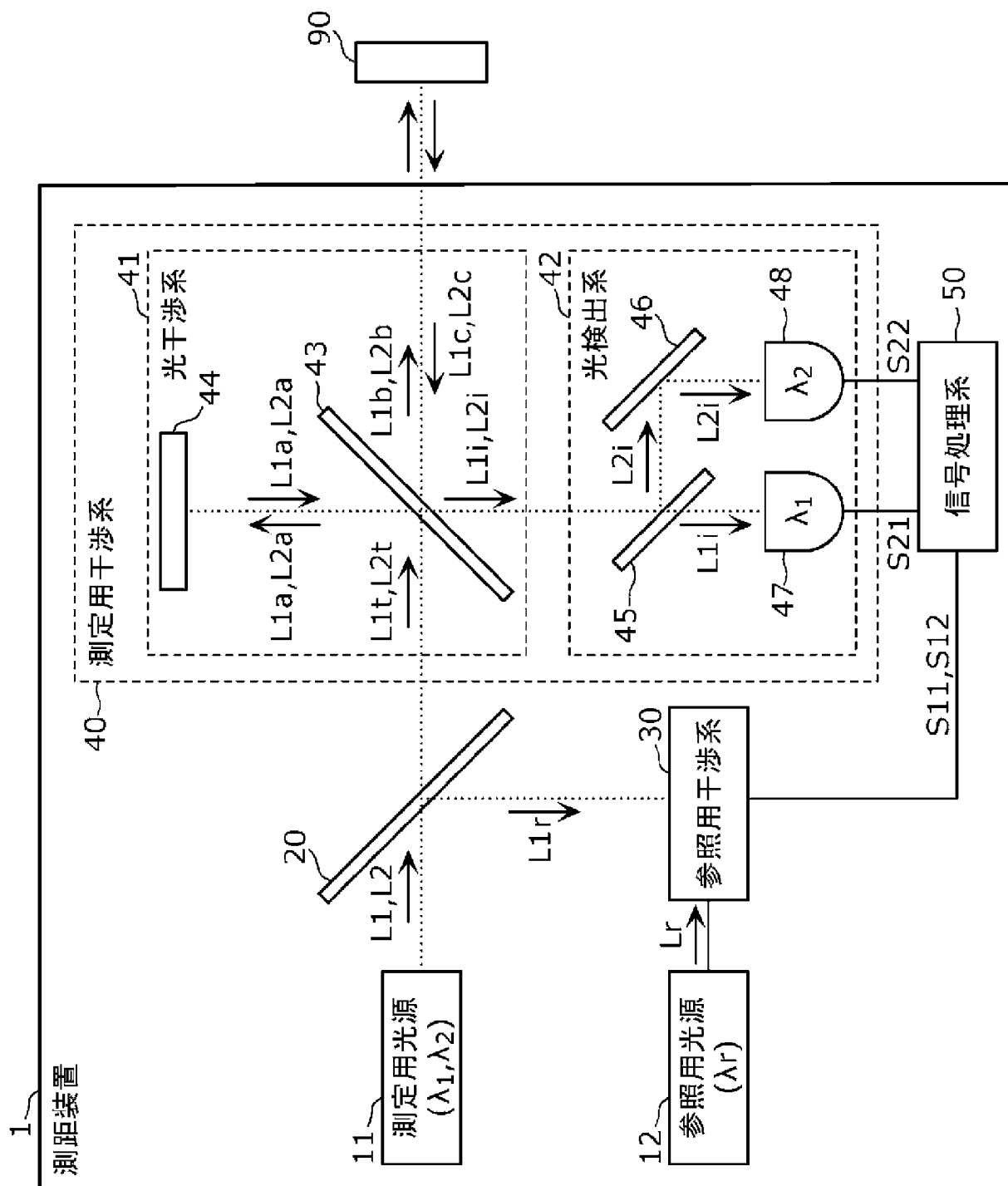
[図1]



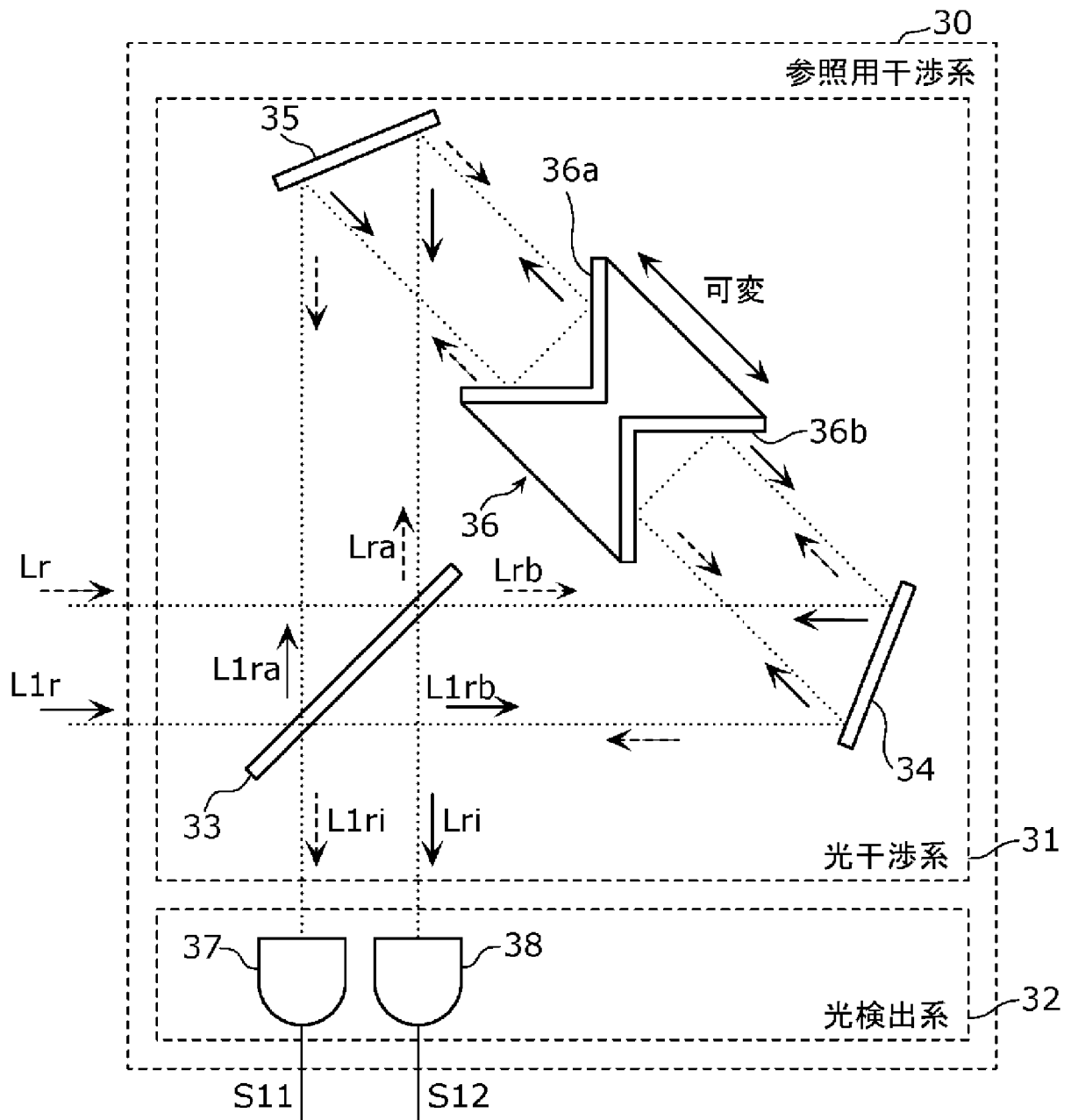
[図2]



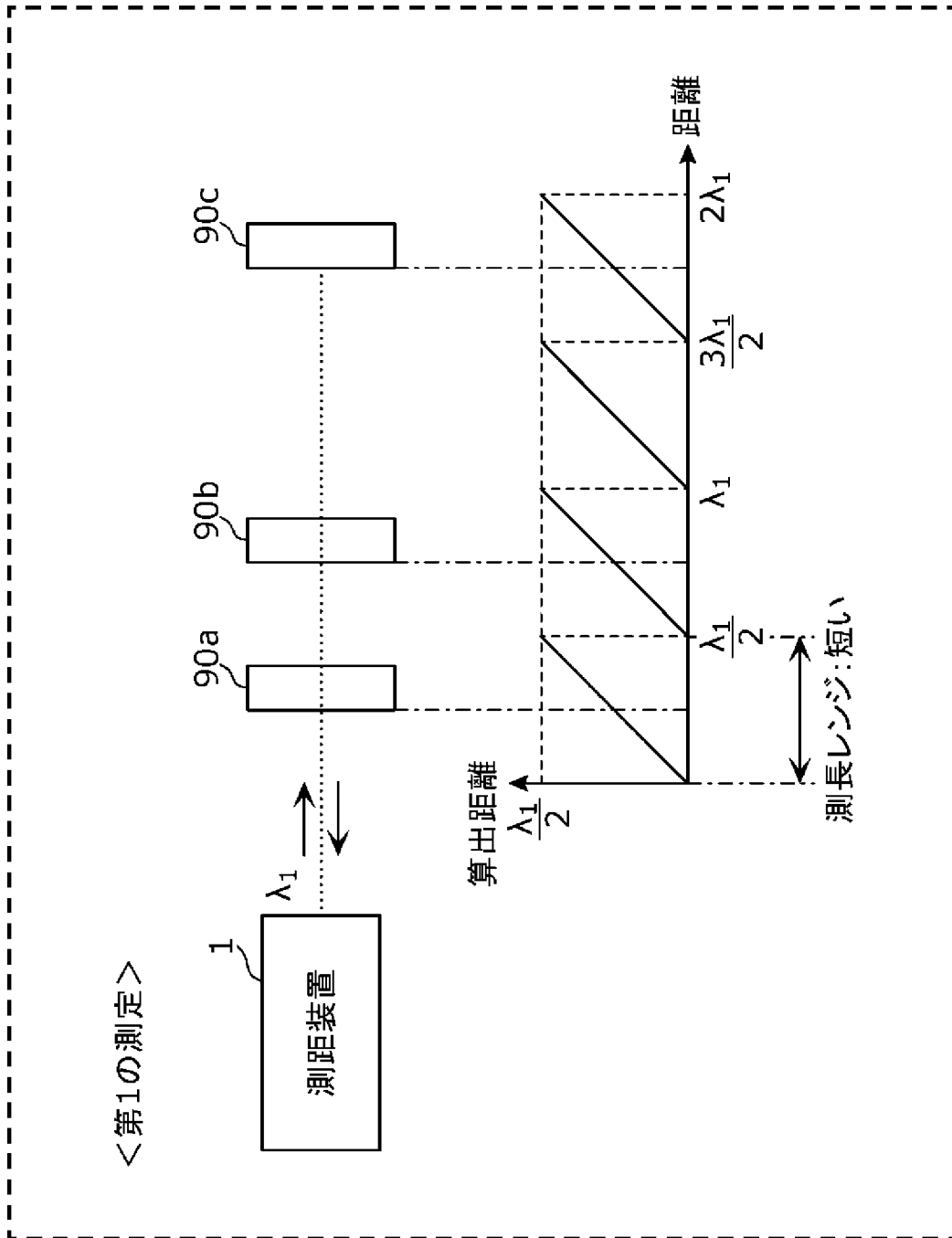
[図3]



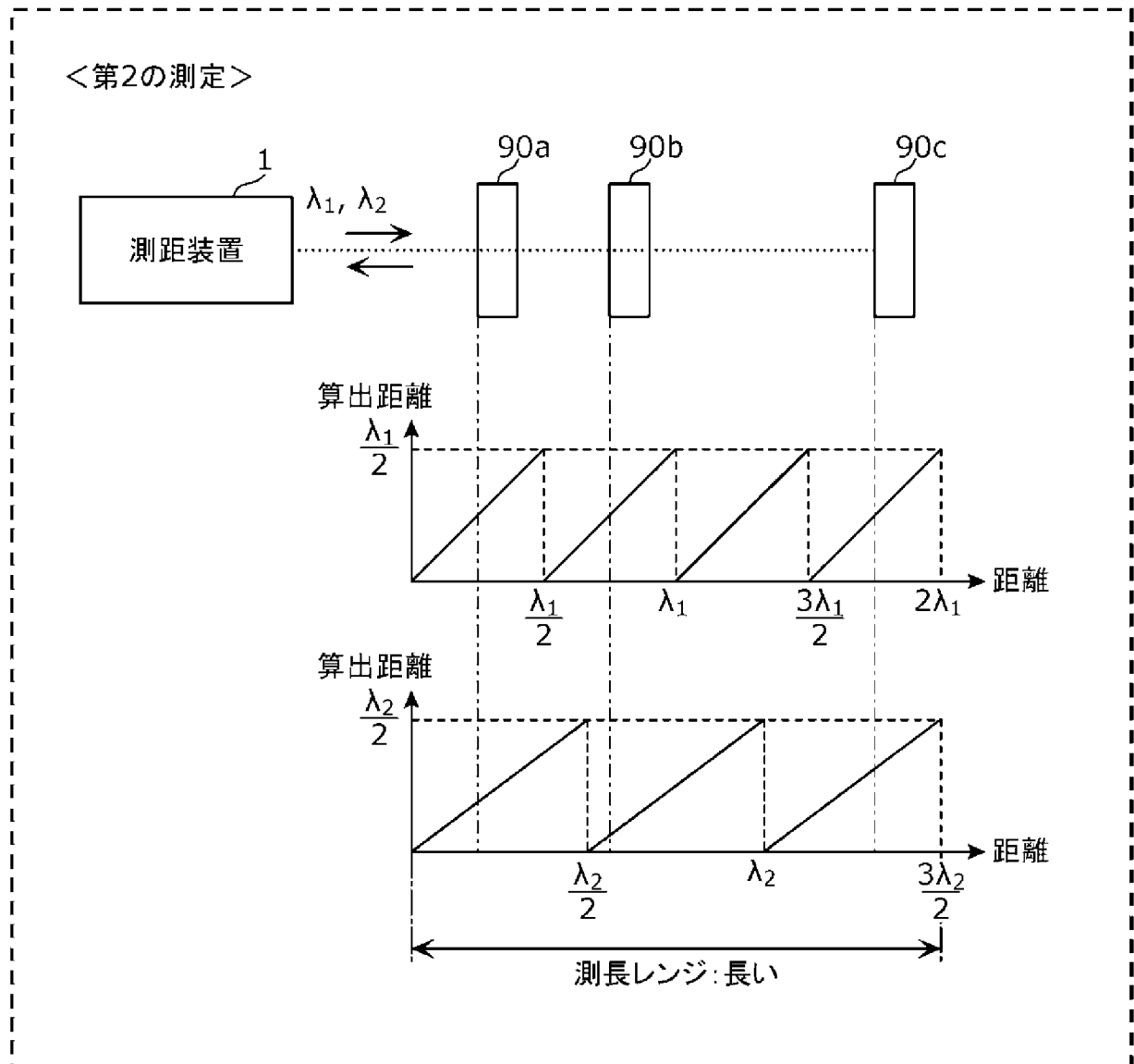
[図4]



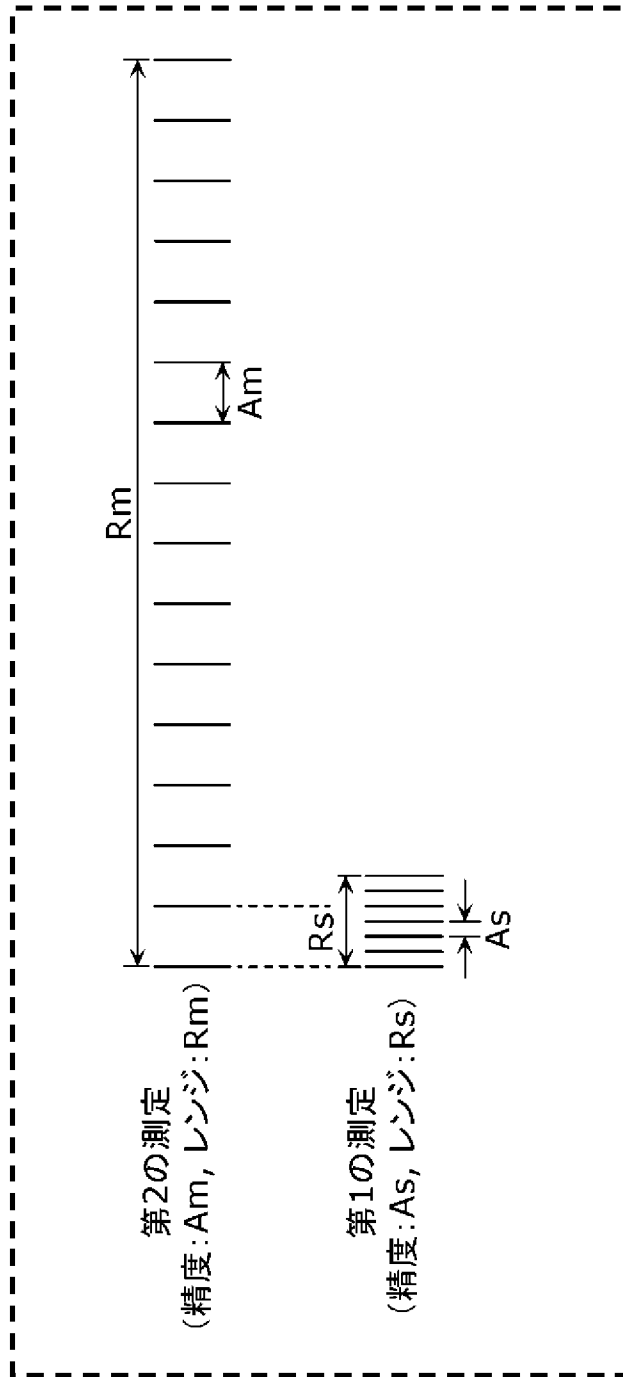
[図5]



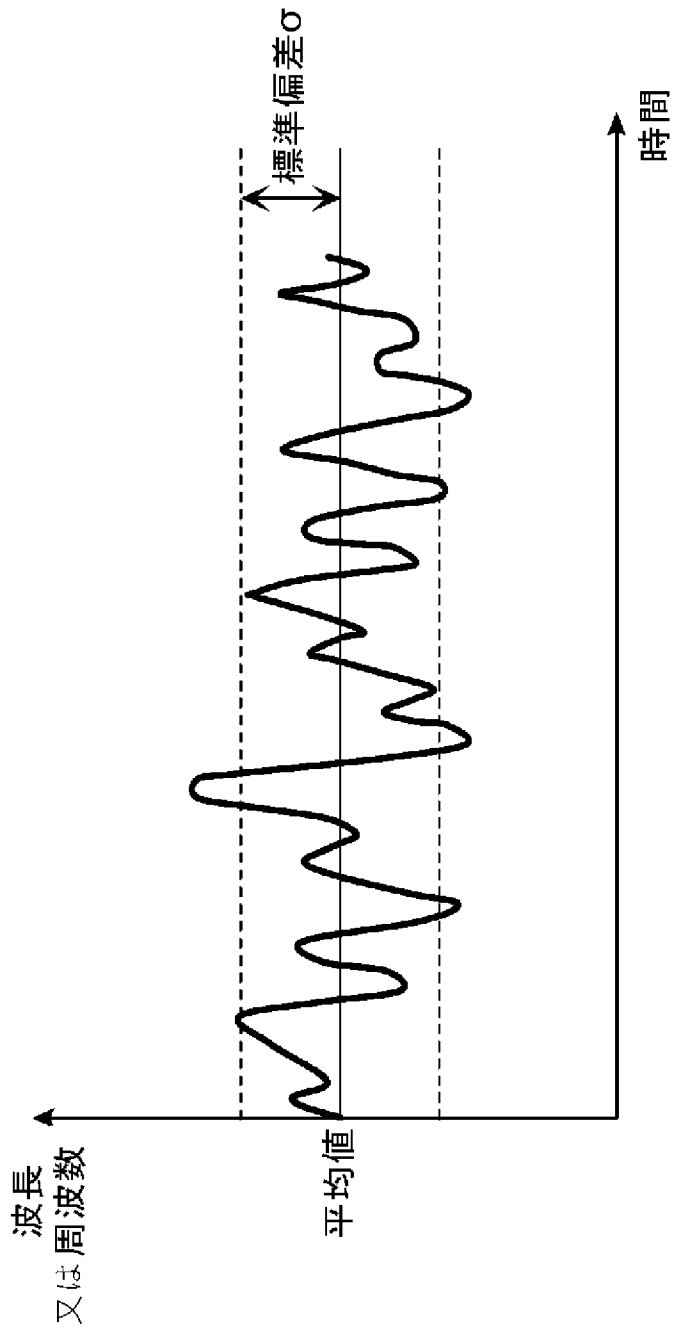
[図6]



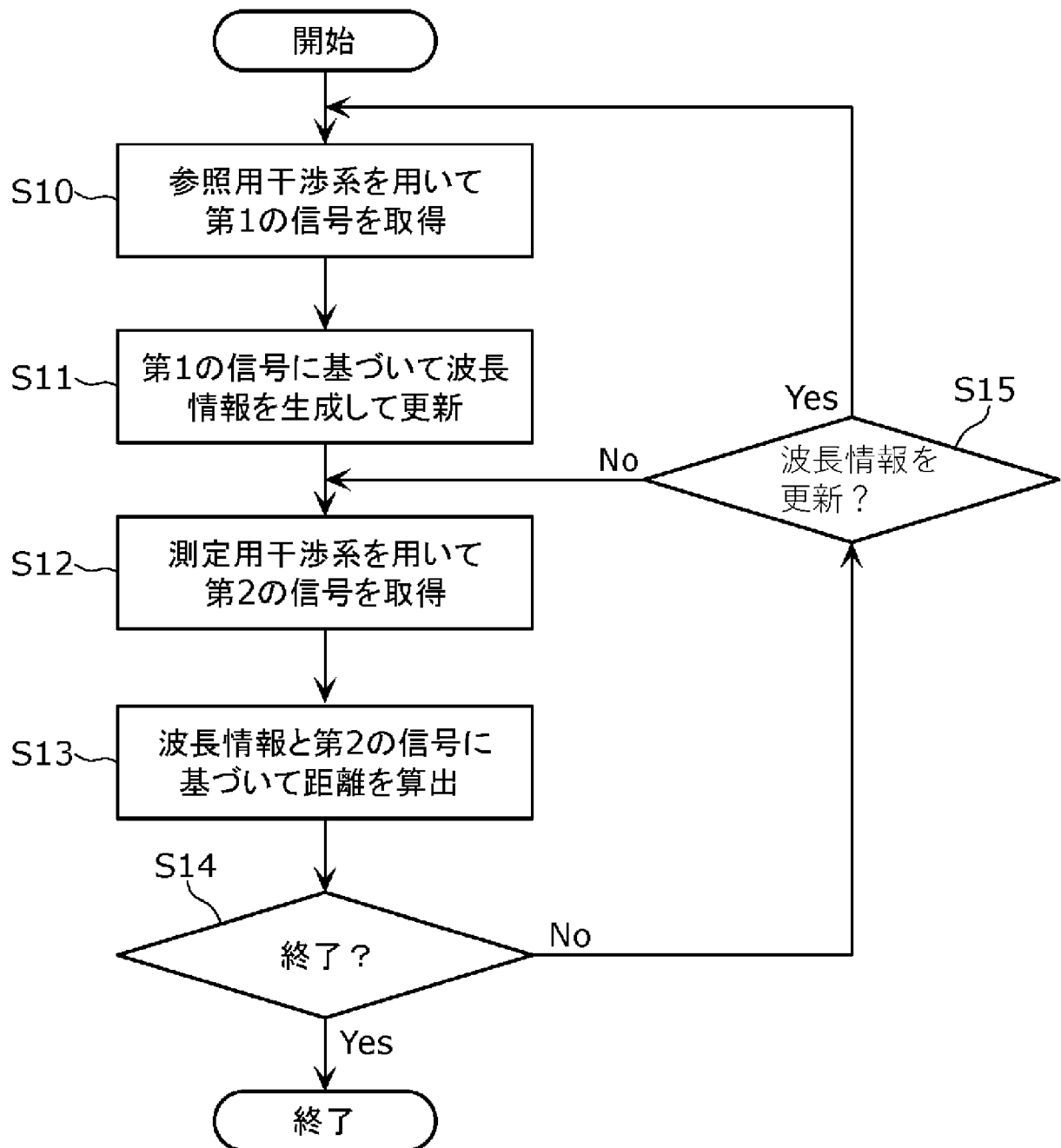
[図7]



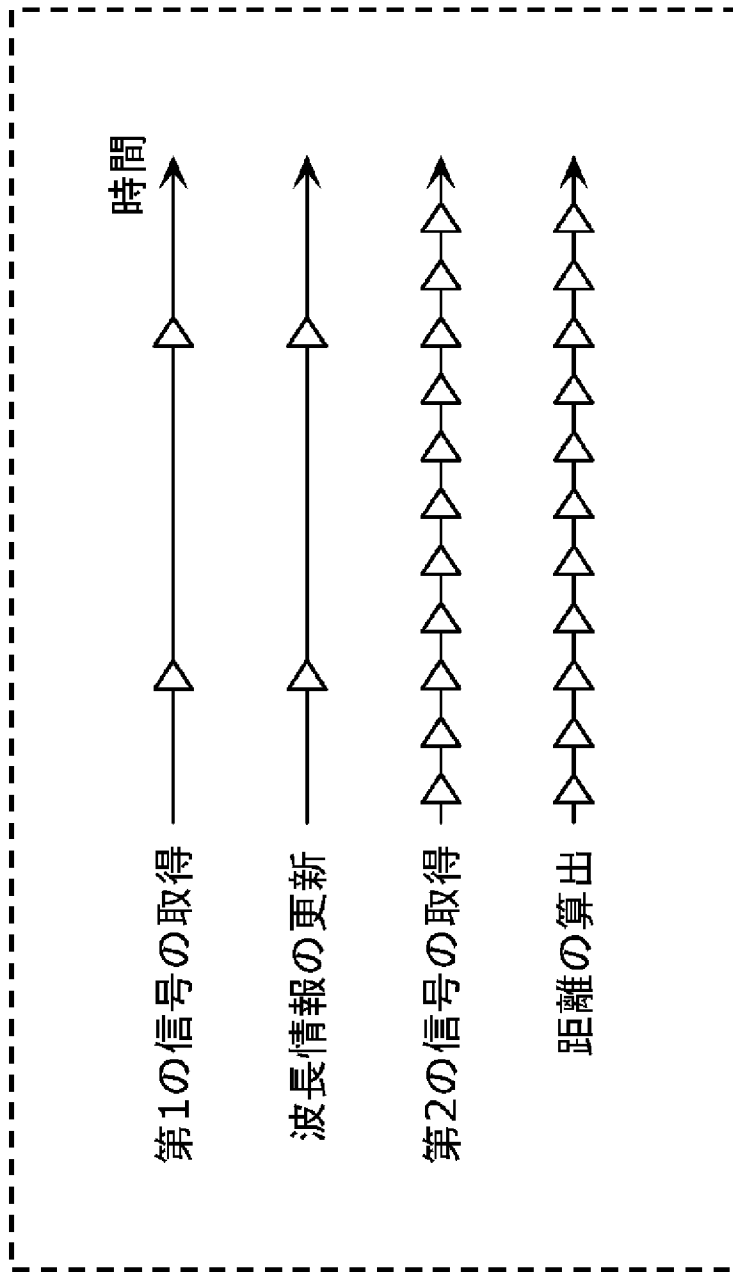
[図8]



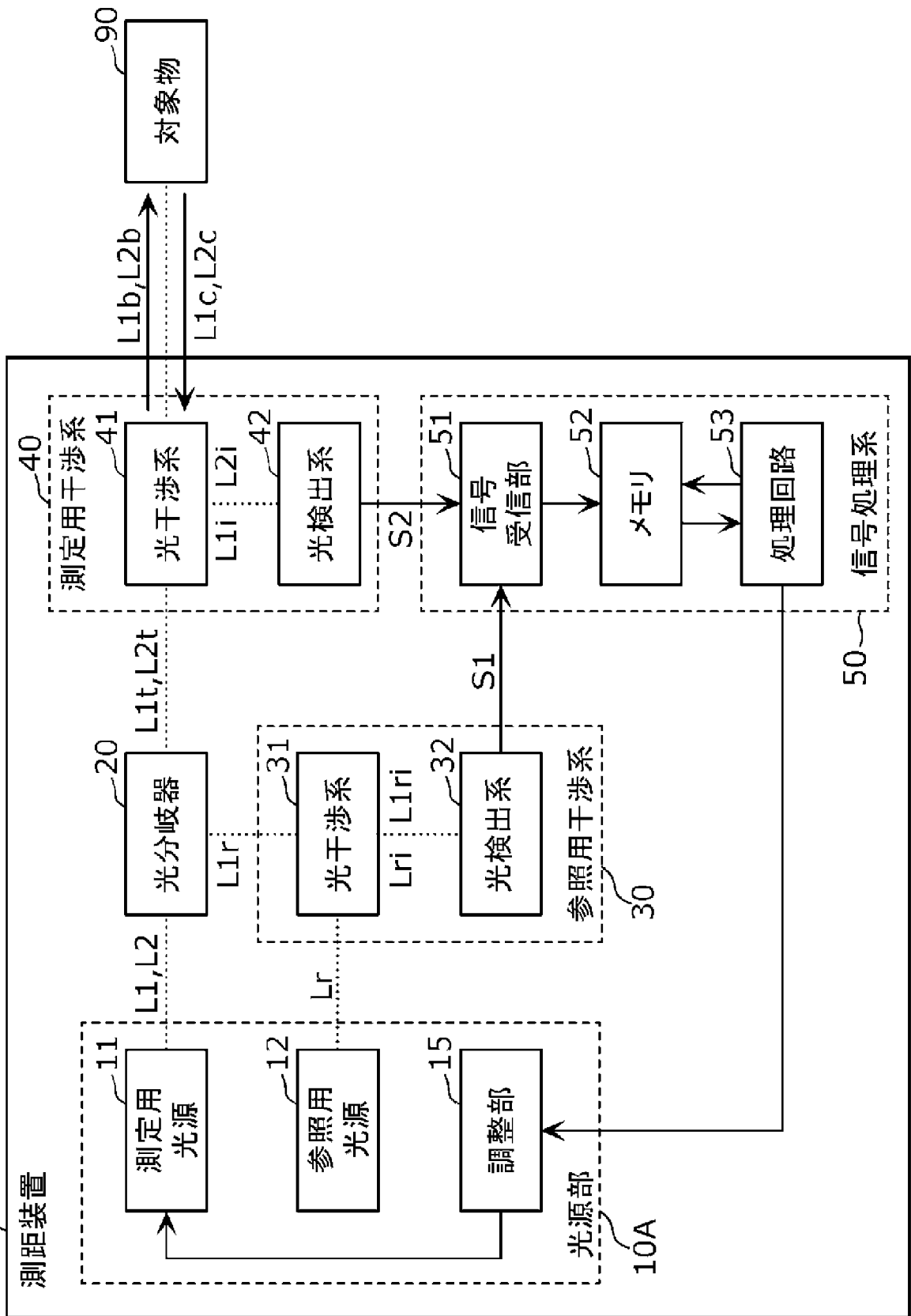
[図9]



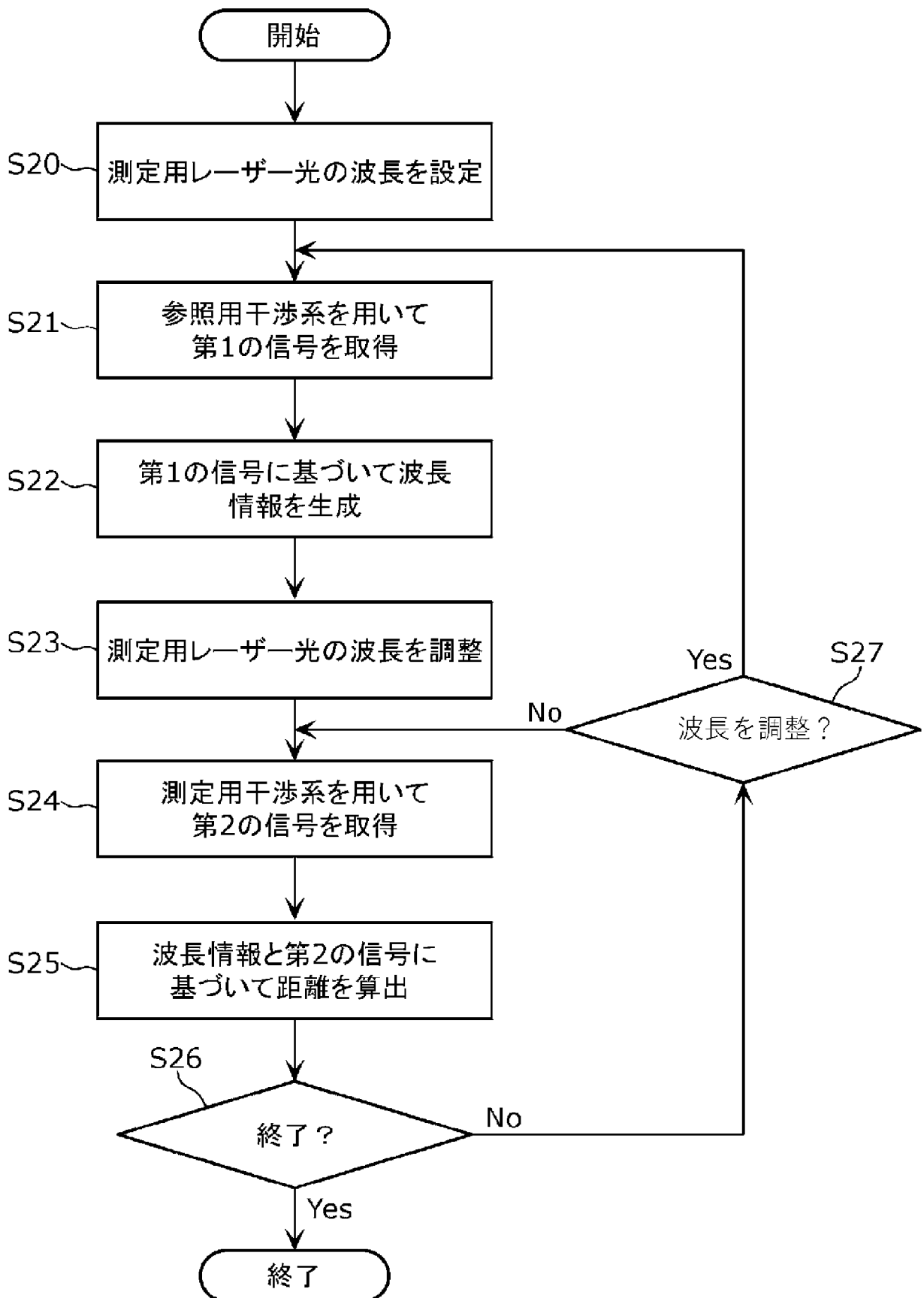
[図10]



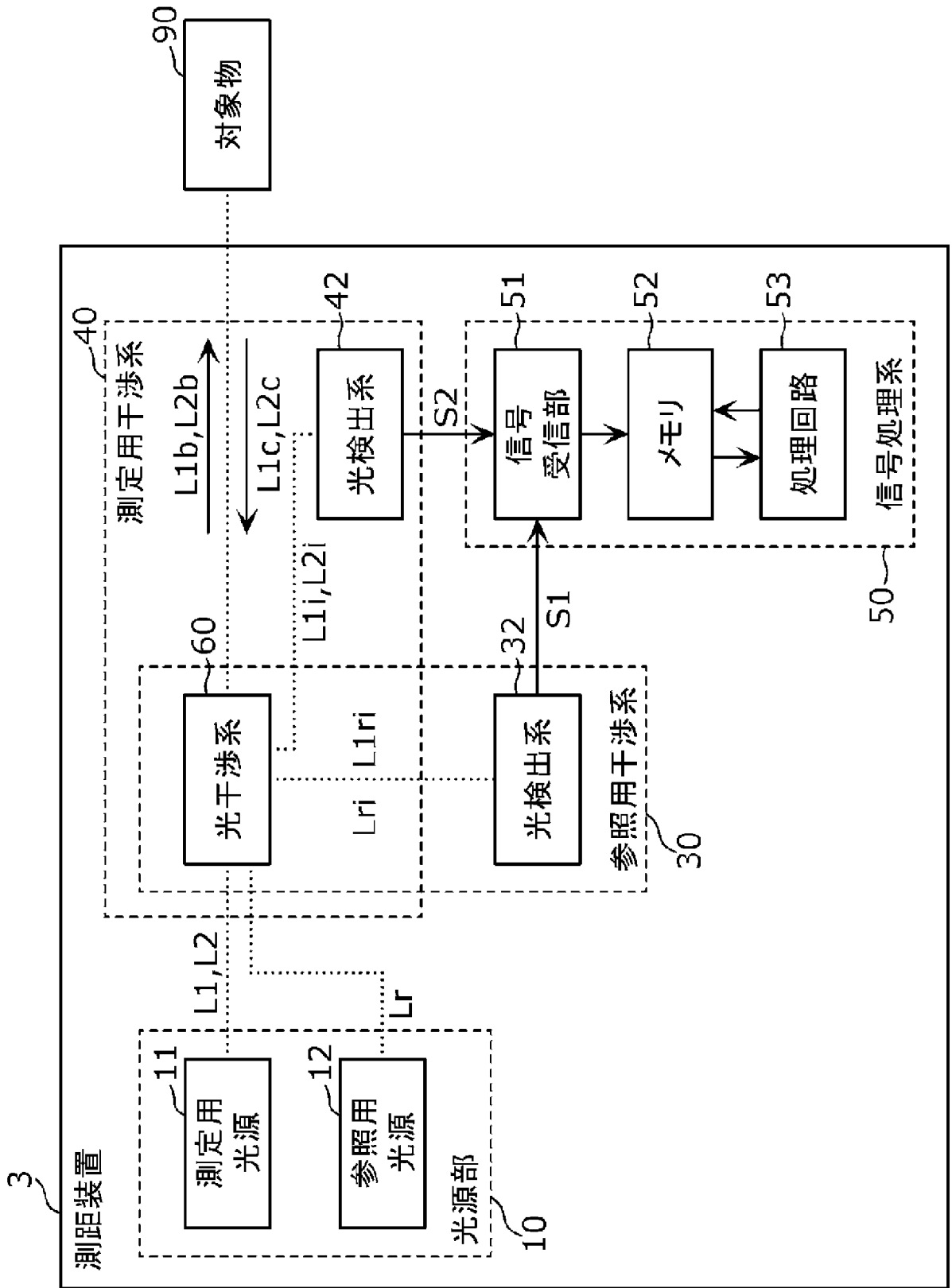
[図11]



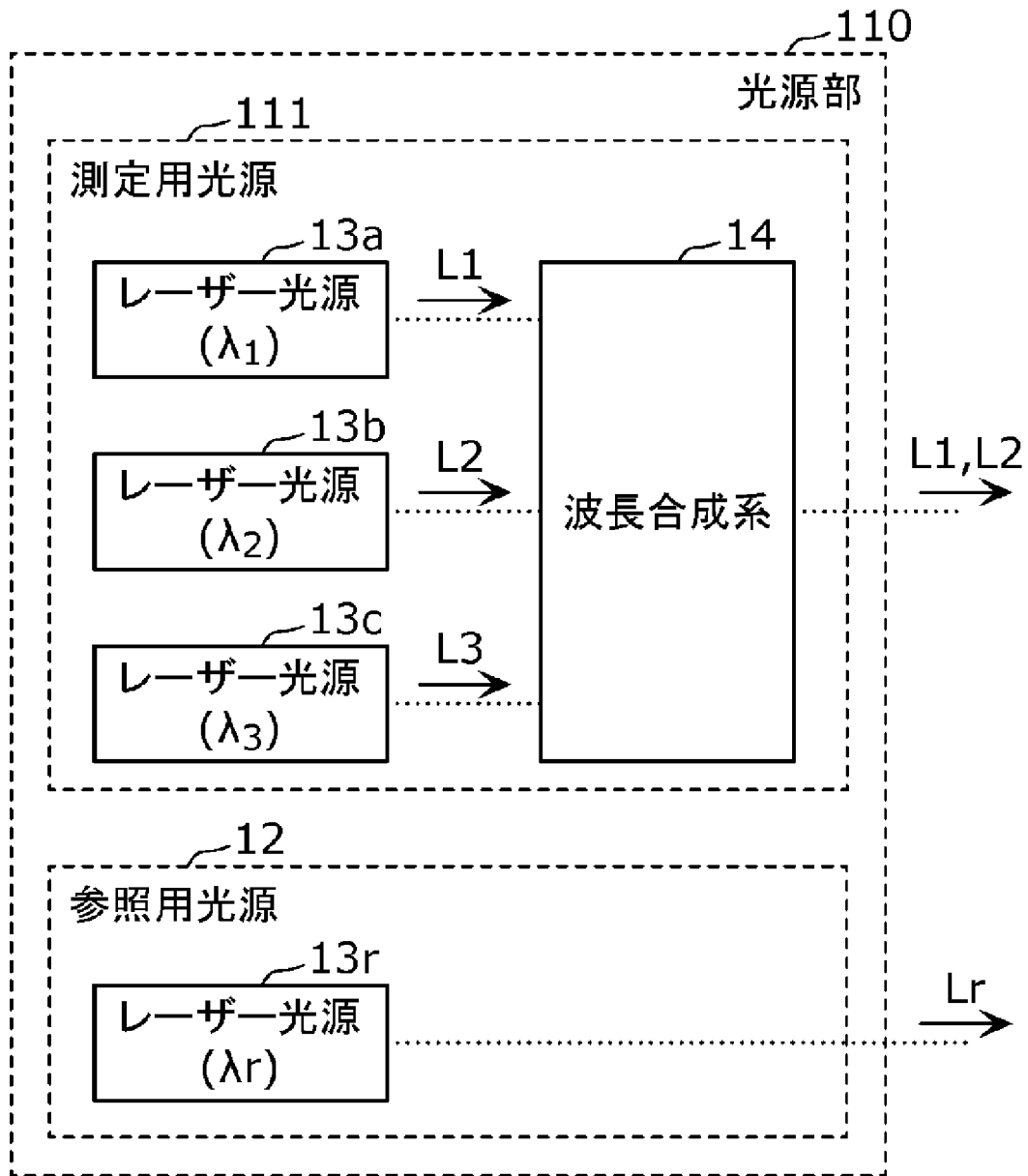
[図12]



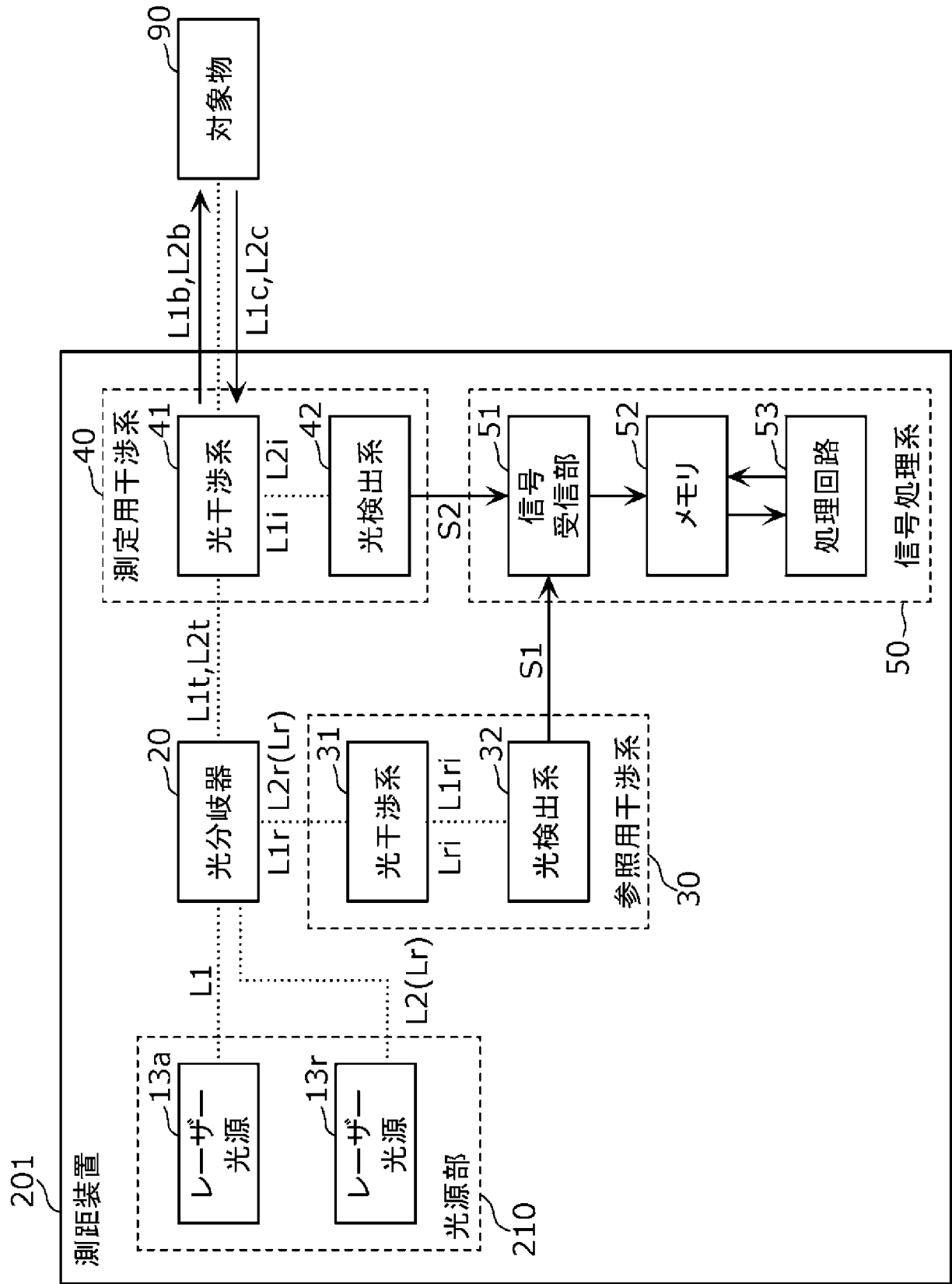
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/028030

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
G01B 9/02055(2022.01)i FI: G01B9/02055		
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) G01B9/00-G01B9/10		
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 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024		
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.
Y	JP 5-296849 A (OLYMPUS OPTICAL CO., LTD.) 12 November 1993 (1993-11-12) paragraphs [0002]-[0005], [0011]-[0027], fig. 1-5	1-17
Y	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 34779/1988 (Laid-open No. 137436/1989) (YOKOGAWA ELECTRIC CORP.) 20 September 1989 (1989-09-20), description, page 4, line 1 - page 9, line 2, fig. 1-2	1-17
Y	JP 6-117810 A (YOKOGAWA ELECTRIC CORP.) 28 April 1994 (1994-04-28) paragraphs [0002]-[0004], [0008]-[0013], fig. 1-2	2-5, 10, 17
Y	JP 10-215027 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 11 August 1998 (1998-08-11) paragraph [0029]	15
A	JP 10-90175 A (ZYGO CORP.) 10 April 1998 (1998-04-10) paragraphs [0036]-[0078], fig. 1-4	1-17
A	JP 2001-27513 A (MITSUTOYO CORP.) 30 January 2001 (2001-01-30) paragraphs [0012]-[0035], fig. 1-4	1-17
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 "D" document cited by the applicant in the international application "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 01 October 2024		Date of mailing of the international search report 15 October 2024
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

International application No.

PCT/JP2024/028030

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 115127662 A (SHANGHAI JIAOTONG UNIVERSITY) 30 September 2022 (2022-09-30) paragraphs [0021]-[0039], fig. 1-3	1-17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2024/028030

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 5-296849 A	12 November 1993	(Family: none)	
JP 1-137436 U1	20 September 1989	(Family: none)	
JP 6-117810 A	28 April 1994	(Family: none)	
JP 10-215027 A	11 August 1998	(Family: none)	
JP 10-90175 A	10 April 1998	US 5764362 A column 7, line 4 - column 12, line 49, fig. 1-4 WO 98/08047 A1 EP 920599 A1 DE 19727404 A1 KR 10-2000-0067977 A	
JP 2001-27513 A	30 January 2001	US 6507404 B1 column 4, line 5 - column 7, line 42, fig. 1-4	
CN 115127662 A	30 September 2022	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01B 9/02055(2022.01) i FI: G01B9/02055		
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）） G01B9/00-G01B9/10 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 1971-2024年 日本国実用新案登録公報 1996-2024年 日本国登録実用新案公報 1994-2024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 請求項の番号
Y	JP 5-296849 A (オリンパス光学工業株式会社) 12.11.1993 (1993-11-12) 段落0002-0005, 0011-0027, 図1-5	1-17
Y	日本国実用新案登録出願63-34779号(日本国実用新案登録出願公開1-137436号)の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム(横河電機株式会社) 20.09.1989 (1989-09-20) 明細書第4ページ第1行-第9ページ第2行, 第1-2図	1-17
Y	JP 6-117810 A (横河電機株式会社) 28.04.1994 (1994-04-28) 段落0002-0004, 0008-0013, 図1-2	2-5, 10, 17
Y	JP 10-215027 A (三菱重工業株式会社) 11.08.1998 (1998-08-11) 段落0029	15
A	JP 10-90175 A (ジゴー コーポレーション) 10.04.1998 (1998-04-10) 段落0036-0078, 図1-4	1-17
A	JP 2001-27513 A (株式会社ミットヨ) 30.01.2001 (2001-01-30) 段落0012-0035, 図1-4	1-17
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" 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、一般的技术水準を示すもの “D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献 “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 01.10.2024	国際調査報告の発送日 15.10.2024	
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) 大森 努 2S 8352 電話番号 03-3581-1101 内線 3216	

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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	CN 115127662 A (SHANGHAI JIAOTONG UNIVERSITY) 30.09.2022 (2022 - 09 - 30) 段落0021-0039, 図1-3	1-17

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/JP2024/028030

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 5-296849 A	12.11.1993	(ファミリーなし)	
JP 1-137436 U1	20.09.1989	(ファミリーなし)	
JP 6-117810 A	28.04.1994	(ファミリーなし)	
JP 10-215027 A	11.08.1998	(ファミリーなし)	
JP 10-90175 A	10.04.1998	US 5764362 A Column 7, line 4-Column 12, line 49, Figs. 1-4 WO 98/08047 A1 EP 920599 A1 DE 19727404 A1 KR 10-2000-0067977 A	
JP 2001-27513 A	30.01.2001	US 6507404 B1 Column 4, line5-Column7, line 42, Figs. 1-4	
CN 115127662 A	30.09.2022	(ファミリーなし)	