(19)日本国特許庁(JP)　(12)特許公報(B2)　(11)特許番号 特許第7233302号 (P7233302)

(45)発行日　令和5年3月6日(2023.3.6)　(24)登録日　令和5年2月24日(2023.2.24)

(51)国際特許分類　FＩ
Ｇ０１Ｂ　11/00　(2006.01)　Ｇ０１Ｂ　11/00　Ｂ

請求項の数　7　（全19頁）

(21)出願番号	特願2019-100619(P2019-100619)	(73)特許権者	000137694 株式会社ミツトヨ 神奈川県川崎市高津区坂戸一丁目２０番１号
(22)出願日	令和1年5月29日(2019.5.29)	(74)代理人	100166006 弁理士　泉　通博
(65)公開番号	特開2020-193910(P2020-193910A)	(74)代理人	100154070 弁理士　久恒　京範
(43)公開日	令和2年12月3日(2020.12.3)	(74)代理人	100153280 弁理士　寺川　賢祐
審査請求日	令和4年4月14日(2022.4.14)	(72)発明者	氏原　大希 茨城県つくば市上横場４３０番地の１ 株式会社ミツトヨ内
		(72)発明者	鈴木　義将 茨城県つくば市上横場４３０番地の１

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　測定装置および測定方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

計測対象物までの距離を測定する測定装置であって、

レーザ共振器を有し、複数のモードの周波数変調レーザ光を出力するレーザ装置と、

前記レーザ装置が出力する前記周波数変調レーザ光の一部を参照光とし、残りの少なくとも一部を測定光として分岐する分岐部と、

前記測定光を計測対象物に照射して反射された反射光と、前記参照光とを混合して複数のビート信号を発生させるビート信号発生部と、

前記複数のビート信号を前記レーザ共振器の共振器周波数の４倍以上の周波数でサンプリングしてデジタル信号に変換する変換部と、

前記デジタル信号に基づき、前記測定装置から前記計測対象物までの距離を算出する算出部と

を備える、測定装置。

【請求項２】

前記変換部は、前記デジタル信号を周波数情報に変換する周波数変換部を有し、

前記算出部は、

前記周波数変換部が変換した周波数情報の周波数帯域を、予め定められた帯域幅の複数の帯域の周波数情報に分割する分割部と、

分割された複数の周波数情報毎にビート信号の周波数位置を検出する検出部と、

検出した複数のビート信号の周波数位置に基づき、前記測定装置から前記計測対象物

までの距離を算出する距離算出部と
を有する、請求項１に記載の測定装置。
【請求項３】
前記距離算出部は、前記複数のビート信号の周波数位置に対応する前記測定装置から前記計測対象物までの距離をそれぞれ算出し、算出した複数の距離を平均化する、請求項２に記載の測定装置。
【請求項４】
前記距離算出部は、前記複数のビート信号の対応する周波数位置を換算し、換算した周波数位置を平均化し、平均化した周波数位置に対応する前記測定装置から前記計測対象物までの距離を算出する、請求項２に記載の測定装置。
【請求項５】
前記変換部は、前記デジタル信号を周波数情報に変換する周波数変換部を有し、
前記算出部は、
前記周波数変換部が変換した周波数情報の周波数帯域を、予め定められた帯域幅の複数の帯域の周波数情報に分割する分割部と、
分割された複数の周波数情報を対応する１つの周波数帯域の周波数情報に変換してから、周波数毎に信号レベルを積算する積算部と、
積算された周波数情報におけるビート信号の周波数位置を検出する検出部と、
検出した前記ビート信号の周波数位置に基づき、前記測定装置から前記計測対象物までの距離を算出する距離算出部と
を有する、請求項１に記載の測定装置。
【請求項６】
前記分割部は、前記予め定められた帯域幅を前記共振器周波数以下の帯域幅とする、請求項２から５のいずれか一項に記載の測定装置。
【請求項７】
計測対象物までの距離を測定する測定装置の測定方法であって、
レーザ共振器を有するレーザ装置から複数のモードの周波数変調レーザ光を出力するステップと、
前記周波数変調レーザ光の一部を参照光とし、残りの少なくとも一部を測定光として分岐するステップと、
前記測定光を計測対象物に照射して反射された反射光と、前記参照光とを混合して複数のビート信号を発生させるステップと、
前記複数のビート信号を前記レーザ共振器の共振器周波数の４倍以上の周波数でサンプリングしてデジタル信号に変換するステップと、
前記デジタル信号に基づき、前記測定装置から前記計測対象物までの距離を算出するステップと
を備える、測定方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、測定装置および測定方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
共振器内に周波数シフタが設けられ、時間の経過とともに発振周波数が線形に変化する複数の縦モードレーザを出力する周波数シフト帰還レーザ（ＦＳＦＬ：Frequency Shifted Feedback Laser）が知られている。また、このような周波数シフト帰還レーザを用いた光学式の距離計が知られている（例えば、特許文献１および非特許文献１を参照）。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】

【文献】特許第３５８３９０６号明細書
【非特許文献】
【０００４】
【文献】原武文，「ＦＳＬレーザによる距離センシングとその応用」，オプトニューズ，Ｖｏｌ．７，Ｎｏ．３，２０１２年，ｐｐ．２５－３１
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
周波数シフト帰還レーザを用いた光学式距離計は、非接触で大量の三次元情報を取得可能であり、例えば、設計および生産現場等で用いられてきた。このような光学式距離計は、受光デバイスおよび測定回路等で電気的なノイズが発生して電気信号に重畳することがあり、測定精度が低減してしまうことがあった。このような測定精度の低下を防止すべく、従来、複数回の測定結果を平均化していたが、測定時間が増加してスループットが低下してしまうという問題が生じていた。
【０００６】
そこで、本発明はこれらの点に鑑みてなされたものであり、簡便な構成で、光学式距離計の測定時間を短縮させつつ測定精度の低減を抑制できることを目的とする。
【課題を解決するための手段】
【０００７】
本発明の第１の態様においては、計測対象物までの距離を測定する測定装置であって、レーザ共振器を有し、複数のモードの周波数変調レーザ光を出力するレーザ装置と、前記レーザ装置が出力する前記周波数変調レーザ光の一部を参照光とし、残りの少なくとも一部を測定光として分岐する分岐部と、前記測定光を計測対象物に照射して反射された反射光と、前記参照光とを混合して複数のビート信号を発生させるビート信号発生部と、前記複数のビート信号を前記レーザ共振器の共振器周波数の４倍以上の周波数でサンプリングしてデジタル信号に変換する変換部と、前記デジタル信号に基づき、前記測定装置から前記計測対象物までの距離を算出する算出部とを備える、測定装置を提供する。
【０００８】
前記変換部は、前記デジタル信号を周波数情報に変換する周波数変換部を有し、前記算出部は、前記周波数変換部が変換した周波数情報の周波数帯域を、予め定められた帯域幅の複数の帯域の周波数情報に分割する分割部と、分割された複数の周波数情報毎にビート信号の周波数位置を検出する検出部と、検出した複数のビート信号の周波数位置に基づき、前記測定装置から前記計測対象物までの距離を算出する距離算出部とを有してもよい。
【０００９】
前記距離算出部は、前記複数のビート信号の周波数位置に対応する前記測定装置から前記計測対象物までの距離をそれぞれ算出し、算出した複数の距離を平均化してもよい。
【００１０】
前記距離算出部は、前記複数のビート信号の対応する周波数位置を換算し、換算した周波数位置を平均化し、平均化した周波数位置に対応する前記測定装置から前記計測対象物までの距離を算出してもよい。
【００１１】
前記変換部は、前記デジタル信号を周波数情報に変換する周波数変換部を有し、前記算出部は、前記周波数変換部が変換した周波数情報の周波数帯域を、予め定められた帯域幅の複数の帯域の周波数情報に分割する分割部と、分割された複数の周波数情報を対応する１つの周波数帯域の周波数情報に変換してから、周波数毎に信号レベルを積算する積算部と、積算された周波数情報におけるビート信号の周波数位置を検出する検出部と、検出した前記ビート信号の周波数位置に基づき、前記測定装置から前記計測対象物までの距離を算出する距離算出部とを有してもよい。
【００１２】
前記分割部は、前記予め定められた帯域幅を前記共振器周波数以下の帯域幅としてもよ

い。

【００１３】

　本発明の第２の態様においては、計測対象物までの距離を測定する測定装置の測定方法であって、レーザ共振器を有するレーザ装置から複数のモードの周波数変調レーザ光を出力するステップと、前記周波数変調レーザ光の一部を参照光とし、残りの少なくとも一部を測定光として分岐するステップと、前記測定光を計測対象物に照射して反射された反射光と、前記参照光とを混合して複数のビート信号を発生させるステップと、前記複数のビート信号を前記レーザ共振器の共振器周波数の４倍以上の周波数でサンプリングしてデジタル信号に変換するステップと、前記デジタル信号に基づき、前記測定装置から前記計測対象物までの距離を算出するステップとを備える、測定方法を提供する。

【発明の効果】

【００１４】

　本発明によれば、簡便な構成で、光学式距離計の測定時間を短縮させつつ測定精度の低減を抑制できるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【００１５】

【図１】本実施形態に係る測定装置１００の構成例を計測対象物１０と共に示す。

【図２】本実施形態に係るレーザ装置１１０の構成例を示す。

【図３】本実施形態に係るレーザ装置１１０が出力するレーザ光の一例を示す。

【図４】本実施形態に係る測定装置１００が検出するビート信号の周波数と、光ヘッド部１４０および計測対象物１０の間の距離ｄとの関係の一例を示す。

【図５】本実施形態に係るビート信号発生部１５０および変換部１６０の構成例を示す。

【図６】本実施形態に係るビート信号発生部１５０および変換部１６０の直交検波の概略の一例を示す。

【図７】本実施形態に係る変換部１６０が出力する周波数情報の一例を示す。

【図８】本実施形態に係る測定装置１００に設けられている変換部１６０および算出部１７０の構成例を示す。

【図９】本実施形態に係る測定装置１００に設けられている変換部１６０および算出部１７０の変形例を示す。

【発明を実施するための形態】

【００１６】

［測定装置１００の構成例］

　図１は、本実施形態に係る測定装置１００の構成例を計測対象物１０と共に示す図である。測定装置１００は、当該測定装置１００および計測対象物１０の間の距離を光学的に測定する。また、測定装置１００は、計測対象物１０に照射するレーザ光の位置を走査して、計測対象物１０の三次元的な形状を計測してもよい。測定装置１００は、レーザ装置１１０と、分岐部１２０と、光サーキュレータ１３０と、光ヘッド部１４０と、ビート信号発生部１５０と、変換部１６０と、算出部１７０と、表示部１８０とを備える。

【００１７】

　レーザ装置１１０は、レーザ共振器を有し、複数のモードの周波数変調レーザ光を出力する。レーザ装置１１０は、共振器内に周波数シフタが設けられ、時間の経過とともに発振周波数が線形に変化する複数の縦モードレーザを出力する。レーザ装置１１０は、一例として、周波数シフト帰還レーザである。周波数シフト帰還レーザについては後述する。

【００１８】

　分岐部１２０は、レーザ装置が出力する周波数変調レーザ光の一部を参照光とし、残りの少なくとも一部を測定光として分岐する。分岐部１２０は、一例として、１入力２出力の光ファイバ型の光カプラである。図１の例において、分岐部１２０は、測定光を光サーキュレータ１３０に供給し、参照光をビート信号発生部１５０に供給する。

【００１９】

　光サーキュレータ１３０は、複数の入出力ポートを有する。光サーキュレータ１３０は

、例えば、一のポートに入力した光を次のポートから出力させ、当該次のポートから入力する光を更に次のポートから出力させる。図１は、光サーキュレータ１３０が３つの入出力ポートを有する例を示す。この場合、光サーキュレータ１３０は、分岐部１２０から供給される測定光を光ヘッド部１４０に出力する。また、光サーキュレータ１３０は、光ヘッド部１４０から入力する光をビート信号発生部１５０へと出力する。

【００２０】

光ヘッド部１４０は、光サーキュレータ１３０から入力する光を計測対象物１０に向けて照射する。光ヘッド部１４０は、一例として、コリメータレンズを有する。この場合、光ヘッド部１４０は、光ファイバを介して光サーキュレータ１３０から入力する光をコリメータレンズでビーム状に調節してから出力する。

【００２１】

また、光ヘッド部１４０は、計測対象物１０に照射した測定光の反射光を受光する。光ヘッド部１４０は、受光した反射光をコリメータレンズで光ファイバに集光して光サーキュレータ１３０に供給する。この場合、光ヘッド部１４０は、共通の１つのコリメータレンズを有し、当該コリメータレンズが、測定光を計測対象物１０に照射し、また、計測対象物１０からの反射光を受光してよい。なお、光ヘッド部１４０および計測対象物１０の間の距離をｄとする。

【００２２】

これに代えて、光ヘッド部１４０は、集光レンズを有してもよい。この場合、光ヘッド部１４０は、光ファイバを介して光サーキュレータ１３０から入力する光を計測対象物１０の表面に集光する。そして、光ヘッド部１４０は、計測対象物１０の表面で反射した反射光の少なくとも一部を受光する。光ヘッド部１４０は、受光した反射光を集光レンズで光ファイバに集光して光サーキュレータ１３０に供給する。この場合においても、光ヘッド部１４０は、共通の１つの集光レンズを有し、当該集光レンズが、測定光を計測対象物１０に照射し、また、計測対象物１０からの反射光を受光してよい。

【００２３】

ビート信号発生部１５０は、測定光を計測対象物１０に照射して反射された反射光を光サーキュレータ１３０から受けとる。また、ビート信号発生部１５０は、分岐部１２０から参照光を受けとる。ビート信号発生部１５０は、反射光および参照光を混合してビート信号を発生させる。ビート信号発生部１５０は、例えば、光電変換素子を有し、ビート信号を電気信号に変換して出力する。

【００２４】

ここで、反射光は、光ヘッド部１４０から計測対象物１０までの距離を往復しているので、参照光と比較して少なくとも距離２ｄに応じた伝搬距離の差が生じることになる。レーザ装置１１０が出力する光は、時間の経過とともに発振周波数が線形に変化するので、参照光および反射光の発振周波数は、当該伝搬距離の差に対応する伝搬遅延に応じた周波数差が生じる。ビート信号発生部１５０は、このような周波数差に対応するビート信号を発生させる。

【００２５】

変換部１６０は、ビート信号発生部１５０が発生させたビート信号をデジタル信号に変換する。また、変換部１６０は、変換したデジタル信号を周波数変換して、当該ビート信号の周波数を検出する。ここで、ビート信号の周波数をν_Bとする。

【００２６】

算出部１７０は、変換部１６０の変換結果に基づき、参照光と測定光との伝搬距離の差を検出する。算出部１７０は、ビート信号の周波数ν_Bに基づき、光ヘッド部１４０から計測対象物１０までの距離ｄを算出する。

【００２７】

表示部１８０は、算出部１７０の算出結果を表示する。表示部１８０は、ディスプレイ等を有し、算出結果を表示してよい。また、表示部１８０は、記憶部等に算出結果を記憶させてもよい。表示部１８０は、ネットワーク等を介して外部に算出結果を供給してもよ

い。

【００２８】

以上の測定装置１００は、計測対象物１０に照射した測定光の反射光と、参照光との間の周波数差を解析することにより、測定装置１００および計測対象物１０の間の距離ｄを測定可能とする。即ち、測定装置１００は、非接触および非破壊の光学式距離計を構成できる。測定装置１００のより詳細な構成について次に説明する。

【００２９】

［レーザ装置１１０の構成例］

図２は、本実施形態に係るレーザ装置１１０の構成例を示す。図２のレーザ装置１１０は、周波数シフト帰還レーザの一例を示す。レーザ装置１１０は、レーザ共振器を有し、当該レーザ共振器内でレーザ光を発振させる。レーザ装置１１０のレーザ共振器は、周波数シフタ１１２と、増幅媒体１１４と、ＷＤＭカプラ１１６と、ポンプ光源１１７、出力カプラ１１８とを含むレーザ共振器を有する。

【００３０】

周波数シフタ１１２は、入力する光の周波数を略一定の周波数だけシフトする。周波数シフタ１１２は、一例として、音響光学素子を有するＡＯＦＳ（Acousto-Optic Frequency Shifter）である。ここで、周波数シフタ１１２による周波数シフト量を＋ν_Sとする。即ち、周波数シフタ１１２は、共振器を周回する光の周波数を、１周回毎にν_Sだけ周波数が増加するようにシフトさせる。

【００３１】

増幅媒体１１４は、ポンプ光が供給され、入力光を増幅する。増幅媒体１１４は、一例として、不純物が添加された光ファイバである。不純物は、例えば、エルビウム、ネオジウム、イッテルビウム、テルビウム、ツリウム等の希土類元素である。また、増幅媒体１１４は、ＷＤＭカプラ１１６を介してポンプ光源１１７からポンプ光が供給される。出力カプラ１１８は、共振器内でレーザ発振した光の一部を外部に出力する。

【００３２】

即ち、図２に示すレーザ装置１１０は、共振器内に周波数シフタ１１２を有するファイバリングレーザを構成する。レーザ装置１１０は、共振器内にアイソレータを更に有することが望ましい。また、レーザ装置１１０は、予め定められた波長帯域の光を通過させる光バンドパスフィルタを共振器内に有してもよい。このようなレーザ装置１１０が出力するレーザ光の周波数特性について次に説明する。

【００３３】

図３は、本実施形態に係るレーザ装置１１０が出力するレーザ光の一例を示す。図３は、時刻t_0においてレーザ装置１１０が出力するレーザ光の光スペクトルを左側に示す。当該光スペクトルにおいては、横軸が光強度、縦軸が光の周波数を示す。また、光スペクトルの複数の縦モードを番号ｑで示す。複数の縦モードの周波数は、略一定の周波数間隔で並ぶ。ここで、光が共振器を１周する時間をτ_{RT}（＝１／ν_C）とすると、複数の縦モードは、次式のように１／τ_{RT}（＝ν_C）間隔で並ぶことになる。なお、ν_0は、時刻t_0における光スペクトルの初期周波数とする。また、ν_Cは、レーザ共振器の共振周波数ν_Cである。

【数１】

$$\nu_q(t_0) = \nu_0 + \frac{q}{\tau_{RT}}$$

【００３４】

図３は、レーザ装置１１０が出力する複数の縦モードの時間経過にともなう周波数の変化を右側に示す。図３の右側においては、横軸が時間、縦軸が周波数を示す。即ち、図３は、レーザ装置１１０が出力するレーザ光の周波数の時間的な変化を右側に示し、当該レ

ーザ光の時刻ｔ$_0$における瞬時周波数を左側に示したものである。
【００３５】
レーザ装置１１０は、共振器内の光が共振器を１周する毎に、周波数シフタ１１２が周回する光の周波数をν$_S$だけ増加させる。即ち、時間がτ$_{RT}$経過する毎に、各モードの周波数はν$_S$だけ増加するので、周波数の時間変化ｄν／ｄｔは、ν$_S$／τ$_{RT}$と略等しくなる。したがって、（数１）式で示した複数の縦モードは、時間ｔの経過に伴って、次式のように変化する。
【数２】

$$\nu_q(t) = \nu_0 + \frac{\nu_s}{\tau_{RT}} t + \frac{q}{\tau_{RT}}$$

【００３６】
［距離測定処理の詳細］
本実施形態に係る測定装置１００は、（数２）式で示すような周波数成分を出力するレーザ装置１１０を用いて、光ヘッド部１４０および計測対象物１０の間の距離ｄを測定する。ここで、参照光および反射光の間の光路差が、距離ｄを往復した距離２ｄだけであり、距離２ｄに対応する伝搬遅延をΔｔとする。即ち、時刻ｔにおいて、測定光が計測対象物１０から反射して戻ってきた場合、戻ってきた反射光は、時刻ｔよりも時間Δｔだけ過去の周波数と略一致するので、次式で示すことができる。
【数３】

$$\nu_q(t - \Delta t) = \nu_0 + \frac{\nu_s}{\tau_{RT}} (t - \Delta t) + \frac{q}{\tau_{RT}}$$

【００３７】
一方、時刻ｔにおける参照光は、（数２）式と同様に次式で示すことができる。ここで、参照光をν$_{q'}$(ｔ）とした。
【数４】

$$\nu_{q'}(t) = \nu_0 + \frac{\nu_s}{\tau_{RT}} t + \frac{q'}{\tau_{RT}}$$

【００３８】
ビート信号発生部１５０は、このような反射光および参照光を重畳させるので、（数３）式の複数の縦モードと（数４）式で示す複数の縦モードとの間の複数のビート信号が発生することになる。このようなビート信号の周波数をν$_B$（ｍ，ｄ）とすると、ν$_B$（ｍ，ｄ）は、（数３）式および（数４）式より次式で示すことができる。なお、ｍを縦モード番号の間隔（＝ｑ－ｑ’）とし、Δｔ＝２ｄ／ｃとした。
【数５】

$$\nu_B(m, d) = \nu_{q'}(t) - \nu_q(t - \Delta t) = \frac{\nu_s}{\tau_{RT}} \cdot \frac{2d}{c} - \frac{m}{\tau_{RT}}$$

【００３９】
（数５）式より、距離ｄは、次式のように示される。ここで、１／τ_{RT}＝ν_Cとした。
【数６】

$$d = \frac{c}{2\nu_s \nu_c}\{\nu_B(m,d) + m\nu_c\}$$

【００４０】
（数６）式より、縦モード番号の間隔ｍを判別すれば、ビート信号の周波数観測結果から距離ｄを算出できることがわかる。なお、間隔ｍは、レーザ装置１１０の周波数シフト量ν_Sを変化させた場合のビート信号の変化を検出することで、判別することができる。このような間隔ｍの判別方法は、特許文献１等に記載されているように既知であるから、ここでは詳細な説明を省略する。
【００４１】
観測されるビート信号は常に正の周波数であるから、計算上、負の周波数側に発生するビート信号は、正側に折り返され、イメージ信号として観測される。このようなイメージ信号の発生について、次に説明する。
【００４２】
図４は、本実施形態に係る測定装置１００が検出するビート信号の周波数と、光ヘッド部１４０および計測対象物１０の間の距離ｄとの関係の一例を示す。図４の横軸は距離ｄを示し、縦軸はビート信号の周波数ν_B（ｍ，ｄ）を示す。図４の実線で示す複数の直線は、（数５）式に示したように、距離ｄに対するビート信号の周波数ν_B（ｍ，ｄ）の関係を、複数のｍ毎に示したグラフである。
【００４３】
図４のように、ｍの値に応じた複数のビート信号が発生する。しかしながら、反射光および参照光のそれぞれに含まれる複数の縦モードは、略一定の周波数間隔ν_Cで並ぶので、ｍの値が等しい複数のビート信号は周波数軸上では略同一の周波数に重畳されることになる。例えば、周波数０からν_Cの間の周波数帯域を観測した場合、複数のビート信号は略同一の周波数に重畳されて、１本の線スペクトルとして観測される。
【００４４】
これに加えて、０よりも小さい負の領域のビート信号の周波数ν_B（ｍ，ｄ）は、周波数の絶対値がイメージ信号として更に観測される。即ち、図４の縦軸が０よりも小さい領域のグラフは、周波数０を境界として折り返される。図４は、折り返されたイメージ信号を、複数の点線で示す。折り返された複数のイメージ信号は、正負が反転するだけなので、観測される周波数軸上では折り返される前の周波数の絶対値と同一の周波数に重畳される。例えば、周波数０からν_Cの間の周波数帯域を観測した場合、このようなビート信号およびイメージ信号は、周波数がそれぞれν_C／２にならない限り、それぞれ異なる周波数に位置する。
【００４５】
このように、周波数０からν_Cの間の観測帯域においては、ビート信号ν_B（ｍ，ｄ）と、ビート信号ν_B（ｍ，ｄ）とはｍの値が異なるイメージ信号ν_B（ｍ’，ｄ）の２本の線スペクトルが発生する。ここで、一例として、ｍ’＝ｍ＋１である。この場合、ビート信号発生部１５０が直交検波を用いることで、このようなイメージ信号をキャンセルできる。そこで直交検波を用いたビート信号発生部１５０および変換部１６０について、次に説明する。
【００４６】
図５は、本実施形態に係るビート信号発生部１５０および変換部１６０の構成例を示す。ビート信号発生部１５０は、反射光および参照光を直交検波する。ビート信号発生部１５０は、光９０度ハイブリッド１５２と、第１光電変換部１５４と、第２光電変換部１５

６とを有する。

【００４７】

光９０度ハイブリッド１５２は、入力する反射光および参照光をそれぞれ２つに分岐する。光９０度ハイブリッド１５２は、分岐した一方の反射光と、分岐した一方の参照光とを光カプラ等で合波して第１ビート信号を発生させる。また、光９０度ハイブリッド１５２は、分岐した他方の反射光と、分岐した他方の参照光とを光カプラ等で合波して第２ビート信号を発生させる。ここで、光９０度ハイブリッド１５２は、分岐した２つの参照光の間に９０度の位相差を生じさせてから、ビート信号を発生させる。光９０度ハイブリッド１５２は、例えば、分岐した２つの参照光のうちいずれか一方に、π／２波長板を介してから反射光とそれぞれ合波させる。

【００４８】

第１光電変換部１５４および第２光電変換部１５６は、合波した反射光および参照光を受光して電気信号に変換する。第１光電変換部１５４および第２光電変換部１５６のそれぞれは、フォトダイオード等でよい。第１光電変換部１５４および第２光電変換部１５６のそれぞれは、一例として、バランス型フォトダイオードである。図５において、第１光電変換部１５４が第１ビート信号を発生させ、第２光電変換部１５６が第２ビート信号を発生させるものとする。以上のように、ビート信号発生部１５０は、位相を９０度異ならせた２つの参照光と反射光とをそれぞれ合波させて直交検波し、２つのビート信号を変換部１６０に出力する。

【００４９】

変換部１６０は、２つのビート信号を周波数解析する。ここでは、変換部１６０が、第１ビート信号をＩ信号とし、第２ビート信号をＱ信号として周波数解析する例を説明する。変換部１６０は、第１フィルタ部１６２、第２フィルタ部１６４、第１ＡＤ変換器２０２、第２ＡＤ変換器２０４、クロック信号供給部２１０、および周波数解析部２２０を有する。

【００５０】

第１フィルタ部１６２および第２フィルタ部１６４は、ユーザ等が周波数解析したい周波数帯域とは異なる周波数帯域の信号成分を低減させる。ここで、ユーザ等が周波数解析したい周波数帯域を０からν_Cとする。第１フィルタ部１６２および第２フィルタ部１６４は、例えば、周波数ν_C以下の信号成分を通過させるローパスフィルタである。この場合、第１フィルタ部１６２は、周波数ν_Cよりも高い周波数の信号成分を低減させた第１ビート信号を第１ＡＤ変換器２０２に供給する。また、第２フィルタ部１６４は、周波数ν_Cよりも高い周波数の信号成分を低減させた第２ビート信号を第２ＡＤ変換器２０４に供給する。

【００５１】

第１ＡＤ変換器２０２および第２ＡＤ変換器２０４は、入力するアナログ信号をデジタル信号に変換する。例えば、第１ＡＤ変換器２０２は第１ビート信号をデジタル信号に変換し、第２ＡＤ変換器２０４は第２ビート信号をデジタル信号に変換する。クロック信号供給部２１０は、第１ＡＤ変換器２０２および第２ＡＤ変換器２０４にクロック信号を供給する。これにより、第１ＡＤ変換器２０２および第２ＡＤ変換器２０４は、受け取ったクロック周波数と略同一のサンプリングレートでアナログ信号をデジタル信号に変換する。

【００５２】

ここで、観測帯域を０からν_Cとすると、ビート信号の周波数は、最大でもレーザ共振器の共振器周波数ν_Cである。したがって、クロック信号供給部２１０が、レーザ共振器の共振器周波数ν_Cの２倍以上の周波数のクロック信号を、第１ＡＤ変換器２０２および第２ＡＤ変換器２０４に供給することで、ビート信号を観測することができる。

【００５３】

周波数解析部２２０は、第１ビート信号および第２ビート信号を周波数データに変換する。周波数解析部２２０は、一例として、第１ビート信号および第２ビート信号をそれぞれデジタルフーリエ変換（ＤＦＴ）する。周波数解析部２２０は、周波数データに変換し

た第１ビート信号を実部、周波数データに変換した第２ビート信号を虚部として加算し、イメージ信号を相殺する。なお、変換部１６０は、ビート信号がデジタル信号に変換された後は、集積回路等で周波数解析部２２０を構成してよい。以上のビート信号発生部１５０における直交検波と変換部１６０における周波数解析について、次に述べる。

【００５４】

図６は、本実施形態に係るビート信号発生部１５０および変換部１６０の直交検波の概略の一例を示す。図６の横軸はビート信号の周波数、縦軸は信号強度を示す。図６は、Ｉ信号およびＱ信号のいずれか一方の周波数スペクトルを示す。Ｉ信号およびＱ信号のいずれの周波数スペクトルも、図６の上側に示すように、略同一のスペクトル形状となる。Ｉ信号およびＱ信号は、例えば、周波数０からｖ$_C$の間の周波数帯域に、ビート信号ｖ$_B$（ｍ，ｄ）およびイメージ信号ｖ$_B$（ｍ＋１，ｄ）が観測される。この場合、Ｉ信号およびＱ信号は、負側の周波数０から－ｖ$_C$の間の周波数帯域に、ビート信号－ｖ$_B$（ｍ，ｄ）およびイメージ信号の元のビート信号－ｖ$_B$（ｍ＋１，ｄ）が存在する。

【００５５】

ここで、Ｉ信号およびＱ信号は、ビート信号発生部１５０が直交検波した信号成分なので、スペクトル形状が同一であっても、異なる位相情報を含む。例えば、正側の周波数０からｖ$_C$の間の周波数帯域において、Ｉ信号のイメージ信号ｖ$_B$（ｍ＋１，ｄ）とＱ信号のイメージ信号ｖ$_B$（ｍ＋１，ｄ）とは、互いに位相が反転する。同様に、負側の周波数０から－ｖ$_C$の間の周波数帯域において、Ｉ信号のビート信号－ｖ$_B$（ｍ，ｄ）とＱ信号のビート信号－ｖ$_B$（ｍ，ｄ）とは、互いに位相が反転する。

【００５６】

したがって、図６の下側に示すように、周波数解析部２２０がＩ信号およびＱ信号を用いてＩ＋ｊＱを算出すると、周波数０からｖ$_C$の間の周波数帯域において、周波数ｖ$_B$（ｍ，ｄ）のビート信号が強め合い、周波数ｖ$_B$（ｍ＋１，ｄ）のイメージ信号が相殺される。同様に、周波数０から－ｖ$_C$の間の周波数帯域において、周波数－ｖ$_B$（ｍ＋１，ｄ）のビート信号が強め合い、周波数－ｖ$_B$（ｍ，ｄ）のビート信号が相殺される。

【００５７】

このような周波数解析部２２０の周波数解析結果により、周波数０からｖ$_C$の間の周波数帯域には１つのビート信号が周波数ｖ$_B$（ｍ，ｄ）に観測されることになる。測定装置１００は、このようにして、イメージ信号をキャンセルできるので、ビート信号の周波数ｖ$_B$（ｍ，ｄ）の周波数を検出することができる。例えば、周波数解析部２２０は、変換した周波数信号の信号強度が最も高くなる周波数をビート信号の周波数ｖ$_B$（ｍ，ｄ）として出力する。

【００５８】

ここで、測定装置１００が測定する距離ｄは、（数６）式で示されている。（数６）式より、ｖ$_C$、ｖ$_S$、およびｖ$_B$（ｍ，ｄ）の３つの周波数を用いることで、距離ｄが算出できることがわかる。３つの周波数のうち、ｖ$_B$（ｍ，ｄ）は、以上のように、検出できることがわかる。また、ｖ$_C$およびｖ$_S$は、レーザ装置１１０の部材によって定まる周波数なので、固定値として取り扱うことができる。したがって、算出部１７０は、変換部１６０が検出したビート信号の周波数ｖ$_B$（ｍ，ｄ）と、予め定められたｖ$_C$およびｖ$_S$を用いて、距離ｄを算出する。

【００５９】

以上のように、測定装置１００は、計測対象物１０までの距離ｄを測定することができる。このような測定装置１００は、第１光電変換部１５４および第２光電変換部１５６といった受光デバイス、ビート信号発生部１５０および変換部１６０といった測定回路等で電気的なノイズが重畳されることがあり、測定精度が低減してしまうことがあった。このような測定精度の低下を防止すべく、複数回の測定結果を平均化することが考えられるが、この場合、測定時間が増加してスループットが低下してしまうことがあった。

【００６０】

［複数のビート信号］

そこで、本実施形態に係る測定装置１００は、ビート信号の観測帯域を拡大して、異なる複数の帯域に発生する複数のビート信号を測定する。図４に示すように、ビート信号発生部１５０は、反射光および参照光を混合して異なる複数のモード番号ｍの複数のビート信号$ν_{B}$（ｍ，ｄ）を発生させる。したがって、変換部１６０のビート信号$ν_{B}$（ｍ，ｄ）の観測帯域を拡大すると、異なる周波数に発生する複数のビート信号$ν_{B}$（ｍ，ｄ）を観測できる。

【００６１】

図７は、本実施形態に係る変換部１６０が出力する周波数情報の一例を示す。図７の横軸は周波数を示し、縦軸は信号レベルを示す。図７は、直交検波により、複数のイメージ信号がキャンセルされた後の複数のビート信号を示す。複数のビート信号は、帯域幅が共振器周波数$ν_{C}$に略一致する複数の帯域のそれぞれに、１つずつ観測される。ここで、複数の帯域を周波数の小さい順に、第１帯域、第２帯域、・・・、第ｋ帯域とし、第１帯域のビート信号の周波数を$ν_{B1}$、第２帯域のビート信号の周波数を$ν_{B2}$、第ｋ帯域のビート信号の周波数を$ν_{Bk}$とする。

【００６２】

測定装置１００が１番目からｋ番目までのｋ個のビート信号を観測する場合、観測帯域はｋ×$ν_{C}$となる。この場合、クロック信号供給部２１０は、２ｋ×$ν_{C}$以上の周波数のクロック信号を、第１ＡＤ変換器２０２および第２ＡＤ変換器２０４に供給すればよい。測定装置１００が２以上のビート信号を観測するためには、少なくともクロック信号は共振器周波数$ν_{C}$の４倍以上の周波数が必要となることがわかる。

【００６３】

図３および図４で示すように、複数のビート信号は、それぞれの帯域の対応する周波数位置に発生する。例えば、測定装置１００および計測対象物１０の間の距離ｄが一定で、電気信号に重畳するノイズが無視できるほど小さい理想的な状態の場合、ｋ番目のビート信号の周波数$ν_{Bk}$は、（ｋ－１）×$ν_{C}$だけ差し引くと、１番目のビート信号の周波数$ν_{B1}$に略一致する。このように、複数のビート信号は、理想的には略一定の周波数$ν_{C}$の間隔毎に発生する。

【００６４】

そこで、測定装置１００は、複数のビート信号を対応する周波数間隔だけ周波数シフトさせて、同一の周波数帯域の信号成分にしてから平均化することで、ノイズの影響を低減させる。このような測定装置１００について、次に説明する。

【００６５】

［変換部１６０および算出部１７０の構成例］

図８は、本実施形態に係る測定装置１００に設けられている変換部１６０および算出部１７０の構成例を示す。図８に示す変換部１６０は、図５で説明した変換部１６０と同様の構成なので、動作が略同一のものには同一の符号を付け、説明を省略する。図８に示す変換部１６０および算出部１７０は、測定装置１００が２×$ν_{C}$以上の観測帯域を有するように構成されている。

【００６６】

変換部１６０は、複数のビート信号をレーザ共振器の共振器周波数の４倍以上の周波数でサンプリングしてデジタル信号に変換する。即ち、クロック信号供給部２１０は、レーザ共振器の共振器周波数$ν_{C}$の４倍以上の周波数のクロック信号を、第１ＡＤ変換器２０２および第２ＡＤ変換器２０４に供給する。第１ＡＤ変換器２０２および第２ＡＤ変換器２０４は、アナログ信号を複数のビート信号と複数のイメージ信号を含むデジタル信号のＩ信号およびＱ信号にそれぞれ変換する。

【００６７】

なお、第１フィルタ部１６２および第２フィルタ部１６４は、共振器周波数$ν_{C}$の２倍以上の周波数帯域の信号成分を通過させる。例えば、クロック信号供給部２１０は、２ｋ×$ν_{C}$以上の周波数のクロック信号を出力し、第１フィルタ部１６２および第２フィルタ部１６４は、０からｋ×$ν_{C}$までの周波数帯域の信号成分を通過させる。

【００６８】
変換部１６０は、周波数変換部３１０を有する。周波数変換部３１０は、デジタル信号のＩ信号およびＱ信号を周波数情報に変換する。周波数変換部３１０は、例えば、デジタルフーリエ変換等を用いて、デジタル信号を周波数情報に変換する。周波数変換部３１０は、変換されたＩ信号およびＱ信号を用いてＩ＋ｊＱを算出し、複数のイメージ信号を相殺した算出結果を出力する。
【００６９】
算出部１７０は、周波数変換部３１０が変換したデジタル信号の周波数データに基づき、測定装置１００から計測対象物１０までの距離ｄを算出する。算出部１７０は、分割部１７２と、検出部１７４と、距離算出部１７６とを有する。
【００７０】
分割部１７２は、周波数変換部３１０が変換した周波数情報の周波数帯域を、予め定められた帯域幅の複数の帯域の周波数情報に分割する。分割部１７２は、予め定められた帯域幅を共振器周波数$ν_C$以下の帯域幅とする。分割部１７２は、一例として、図８の例に示すように、共振器周波数$ν_C$に略一致する帯域幅で周波数情報を分割する。例えば、クロック信号供給部２１０が出力するクロック信号の周波数を$2f_C$とすると、分割部１７２は、$f_C／ν_C$以下で最大となる整数ｋだけ、周波数情報を分割する。
【００７１】
検出部１７４は、分割された複数の周波数情報毎にビート信号の周波数位置を検出する。検出部１７４は、例えば、各帯域において信号レベルが最大となる周波数位置を検出して、複数のビート信号の周波数$ν_{B1}$、$ν_{B2}$、・・・、$ν_{Bk}$とする。
【００７２】
距離算出部１７６は、検出した複数のビート信号の周波数位置に基づき、測定装置１００から計測対象物１０までの距離ｄを算出する。例えば、距離算出部１７６は、複数のビート信号の周波数位置に対応する測定装置１００から計測対象物１０までの距離ｄをそれぞれ算出する。
【００７３】
この場合、距離算出部１７６は、周波数$ν_{B1}$に対応する測定装置１００から計測対象物１０までの距離d_1を算出する。また、距離算出部１７６は、周波数$ν_{B2}$から$ν_C$を差し引いた周波数（$ν_{B2}－ν_C$）に対応する距離d_2を算出する。同様に、距離算出部１７６は、周波数$ν_{Bk}$から（ｋ－１）×$ν_C$を差し引いた周波数［$ν_{Bk}$－（ｋ－１）×$ν_C$］に対応する距離d_kを算出する。
【００７４】
そして、距離算出部１７６は、算出した複数の距離を平均化する。距離算出部１７６は、例えば、距離d_1，d_2，・・・，d_kを平均化した値を距離ｄとして出力する。これにより、測定装置１００は、受光デバイスおよび測定回路等で発生した電気的なノイズが電気信号に重畳しても、複数の距離ｄの測定結果を平均化するので、当該ノイズの影響を低減できる。
【００７５】
また、測定装置１００は、測定帯域を拡大して複数のビート信号を検出するので、測定光の測定回数よりも大きい数の距離ｄの算出結果を取得することができる。例えば、測定装置１００は、１回のビート信号の検出結果から、予め定められた数の距離ｄの測定結果の平均値を算出できる。したがって、測定装置１００は、測定精度を向上させつつ、測定時間を短縮させてスループットを向上させることができる。
【００７６】
以上の本実施形態に係る測定装置１００において、算出部１７０が複数の距離ｄの算出結果を平均化する例を説明したが、これに限定されることはない。測定装置１００は、ビート信号の対応する周波数を平均化してから距離ｄを算出してもよい。
【００７７】
この場合、距離算出部１７６は、検出部１７４が検出した複数のビート信号の対応する

周波数位置を換算する。距離算出部１７６は、例えば、複数のビート信号の周波数ν_{B1}、ν_{B2}、・・・、ν_{Bk}を用いて、周波数０からν_Cの間の観測帯域における対応する周波数位置ν_{B1}、（$\nu_{B2}-\nu_C$）、・・・、［$\nu_{Bk}-(k-1)\times\nu_C$］を換算する。

【００７８】

そして、距離算出部１７６は、換算した周波数位置を平均化し、平均化した周波数位置に対応する測定装置１００から計測対象物１０までの距離ｄを算出する。このような場合においても、測定装置１００は、受光デバイスおよび測定回路等で発生した電気的なノイズが電気信号に重畳しても、異なるビート信号の検出結果を平均化するので、当該ノイズの影響を低減させることができる。

【００７９】

以上の本実施形態に係る測定装置１００において、算出部１７０が距離ｄの算出結果またはビート信号の検出結果を平均化する例を説明したが、これに限定されることはない。測定装置１００は、ビート信号の帯域毎のスペクトルを重畳し、重畳したスペクトルに基づき、距離ｄを算出してもよい。このような測定装置１００について、次に説明する。

【００８０】

［変換部１６０および算出部１７０の変形例］

図９は、本実施形態に係る測定装置１００に設けられている変換部１６０および算出部１７０の変形例を示す。図９に示す変換部１６０および算出部１７０は、図７で説明した変換部１６０および算出部１７０と同様の構成なので、動作が略同一のものには同一の符号を付け、説明を省略する。変形例の算出部１７０は、分割部１７２と、積算部１７８と、検出部１７４と、距離算出部１７６とを有する。

【００８１】

分割部１７２は、周波数変換部３１０が変換した周波数情報の周波数帯域を、予め定められた帯域幅の複数の帯域の周波数情報に分割する。分割部１７２は、例えば、図７に示すように、周波数情報を第１帯域、第２帯域、・・・、第ｋ帯域といったｋ個の帯域に分割する。

【００８２】

積算部１７８は、分割された複数の周波数情報を対応する１つの周波数帯域の周波数情報に変換する。積算部１７８は、例えば、第１帯域を対応する周波数帯域として、分割した複数の周波数情報を変換する。この場合、積算部１７８は、第２帯域の周波数をν_Cだけ差し引いて、低周波数方向にシフトする。また、積算部１７８は、第３帯域の周波数を２×ν_Cだけ差し引いて、低周波数方向にシフトする。このように、積算部１７８は、ｋ番目の第ｋ帯域の周波数を（ｋ－１）×ν_Cだけ差し引いて、ｋ－１個の周波数情報を低周波数方向にそれぞれシフトする。このように、積算部１７８は、ｋ個の周波数情報を第１帯域の情報に変換する。

【００８３】

そして、積算部１７８は、分割した複数の周波数情報の信号レベルを周波数毎に積算する。これにより、複数のビート信号が積算されるので、理想的には略同一の周波数位置の信号レベルが最も大きい値となる。また、ノイズ等が発生した場合、このようなビート信号にランダムなノイズレベルが重畳される。積算する帯域の数ｋが増加することにより、このようなノイズ成分は平滑化されて略一定の値となるので、ノイズによるビート信号のピーク周波数の変動が抑制されることになる。

【００８４】

検出部１７４は、積算された周波数情報におけるビート信号の周波数位置を検出する。検出部１７４は、例えば、第１帯域において信号レベルが最大となる周波数位置を検出して、ビート信号の周波数ν_Bとする。

【００８５】

距離算出部１７６は、検出したビート信号の周波数位置ν_Bに基づき、測定装置１００から計測対象物１０までの距離ｄを算出する。以上のように、測定装置１００は、複数の帯域におけるビート信号の観測結果を積算して、重畳するノイズ成分を平均化させること

ができるので、ノイズの影響を低減させることができる。また、本例の測定装置１００も、測定時間を短縮させてスループットを向上できる。

【００８６】

以上の本実施形態に係る測定装置１００は、観測した複数のビート信号に基づく信号成分を平均化または重畳することで、ノイズの影響を低減させる例を説明したが、これに限定することはない。測定装置１００は、図１で説明したように、平均化処理しない動作と、平均化処理する動作とを切り換え可能に構成されていてもよい。

【００８７】

この場合、例えば、クロック信号供給部２１０は、ユーザの入力等に応じて、供給するクロック信号の周波数を切り換え可能に設けられる。また、変換部１６０は、周波数解析部２２０と周波数変換部３１０とを切り換え可能に設けられる。これに代えて、周波数解析部２２０が、ユーザの入力等に応じて、周波数解析の動作と周波数変換の動作とを切り換えてもよい。同様に、算出部１７０は、ユーザの入力等に応じて、平均化処理しない動作と平均化処理の動作とを切り換える。

【００８８】

これにより、測定装置１００は、ユーザ等に要求される測定精度に応じて処理を切り換えることができるので、適切な処理時間で測定結果を出力することができる。また、測定装置１００は、更に、ユーザの要求等に応じて、観測帯域を切り換え可能に構成されてもよい。この場合、測定装置１００は、平均化するためのビート信号の数ｋを可変にすることができるので、要求される測定精度に応じて処理をより細かく設定できる。

【００８９】

なお、以上の本実施形態に係る測定装置１００に設けられている変換部１６０および算出部１７０の少なくとも一部は、集積回路等で構成されていることが望ましい。変換部１６０および算出部１７０の少なくとも一部は、例えば、ＦＰＧＡ（Field Programmable Gate Array）、ＤＳＰ（Digital Signal Processor）、および／またはＣＰＵ（Central Processing Unit）を含む。

【００９０】

変換部１６０および算出部１７０の少なくとも一部をコンピュータ等で構成する場合、これらの部位は、記憶部および制御部を含む。記憶部は、一例として、変換部１６０および算出部１７０を実現するコンピュータ等のＢＩＯＳ（Basic Input Output System）等を格納するＲＯＭ（Read Only Memory）、および作業領域となるＲＡＭ（Random Access Memory）を含む。また、記憶部は、ＯＳ（Operating System）、プログラム、アプリケーション、および／または種々の情報等を格納してよい。記憶部は、ＨＤＤ（Hard Disk Drive）および／またはＳＳＤ（Solid State Drive）等の大容量記憶装置を含んでよい。

【００９１】

制御部は、ＣＰＵ等のプロセッサであり、記憶部に記憶されたプログラムを実行することによって変換部１６０および算出部１７０の少なくとも一部として機能する。制御部は、ＧＰＵ（Graphics Processing Unit）等を含んでもよい。

【００９２】

以上、本発明を実施の形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施の形態に記載の範囲には限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。例えば、装置の全部又は一部は、任意の単位で機能的又は物理的に分散・統合して構成することができる。また、複数の実施の形態の任意の組み合わせによって生じる新たな実施の形態も、本発明の実施の形態に含まれる。組み合わせによって生じる新たな実施の形態の効果は、もとの実施の形態の効果を併せ持つ。

【符号の説明】

【００９３】

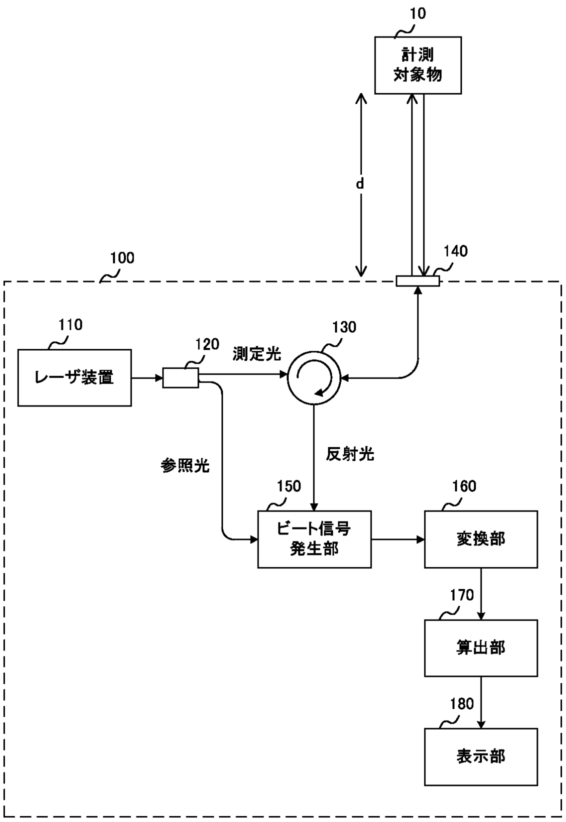
１０　計測対象物

１００　測定装置

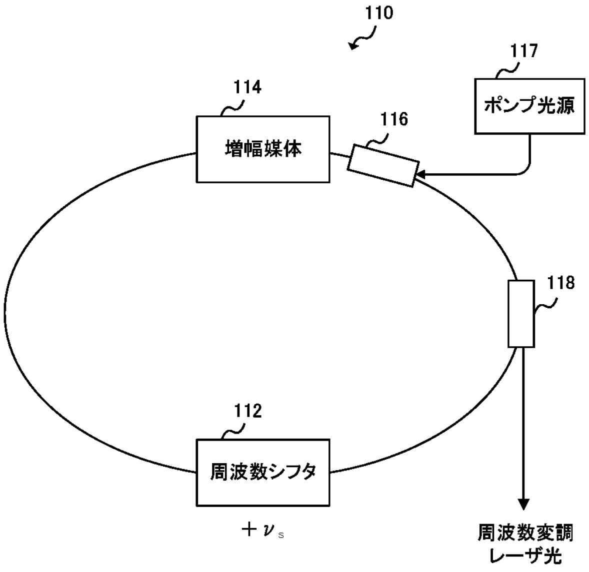
１１０　レーザ装置
１１２　周波数シフタ
１１４　増幅媒体
１１６　ＷＤＭカプラ
１１７　ポンプ光源
１１８　出力カプラ
１２０　分岐部
１３０　光サーキュレータ
１４０　光ヘッド部
１５０　ビート信号発生部
１５２　光９０度ハイブリッド
１５４　第１光電変換部
１５６　第２光電変換部
１６０　変換部
１６２　第１フィルタ部
１６４　第２フィルタ部
１７０　算出部
１７２　分割部
１７４　検出部
１７６　距離算出部
１７８　積算部
１８０　表示部
２０２　第１ＡＤ変換器
２０４　第２ＡＤ変換器
２１０　クロック信号供給部
２２０　周波数解析部
３１０　周波数変換部

【図面】

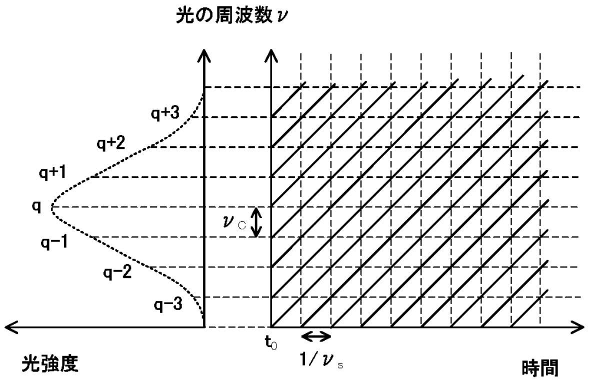
【図１】


10
計測
対象物
d
100
140
110
レーザ装置
120
測定光
130
参照光
反射光
150
ビート信号
発生部
160
変換部
170
算出部
180
表示部

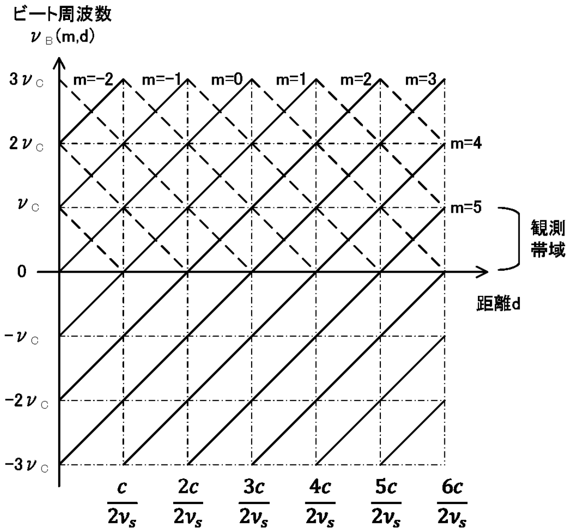
【図２】


110
117
ポンプ光源
114
増幅媒体
116
118
112
周波数シフタ
＋ν s
周波数変調
レーザ光

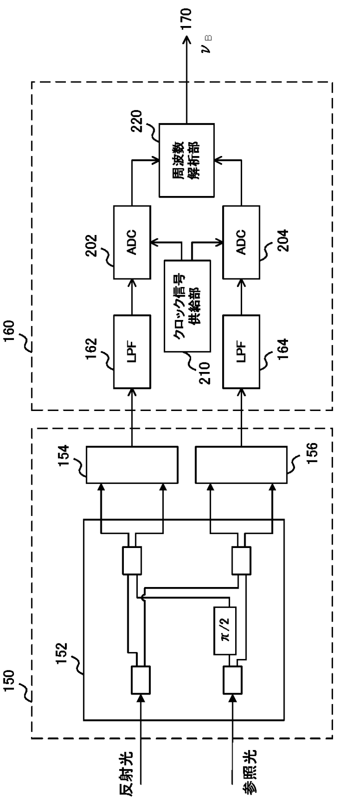
【図３】


光の周波数ν
q+3
q+2
q+1
q
q−1
q−2
q−3
ν C
光強度
t0
1/ν s
時間

【図４】

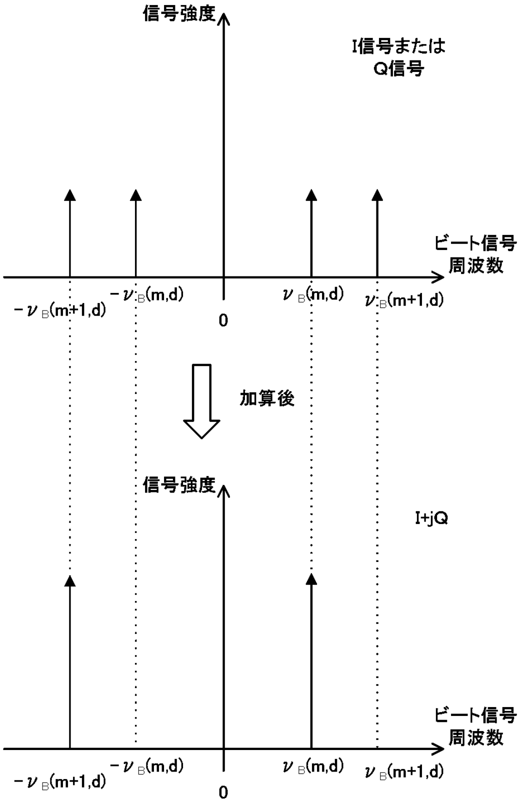

ビート周波数
ν B(m,d)
3ν C
2ν C
ν C
0
−ν C
−2ν C
−3ν C
m=−2
m=−1
m=0
m=1
m=2
m=3
m=4
m=5
観測
帯域
距離d
c/2νs
2c/2νs
3c/2νs
4c/2νs
5c/2νs
6c/2νs

【図５】



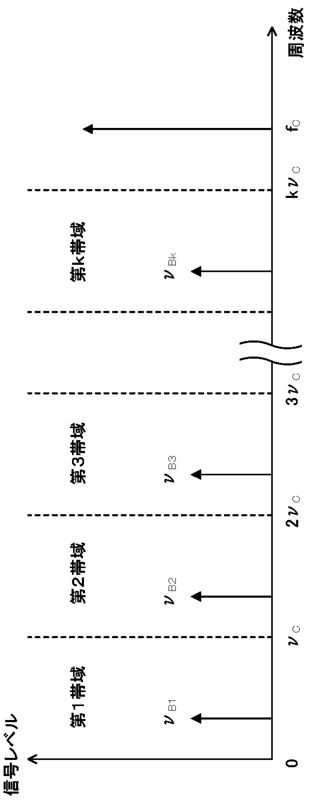
170
ν B
220
周波数解析部
202
ADC
204
ADC
クロック信号供給部
210
160
162
LPF
164
LPF
154
156
152
π/2
150
反射光
参照光

【図６】



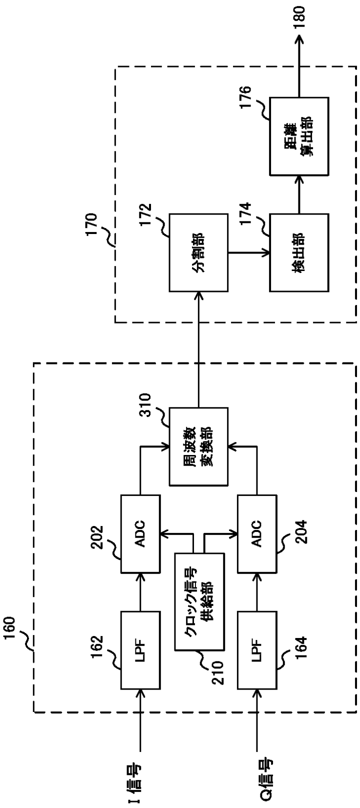
信号強度
I信号または
Q信号
ビート信号
周波数
－ν B(m+1,d)
－ν B(m,d)
0
ν B(m,d)
ν B(m+1,d)
加算後
信号強度
I+jQ
ビート信号
周波数
－ν B(m+1,d)
－ν B(m,d)
0
ν B(m,d)
ν B(m+1,d)

【図７】



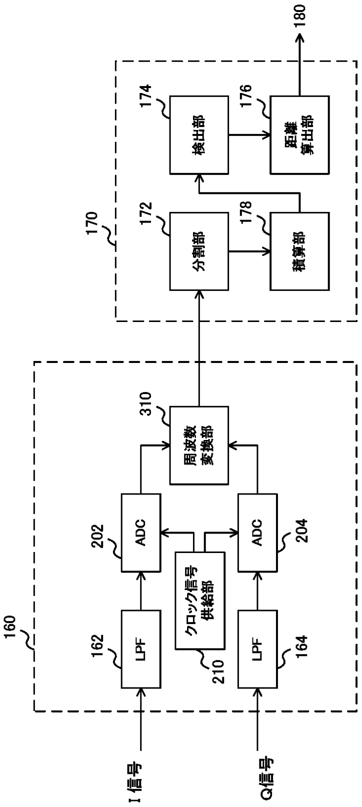
周波数
fC
kν C
第k帯域
ν Bk
3ν C
第3帯域
ν B3
2ν C
第2帯域
ν B2
ν C
第1帯域
ν B1
信号レベル
0

【図８】



180
176
距離算出部
170
172
分割部
174
検出部
310
周波数変換部
202
ADC
204
ADC
クロック信号供給部
160
162
LPF
164
LPF
210
I信号
Q信号

【図９】


I信号
Q信号
160
162
164
LPF
LPF
202
204
ADC
ADC
210
クロック信号供給部
310
周波数変換部
170
172
分割部
178
積算部
174
検出部
176
距離算出部
180

フロントページの続き

株式会社ミツトヨ内
(72)発明者 原 慎一
茨城県つくば市上横場４３０番地の１ 株式会社ミツトヨ内
審査官 飯村 悠斗
(56)参考文献 特開２００１－０４１７０６（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－０８２８５８（ＪＰ，Ａ）
特開２００８－２３２８３３（ＪＰ，Ａ）
(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｂ １１／００－１１／３０
Ｇ０１Ｂ ９／００－ ９／１０
Ｇ０１Ｓ ７／４８－ ７／５１
Ｇ０１Ｓ １７／００－１７／９５