

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5530070号
(P5530070)

(45) 発行日 平成26年6月25日 (2014. 6. 25)

(24) 登録日 平成26年4月25日 (2014. 4. 25)

(51) Int. Cl.

F I

G O 1 S 17/50 (2006. 01)

G O 1 S 17/50

G O 1 P 3/36 (2006. 01)

G O 1 P 3/36

D

G O 1 B 9/02 (2006. 01)

G O 1 B 9/02

請求項の数 10 (全 54 頁)

(21) 出願番号 特願2008-54706 (P2008-54706)
 (22) 出願日 平成20年3月5日 (2008. 3. 5)
 (65) 公開番号 特開2009-14701 (P2009-14701A)
 (43) 公開日 平成21年1月22日 (2009. 1. 22)
 審査請求日 平成22年10月20日 (2010. 10. 20)
 (31) 優先権主張番号 特願2007-150102 (P2007-150102)
 (32) 優先日 平成19年6月6日 (2007. 6. 6)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000006666
 アズビル株式会社
 東京都千代田区丸の内2丁目7番3号
 (74) 代理人 100064621
 弁理士 山川 政樹
 (74) 代理人 100098394
 弁理士 山川 茂樹
 (72) 発明者 上野 達也
 東京都千代田区丸の内2丁目7番3号 株
 式会社 山武内

審査官 吉田 久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 距離・速度計および距離・速度計測方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

測定対象に第1のレーザ光を放射する第1の半導体レーザと、
 前記測定対象に前記第1のレーザ光と平行に第2のレーザ光を放射する第2の半導体レーザと、

少なくとも発振波長が連続的に単調増加する発振期間が繰り返し存在するように前記第1の半導体レーザを動作させる第1のレーザドライバと、

前記第1の半導体レーザと発振波長の増減が逆になるように前記第2の半導体レーザを動作させる第2のレーザドライバと、

前記第1のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光とを電気信号に変換する第1の受光器と、

前記第2のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光とを電気信号に変換する第2の受光器と、

前記第1、第2の受光器の出力信号に含まれる、前記第1、第2のレーザ光とその戻り光とによって生じる干渉波形の数を、前記第1、第2の受光器の出力信号の各々について数える計数手段と、

前記第1、第2の半導体レーザの最小発振波長及び最大発振波長と前記計数手段の計数結果とから前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を算出する演算手段とを有し、

前記計数手段は、

10

20

前記発振期間よりも短い第 1 の計数期間において、前記第 1、第 2 の半導体レーザのうち発振波長が増加している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の数を数えると同時に、前記第 1 の計数期間と同じ時刻の第 2 の計数期間において、前記第 1、第 2 の半導体レーザのうち発振波長が減少している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の数を数えるカウンタと、

前記第 1 の計数期間において前記発振波長が増加している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定すると同時に、前記第 2 の計数期間において前記発振波長が減少している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定する周期測定手段と、

10

この周期測定手段の測定結果から前記第 1、第 2 の計数期間中の干渉波形の周期の度数分布を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について作成する度数分布作成手段と、

前記度数分布から前記干渉波形の周期の中央値を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する中央値算出手段と、

前記度数分布から、前記中央値の第 1 の所定数倍以下である階級の度数の総和 N_s と、前記中央値の第 2 の所定数倍以上である階級の度数の総和 N_w とを求め、これらの度数 N_s と N_w に基づいて前記カウンタの計数結果を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について補正する補正值算出手段と、

前記周期測定手段の測定結果から前記干渉波形の周期の総和を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する周期和算出手段と、

20

前記補正值算出手段で補正された計数結果と前記周期和算出手段で算出された周期の総和とから、単位時間当たりの前記干渉波形の数を前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する個数算出手段とからなり、

前記演算手段は、前記第 1、第 2 の半導体レーザの最小発振波長と最大発振波長と前記計数手段の計数結果に基づいて前記測定対象との距離の候補値と前記測定対象の速度の候補値とを算出する距離・速度算出手段と、この距離・速度算出手段で算出された速度の候補値に基づいて前記測定対象の状態を判定する状態判定手段と、この状態判定手段の判定結果に基づいて前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を確定する距離・速度確定手段とからなることを特徴とする距離・速度計。

【請求項 2】

30

測定対象に第 1 のレーザ光を放射する第 1 の半導体レーザと、

前記測定対象に前記第 1 のレーザ光と平行に第 2 のレーザ光を放射する第 2 の半導体レーザと、

少なくとも発振波長が連続的に単調増加する発振期間が繰り返し存在するように前記第 1 の半導体レーザを動作させる第 1 のレーザドライバと、

前記第 1 の半導体レーザと発振波長の増減が逆になるように前記第 2 の半導体レーザを動作させる第 2 のレーザドライバと、

前記第 1 の半導体レーザの光出力を電気信号に変換する第 1 の受光器と、

前記第 2 の半導体レーザの光出力を電気信号に変換する第 2 の受光器と、

前記第 1、第 2 の受光器の出力信号に含まれる、前記第 1、第 2 のレーザ光とその戻り光との自己結合効果によって生じる干渉波形の数を、前記第 1、第 2 の受光器の出力信号の各々について数える計数手段と、

40

前記第 1、第 2 の半導体レーザの最小発振波長及び最大発振波長と前記計数手段の計数結果とから前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を算出する演算手段とを有し、

前記計数手段は、

前記発振期間よりも短い第 1 の計数期間において、前記第 1、第 2 の半導体レーザのうち発振波長が増加している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の数を数えると同時に、前記第 1 の計数期間と同じ時刻の第 2 の計数期間において、前記第 1、第 2 の半導体レーザのうち発振波長が減少している半導体レーザに対応する受

50

光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の数を数えるカウンタと、

前記第 1 の計数期間において前記発振波長が増加している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定すると同時に、前記第 2 の計数期間において前記発振波長が減少している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定する周期測定手段と、

この周期測定手段の測定結果から前記第 1、第 2 の計数期間中の干渉波形の周期の度数分布を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について作成する度数分布作成手段と、

前記度数分布から前記干渉波形の周期の中央値を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する中央値算出手段と、

前記度数分布から、前記中央値の第 1 の所定数倍以下である階級の度数の総和 N_s と、前記中央値の第 2 の所定数倍以上である階級の度数の総和 N_w とを求め、これらの度数 N_s と N_w に基づいて前記カウンタの計数結果を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について補正する補正值算出手段と、

前記周期測定手段の測定結果から前記干渉波形の周期の総和を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する周期和算出手段と、

前記補正值算出手段で補正された計数結果と前記周期和算出手段で算出された周期の総和とから、単位時間当たりの前記干渉波形の数を前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する個数算出手段とからなり、

前記演算手段は、前記第 1、第 2 の半導体レーザの最小発振波長と最大発振波長と前記計数手段の計数結果に基づいて前記測定対象との距離の候補値と前記測定対象の速度の候補値とを算出する距離・速度算出手段と、この距離・速度算出手段で算出された速度の候補値に基づいて前記測定対象の状態を判定する状態判定手段と、この状態判定手段の判定結果に基づいて前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を確定する距離・速度確定手段とからなることを特徴とする距離・速度計。

【請求項 3】

測定対象に第 1 のレーザ光を放射する第 1 の半導体レーザと、

前記測定対象に前記第 1 のレーザ光と平行に第 2 のレーザ光を放射する第 2 の半導体レーザと、

少なくとも発振波長が連続的に単調増加する発振期間が繰り返し存在するように前記第 1 の半導体レーザを動作させる第 1 のレーザドライバと、

前記第 1 の半導体レーザと発振波長の増減が逆になるように前記第 2 の半導体レーザを動作させる第 2 のレーザドライバと、

前記第 1 のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光とを電気信号に変換する第 1 の受光器と、

前記第 2 のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光とを電気信号に変換する第 2 の受光器と、

前記第 1、第 2 の受光器の出力信号に含まれる、前記第 1、第 2 のレーザ光とその戻り光とによって生じる干渉波形の数を、前記第 1、第 2 の受光器の出力信号の各々について数える計数手段と、

前記第 1、第 2 の半導体レーザの最小発振波長及び最大発振波長と前記計数手段の計数結果とから前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を算出する演算手段とを有し、

前記計数手段は、

前記発振期間よりも短い第 1 の計数期間において、前記第 1、第 2 の半導体レーザのうち発振波長が増加している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる一定個数の前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定すると同時に、前記第 1 の計数期間と同じ時刻の第 2 の計数期間において、前記第 1、第 2 の半導体レーザのうち発振波長が減少している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる一定個数の前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定する周期測定手段と、

10

20

30

40

50

この周期測定手段の測定結果から前記干渉波形の周期の度数分布を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について作成する度数分布作成手段と、

前記度数分布から前記干渉波形の周期の中央値を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する中央値算出手段と、

前記度数分布から、前記中央値の第 1 の所定数倍以下である階級の度数の総和 N_s と、前記中央値の第 2 の所定数倍以上である階級の度数の総和 N_w とを求め、これらの度数 N_s と N_w に基づいて前記一定個数を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について補正する補正值算出手段と、

前記周期測定手段の測定結果から前記干渉波形の周期の総和を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する周期和算出手段と、

前記補正值算出手段で補正された干渉波形の数と前記周期和算出手段で算出された周期の総和とから、単位時間当たりの前記干渉波形の数を前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する個数算出手段とからなり、

前記演算手段は、前記第 1、第 2 の半導体レーザの最小発振波長と最大発振波長と前記計数手段の計数結果に基づいて前記測定対象との距離の候補値と前記測定対象の速度の候補値とを算出する距離・速度算出手段と、この距離・速度算出手段で算出された速度の候補値に基づいて前記測定対象の状態を判定する状態判定手段と、この状態判定手段の判定結果に基づいて前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を確定する距離・速度確定手段とからなることを特徴とする距離・速度計。

【請求項 4】

測定対象に第 1 のレーザ光を放射する第 1 の半導体レーザと、

前記測定対象に前記第 1 のレーザ光と平行に第 2 のレーザ光を放射する第 2 の半導体レーザと、

少なくとも発振波長が連続的に単調増加する発振期間が繰り返し存在するように前記第 1 の半導体レーザを動作させる第 1 のレーザドライバと、

前記第 1 の半導体レーザと発振波長の増減が逆になるように前記第 2 の半導体レーザを動作させる第 2 のレーザドライバと、

前記第 1 の半導体レーザの光出力を電気信号に変換する第 1 の受光器と、

前記第 2 の半導体レーザの光出力を電気信号に変換する第 2 の受光器と、

前記第 1、第 2 の受光器の出力信号に含まれる、前記第 1、第 2 のレーザ光とその戻り光との自己結合効果によって生じる干渉波形の数を、前記第 1、第 2 の受光器の出力信号の各々について数える計数手段と、

前記第 1、第 2 の半導体レーザの最小発振波長及び最大発振波長と前記計数手段の計数結果とから前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を算出する演算手段とを有し、

前記計数手段は、

前記発振期間よりも短い第 1 の計数期間において、前記第 1、第 2 の半導体レーザのうち発振波長が増加している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる一定個数の前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定すると同時に、前記第 1 の計数期間と同じ時刻の第 2 の計数期間において、前記第 1、第 2 の半導体レーザのうち発振波長が減少している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる一定個数の前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定する周期測定手段と、

この周期測定手段の測定結果から前記干渉波形の周期の度数分布を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について作成する度数分布作成手段と、

前記度数分布から前記干渉波形の周期の中央値を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する中央値算出手段と、

前記度数分布から、前記中央値の第 1 の所定数倍以下である階級の度数の総和 N_s と、前記中央値の第 2 の所定数倍以上である階級の度数の総和 N_w とを求め、これらの度数 N_s と N_w に基づいて前記一定個数を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について補正する補正值算出手段と、

10

20

30

40

50

前記周期測定手段の測定結果から前記干渉波形の周期の総和を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する周期和算出手段と、

前記補正值算出手段で補正された干渉波形の数と前記周期和算出手段で算出された周期の総和とから、単位時間当たりの前記干渉波形の数を前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する個数算出手段とからなり、

前記演算手段は、前記第 1、第 2 の半導体レーザの最小発振波長と最大発振波長と前記計数手段の計数結果に基づいて前記測定対象との距離の候補値と前記測定対象の速度の候補値とを算出する距離・速度算出手段と、この距離・速度算出手段で算出された速度の候補値に基づいて前記測定対象の状態を判定する状態判定手段と、この状態判定手段の判定結果に基づいて前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を確定する距離・速度確定手段とからなることを特徴とする距離・速度計。

10

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の距離・速度計において、

前記距離・速度算出手段は、前記測定対象が微小変位状態にあると仮定した場合について第 1 の計数期間の計数結果と 1 回後の第 2 の計数期間の計数結果とから速度の第 1 の候補値と距離の第 1 の候補値とを算出すると共に、これらの第 1 の候補値を算出した第 1 の計数期間と同時刻の第 2 の計数結果の計数結果と前記第 1 の候補値を算出した第 2 の計数期間と同時刻の第 1 の計数期間の計数結果とから速度の第 2 の候補値と距離の第 2 の候補値とを算出し、前記測定対象が前記微小変位状態よりも動きが急な変位状態にあると仮定した場合について第 1 の計数期間の計数結果と 1 回後の第 2 の計数期間の計数結果とから速度の第 3 の候補値と距離の第 3 の候補値とを算出すると共に、これらの第 3 の候補値を算出した第 1 の計数期間と同時刻の第 2 の計数結果の計数結果と前記第 3 の候補値を算出した第 2 の計数期間と同時刻の第 1 の計数期間の計数結果とから速度の第 4 の候補値と距離の第 4 の候補値とを算出し、

20

前記状態判定手段は、前記速度の第 1 の候補値と第 2 の候補値とが略等しい場合、前記測定対象が微小変位状態にあると判定し、前記速度の第 3 の候補値と第 4 の候補値とが略等しい場合、前記測定対象が変位状態にあると判定することを特徴とする距離・速度計。

【請求項 6】

半導体レーザを用いて測定対象にレーザ光を放射する距離・速度計測方法において、

少なくとも発振波長が連続的に単調増加する発振期間が繰り返し存在するように第 1 の半導体レーザを動作させる第 1 の発振手順と、

30

前記第 1 の半導体レーザと発振波長の増減が逆になるように第 2 の半導体レーザを動作させる第 2 の発振手順と、

前記第 1 の半導体レーザから放射された第 1 のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光とを電気信号に変換する第 1 の受光器の出力信号に含まれる、前記第 1 のレーザ光とその戻り光とによって生じる干渉波形の数を数えると共に、前記第 2 の半導体レーザから放射された第 2 のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光とを電気信号に変換する第 2 の受光器の出力信号に含まれる、前記第 2 のレーザ光とその戻り光とによって生じる干渉波形の数を数える計数手順と、

前記第 1、第 2 の半導体レーザの最小発振波長及び最大発振波長と前記計数手順の計数結果とから前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を算出する演算手順とを備え、

40

前記計数手順は、

前記発振期間よりも短い第 1 の計数期間において、前記第 1、第 2 の半導体レーザのうち発振波長が増加している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の数を数えると同時に、前記第 1 の計数期間と同じ時刻の第 2 の計数期間において、前記第 1、第 2 の半導体レーザのうち発振波長が減少している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の数を数える干渉波形カウント手順と、

前記第 1 の計数期間において前記発振波長が増加している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定すると同時

50

に、前記第 2 の計数期間において前記発振波長が減少している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定する周期測定手順と、

この周期測定手順の測定結果から前記第 1、第 2 の計数期間中の干渉波形の周期の度数分布を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について作成する度数分布作成手順と、

前記度数分布から前記干渉波形の周期の中央値を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する中央値算出手順と、

前記度数分布から、前記中央値の第 1 の所定数倍以下である階級の度数の総和 N_s と、前記中央値の第 2 の所定数倍以上である階級の度数の総和 N_w とを求め、これらの度数 N_s と N_w に基づいて前記干渉波形カウント手順の計数結果を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について補正する補正值算出手順と、

前記周期測定手順の測定結果から前記干渉波形の周期の総和を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する周期和算出手順と、

前記補正值算出手順で補正された計数結果と前記周期和算出手順で算出された周期の総和とから、単位時間当たりの前記干渉波形の数を前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する個数算出手順とからなり、

前記演算手順は、前記第 1、第 2 の半導体レーザの最小発振波長と最大発振波長と前記計数手順の計数結果に基づいて前記測定対象との距離の候補値と前記測定対象の速度の候補値とを算出する距離・速度算出手順と、この距離・速度算出手順で算出された速度の候補値に基づいて前記測定対象の状態を判定する状態判定手順と、この状態判定手順の判定結果に基づいて前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を確定する距離・速度確定手順とからなることを特徴とする距離・速度計測方法。

【請求項 7】

半導体レーザを用いて測定対象にレーザ光を放射する距離・速度計測方法において、

少なくとも発振波長が連続的に単調増加する発振期間が繰り返し存在するように第 1 の半導体レーザを動作させる第 1 の発振手順と、

前記第 1 の半導体レーザと発振波長の増減が逆になるように第 2 の半導体レーザを動作させる第 2 の発振手順と、

前記第 1 の半導体レーザの光出力を電気信号に変換する第 1 の受光器の出力信号に含まれる、前記第 1 の半導体レーザから放射された第 1 のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光との自己結合効果によって生じる干渉波形の数を数えると共に、前記第 2 の半導体レーザの光出力を電気信号に変換する第 2 の受光器の出力信号に含まれる、前記第 2 の半導体レーザから放射された第 2 のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光との自己結合効果によって生じる干渉波形の数を数える計数手順と、

前記第 1、第 2 の半導体レーザの最小発振波長及び最大発振波長と前記計数手順の計数結果とから前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を算出する演算手順とを備え、

前記計数手順は、

前記発振期間よりも短い第 1 の計数期間において、前記第 1、第 2 の半導体レーザのうち発振波長が増加している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の数を数えると同時に、前記第 1 の計数期間と同じ時刻の第 2 の計数期間において、前記第 1、第 2 の半導体レーザのうち発振波長が減少している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の数を数える干渉波形カウント手順と、

前記第 1 の計数期間において前記発振波長が増加している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定すると同時に、前記第 2 の計数期間において前記発振波長が減少している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定する周期測定手順と、

この周期測定手順の測定結果から前記第 1、第 2 の計数期間中の干渉波形の周期の度数分布を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について作成する度数分布作成手順と、

10

20

30

40

50

前記度数分布から前記干渉波形の周期の中央値を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する中央値算出手順と、

前記度数分布から、前記中央値の第 1 の所定数倍以下である階級の度数の総和 N_s と、前記中央値の第 2 の所定数倍以上である階級の度数の総和 N_w とを求め、これらの度数 N_s と N_w に基づいて前記干渉波形カウント手順の計数結果を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について補正する補正值算出手順と、

前記周期測定手順の測定結果から前記干渉波形の周期の総和を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する周期和算出手順と、

前記補正值算出手順で補正された計数結果と前記周期和算出手順で算出された周期の総和とから、単位時間当たりの前記干渉波形の数を前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する個数算出手順とからなり、

10

前記演算手順は、前記第 1、第 2 の半導体レーザの最小発振波長と最大発振波長と前記計数手順の計数結果に基づいて前記測定対象との距離の候補値と前記測定対象の速度の候補値とを算出する距離・速度算出手順と、この距離・速度算出手順で算出された速度の候補値に基づいて前記測定対象の状態を判定する状態判定手順と、この状態判定手順の判定結果に基づいて前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を確定する距離・速度確定手順とからなることを特徴とする距離・速度計測方法。

【請求項 8】

半導体レーザを用いて測定対象にレーザ光を放射する距離・速度計測方法において、

少なくとも発振波長が連続的に単調増加する発振期間が繰り返し存在するように第 1 の半導体レーザを動作させる第 1 の発振手順と、

20

前記第 1 の半導体レーザと発振波長の増減が逆になるように第 2 の半導体レーザを動作させる第 2 の発振手順と、

前記第 1 の半導体レーザから放射された第 1 のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光とを電気信号に変換する第 1 の受光器の出力信号に含まれる、前記第 1 のレーザ光とその戻り光とによって生じる干渉波形の数を数えると共に、前記第 2 の半導体レーザから放射された第 2 のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光とを電気信号に変換する第 2 の受光器の出力信号に含まれる、前記第 2 のレーザ光とその戻り光とによって生じる干渉波形の数を数える計数手順と、

前記第 1、第 2 の半導体レーザの最小発振波長及び最大発振波長と前記計数手順の計数結果とから前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を算出する演算手順とを備え、

30

前記計数手順は、

前記発振期間よりも短い第 1 の計数期間において、前記第 1、第 2 の半導体レーザのうち発振波長が増加している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる一定個数の前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定すると同時に、前記第 1 の計数期間と同じ時刻の第 2 の計数期間において、前記第 1、第 2 の半導体レーザのうち発振波長が減少している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる一定個数の前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定する周期測定手順と、

この周期測定手順の測定結果から前記干渉波形の周期の度数分布を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について作成する度数分布作成手順と、

40

前記度数分布から前記干渉波形の周期の中央値を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する中央値算出手順と、

前記度数分布から、前記中央値の第 1 の所定数倍以下である階級の度数の総和 N_s と、前記中央値の第 2 の所定数倍以上である階級の度数の総和 N_w とを求め、これらの度数 N_s と N_w に基づいて前記一定個数を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について補正する補正值算出手順と、

前記周期測定手順の測定結果から前記干渉波形の周期の総和を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する周期和算出手順と、

前記補正值算出手順で補正された干渉波形の数と前記周期和算出手順で算出された周期

50

の総和とから、単位時間当たりの前記干渉波形の数を前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する個数算出手順とからなり、

前記演算手順は、前記第 1、第 2 の半導体レーザの最小発振波長と最大発振波長と前記計数手順の計数結果に基づいて前記測定対象との距離の候補値と前記測定対象の速度の候補値とを算出する距離・速度算出手順と、この距離・速度算出手順で算出された速度の候補値に基づいて前記測定対象の状態を判定する状態判定手順と、この状態判定手順の判定結果に基づいて前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を確定する距離・速度確定手順とからなることを特徴とする距離・速度計測方法。

【請求項 9】

半導体レーザを用いて測定対象にレーザ光を放射する距離・速度計測方法において、

少なくとも発振波長が連続的に単調増加する発振期間が繰り返し存在するように第 1 の半導体レーザを動作させる第 1 の発振手順と、

前記第 1 の半導体レーザと発振波長の増減が逆になるように第 2 の半導体レーザを動作させる第 2 の発振手順と、

前記第 1 の半導体レーザの光出力を電気信号に変換する第 1 の受光器の出力信号に含まれる、前記第 1 の半導体レーザから放射された第 1 のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光との自己結合効果によって生じる干渉波形の数を数えると共に、前記第 2 の半導体レーザの光出力を電気信号に変換する第 2 の受光器の出力信号に含まれる、前記第 2 の半導体レーザから放射された第 2 のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光との自己結合効果によって生じる干渉波形の数を数える計数手順と、

前記第 1、第 2 の半導体レーザの最小発振波長及び最大発振波長と前記計数手順の計数結果とから前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を算出する演算手順とを備え、

前記計数手順は、

前記発振期間よりも短い第 1 の計数期間において、前記第 1、第 2 の半導体レーザのうち発振波長が増加している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる一定個数の前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定すると同時に、前記第 1 の計数期間と同じ時刻の第 2 の計数期間において、前記第 1、第 2 の半導体レーザのうち発振波長が減少している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる一定個数の前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定する周期測定手順と、

この周期測定手順の測定結果から前記干渉波形の周期の度数分布を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について作成する度数分布作成手順と、

前記度数分布から前記干渉波形の周期の中央値を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する中央値算出手順と、

前記度数分布から、前記中央値の第 1 の所定数倍以下である階級の度数の総和 N_s と、前記中央値の第 2 の所定数倍以上である階級の度数の総和 N_w とを求め、これらの度数 N_s と N_w に基づいて前記一定個数を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について補正する補正值算出手順と、

前記周期測定手順の測定結果から前記干渉波形の周期の総和を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する周期和算出手順と、

前記補正值算出手順で補正された干渉波形の数と前記周期和算出手順で算出された周期の総和とから、単位時間当たりの前記干渉波形の数を前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する個数算出手順とからなり、

前記演算手順は、前記第 1、第 2 の半導体レーザの最小発振波長と最大発振波長と前記計数手順の計数結果に基づいて前記測定対象との距離の候補値と前記測定対象の速度の候補値とを算出する距離・速度算出手順と、この距離・速度算出手順で算出された速度の候補値に基づいて前記測定対象の状態を判定する状態判定手順と、この状態判定手順の判定結果に基づいて前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を確定する距離・速度確定手順とからなることを特徴とする距離・速度計測方法。

【請求項 10】

請求項 6 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の距離・速度計測方法において、

前記距離・速度算出手順は、前記測定対象が微小変位状態にあると仮定した場合について第 1 の計数期間の計数結果と 1 回後の第 2 の計数期間の計数結果とから速度の第 1 の候補値と距離の第 1 の候補値とを算出すると共に、これらの第 1 の候補値を算出した第 1 の計数期間と同時刻の第 2 の計数結果の計数結果と前記第 1 の候補値を算出した第 2 の計数期間と同時刻の第 1 の計数期間の計数結果とから速度の第 2 の候補値と距離の第 2 の候補値とを算出し、前記測定対象が前記微小変位状態よりも動きが急な変位状態にあると仮定した場合について第 1 の計数期間の計数結果と 1 回後の第 2 の計数期間の計数結果とから速度の第 3 の候補値と距離の第 3 の候補値とを算出すると共に、これらの第 3 の候補値を算出した第 1 の計数期間と同時刻の第 2 の計数結果の計数結果と前記第 3 の候補値を算出した第 2 の計数期間と同時刻の第 1 の計数期間の計数結果とから速度の第 4 の候補値と距離の第 4 の候補値とを算出し、

10

前記状態判定手順は、前記速度の第 1 の候補値と第 2 の候補値とが略等しい場合、前記測定対象が微小変位状態にあると判定し、前記速度の第 3 の候補値と第 4 の候補値とが略等しい場合、前記測定対象が変位状態にあると判定することを特徴とする距離・速度計測方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光の干渉を利用して、測定対象との距離及び測定対象の速度を計測する距離・速度計および距離・速度計測方法に関するものである。

20

【背景技術】

【0002】

レーザによる光の干渉を利用した距離計測は、非接触測定のため測定対象を乱すことなく、高精度の測定方法として古くから用いられている。最近では、半導体レーザは装置の小型化のため、光計測用光源として利用されようとしている。その代表的な例として、FMヘテロダイン干渉計を利用したものがある。これは、比較的長距離測定が可能で精度もよいが、半導体レーザの外部に干渉計を用いているため、光学系が複雑になるという欠点を有する。

【0003】

30

これに対して、レーザの出力光と測定対象からの戻り光との半導体レーザ内部での干渉（自己結合効果）を利用した計測器が提案されている（例えば、非特許文献 1、非特許文献 2、非特許文献 3 参照）。このような自己結合型のレーザ計測器によれば、フォトダイオード内蔵の半導体レーザが発光、干渉、受光の各機能を兼ねているため、外部干渉光学系を大幅に簡略化することができる。したがって、センサ部が半導体レーザとレンズのみとなり、従来のものに比べて小型となる。また、三角測量法より距離測定範囲が広いという特徴を有する。

【0004】

FP 型（ファブリペロー型）半導体レーザの複合共振器モデルを図 40 に示す。図 40 において、101 は半導体レーザ、102 は半導体結晶の壁開面、103 はフォトダイオード、104 は測定対象である。測定対象 104 からの反射光の一部が発振領域内に戻り易い。戻って来たわずかな光は、共振器 101 内のレーザ光と結合し、動作が不安定となり雑音（複合共振器ノイズまたは戻り光ノイズ）を生じる。戻り光による半導体レーザの特性の変化は、出力光に対する相対的な戻り光量が、極めてわずかであっても顕著に現れる。このような現象は、ファブリペロー型（以下、FP 型）半導体レーザに限らず、Vertical Cavity Surface Emitting Laser 型（以下、VCSEL 型）、Distributed Feedback Laser 型（以下、DFB レーザ型）など、他の種類の半導体レーザにおいても同様に現れる。

40

【0005】

レーザの発振波長を、測定対象 104 に近い方の壁開面 102 から測定対象 104 ま

50

での距離を L とすると、以下の共振条件を満足するとき、戻り光と共振器 101 内のレーザ光は強め合い、レーザ出力がわずかに増加する。

$$L = q \cdot \lambda / 2 \quad \dots (1)$$

式 (1) において、 q は整数である。この現象は、測定対象 104 からの散乱光が極めて微弱であっても、半導体レーザの共振器 101 内の見かけの反射率が増加することにより、増幅作用が生じ、十分観測できる。

【0006】

半導体レーザは、注入電流の大きさに応じて周波数の異なるレーザ光を放射するので、発振周波数を変調する際に、外部変調器を必要とせず、注入電流によって直接変調が可能である。図 41 は、半導体レーザの発振波長をある一定の割合で変化させたときの発振波長とフォトダイオード 103 の出力波形との関係を示す図である。式 (1) に示した $L = q \cdot \lambda / 2$ を満足したときに、戻り光と共振器 101 内のレーザ光の位相差が 0° (同位相) になって、戻り光と共振器 101 内のレーザ光とが最も強め合い、 $L = q \cdot \lambda / 2 + \lambda / 4$ のときに、位相差が 180° (逆位相) になって、戻り光と共振器 101 内のレーザ光とが最も弱め合う。そのため、半導体レーザの発振波長を変化させていくと、レーザ出力が強くなるところと弱くなるところとが交互に繰り返され、このときのレーザ出力を共振器 101 に設けられたフォトダイオード 103 で検出すると、図 41 に示すように一定周期の階段状の波形が得られる。このような波形は一般的には干渉縞と呼ばれる。

【0007】

この階段状の波形、すなわち干渉縞の 1 つ 1 つをモードポップパルス (以下、MHP) と呼ぶ。MHP はモードホッピング現象とは異なる現象である。例えば、測定対象 104 までの距離が L_1 のとき、MHP の数が 10 個であったとすれば、半分の距離 L_2 では、MHP の数は 5 個になる。すなわち、ある一定時間において半導体レーザの発振波長を変化させた場合、測定距離に比例して MHP の数は変わる。したがって、MHP をフォトダイオード 103 で検出し、MHP の周波数を測定すれば、容易に距離計測が可能となる。

【0008】

自己結合型のレーザ計測器では、共振器外部の干渉光学系を大幅に簡略化できるため、装置を小型化することができ、また高速の回路が不要で、外乱光に強いという利点がある。さらに、測定対象からの戻り光が極めて微弱でもよいので、測定対象の反射率に影響されない、すなわち測定対象を選ばないという利点がある。しかしながら、自己結合型を含め従来の干渉型計測器では、静止した測定対象との距離を計測することはできても、速度を持つ測定対象の距離を計測することはできないという問題点があった。

【0009】

そこで、発明者は、静止した測定対象との距離だけでなく、測定対象の速度も計測することができる距離・速度計を提案した (特許文献 1 参照)。この距離・速度計の構成を図 42 に示す。図 42 の距離・速度計は、測定対象にレーザ光を放射する半導体レーザ 201 と、半導体レーザ 201 の光出力を電気信号に変換するフォトダイオード 202 と、半導体レーザ 201 からの光を集光して測定対象 210 に照射すると共に、測定対象 210 からの戻り光を集光して半導体レーザ 201 に入射させるレンズ 203 と、半導体レーザ 201 に発振波長が連続的に増加する第 1 の発振期間と発振波長が連続的に減少する第 2 の発振期間とを交互に繰り返させるレーザドライバ 204 と、フォトダイオード 202 の出力電流を電圧に変換して増幅する電流 - 電圧変換増幅器 205 と、電流 - 電圧変換増幅器 205 の出力電圧を 2 回微分する信号抽出回路 206 と、信号抽出回路 206 の出力電圧に含まれる MHP の数を数える計数回路 207 と、測定対象 210 との距離及び測定対象 210 の速度を算出する演算装置 208 と、演算装置 208 の算出結果を表示する表示装置 209 とを有する。

【0010】

レーザドライバ 204 は、時間に関して一定の変化率で増減を繰り返す三角波駆動電流を注入電流として半導体レーザ 201 に供給する。これにより、半導体レーザ 201 は、発振波長が一定の変化率で連続的に増加する第 1 の発振期間と発振波長が一定の変化率で

10

20

30

40

50

連続的に減少する第2の発振期間とを交互に繰り返すように駆動される。図43は、半導体レーザ201の発振波長の時間変化を示す図である。図43において、P1は第1の発振期間、P2は第2の発振期間、aは各期間における発振波長の最小値、bは各期間における発振波長の最大値、Tは三角波の周期である。

【0011】

半導体レーザ201から出射したレーザ光は、レンズ203によって集光され、測定対象210に入射する。測定対象210で反射された光は、レンズ203によって集光され、半導体レーザ201に入射する。フォトダイオード202は、半導体レーザ201の光出力を電流に変換する。電流-電圧変換増幅器205は、フォトダイオード202の出力電流を電圧に変換して増幅し、信号抽出回路206は、電流-電圧変換増幅器205の出力電圧を2回微分する。計数回路207は、信号抽出回路206の出力電圧に含まれるMHPの数を第1の発振期間P1と第2の発振期間P2の各々について数える。演算装置208は、半導体レーザ1の最小発振波長aと最大発振波長bと第1の発振期間P1におけるMHPの数と第2の発振期間P2におけるMHPの数に基づいて、測定対象210との距離及び測定対象210の速度を算出する。

【0012】

【特許文献1】特開2006-313080号公報

【非特許文献1】上田正，山田諄，紫藤進，「半導体レーザの自己結合効果を利用した距離計」，1994年度電気関係学会東海支部連合大会講演論文集，1994年

【非特許文献2】山田諄，紫藤進，津田紀生，上田正，「半導体レーザの自己結合効果を利用した小型距離計に関する研究」，愛知工業大学研究報告，第31号B，p.35-42，1996年

【非特許文献3】Guido Giuliani, Michele Norgia, Silvano Donati and Thierry Bosch, 「Laser diode self-mixing technique for sensing applications」, JOURNAL OF OPTICS A: PURE AND APPLIED OPTICS, p. 283 - 294, 2002年

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

特許文献1に開示された距離・速度計によれば、測定対象との距離と測定対象の速度を同時に計測することができる。しかしながら、この距離・速度計では、距離や速度を測定するために、例えば第1の発振期間t-1と第2の発振期間tと第1の発振期間t+1の少なくとも3回にわたってMHPの数を数える必要があり、測定に要する時間が長いという問題点があった。

【0014】

本発明は、上記課題を解決するためになされたもので、光の干渉を利用して静止した測定対象との距離だけでなく、測定対象の速度も計測することができる距離・速度計および距離・速度計測方法において、測定時間を短縮することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明の距離・速度計は、測定対象に第1のレーザ光を放射する第1の半導体レーザと、前記測定対象に前記第1のレーザ光と平行に第2のレーザ光を放射する第2の半導体レーザと、少なくとも発振波長が連続的に単調増加する発振期間が繰り返し存在するように前記第1の半導体レーザを動作させる第1のレーザドライバと、前記第1の半導体レーザと発振波長の増減が逆になるように前記第2の半導体レーザを動作させる第2のレーザドライバと、前記第1のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光とを電気信号に変換する第1の受光器と、前記第2のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光とを電気信号に変換する第2の受光器と、前記第1、第2の受光器の出力信号に含まれる、前記第1、第2のレーザ光とその戻り光とによって生じる干渉波形の数を、前記第1、第2の受光器の出力信号の各々について数える計数手段と、前記第1、第2の半導体レーザの最小発振波長及び最大発振波長と前記計数手段の計数結果とから前記測定対象と

の距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を算出する演算手段とを有し、前記計数手段は、前記発振期間よりも短い第1の計数期間において、前記第1、第2の半導体レーザのうち発振波長が増加している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の数を数えると同時に、前記第1の計数期間と同じ時刻の第2の計数期間において、前記第1、第2の半導体レーザのうち発振波長が減少している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の数を数えるカウンタと、前記第1の計数期間において前記発振波長が増加している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定すると同時に、前記第2の計数期間において前記発振波長が減少している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定する周期測定手段と、この周期測定手段の測定結果から前記第1、第2の計数期間中の干渉波形の周期の度数分布を、前記第1、第2の計数期間の各々について作成する度数分布作成手段と、前記度数分布から前記干渉波形の周期の中央値を、前記第1、第2の計数期間の各々について算出する中央値算出手段と、前記度数分布から、前記中央値の第1の所定数倍以下である階級の度数の総和 N_s と、前記中央値の第2の所定数倍以上である階級の度数の総和 N_w とを求め、これらの度数 N_s と N_w に基づいて前記カウンタの計数結果を、前記第1、第2の計数期間の各々について補正する補正值算出手段と、前記周期測定手段の測定結果から前記干渉波形の周期の総和を、前記第1、第2の計数期間の各々について算出する周期和算出手段と、前記補正值算出手段で補正された計数結果と前記周期和算出手段で算出された周期の総和とから、単位時間当たりの前記干渉波形の数を前記第1、第2の計数期間の各々について算出する個数算出手段とからなり、前記演算手段は、前記第1、第2の半導体レーザの最小発振波長と最大発振波長と前記計数手段の計数結果に基づいて前記測定対象との距離の候補値と前記測定対象の速度の候補値とを算出する距離・速度算出手段と、この距離・速度算出手段で算出された速度の候補値に基づいて前記測定対象の状態を判定する状態判定手段と、この状態判定手段の判定結果に基づいて前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を確定する距離・速度確定手段とからなることを特徴とするものである。

また、本発明の距離・速度計は、測定対象に第1のレーザ光を放射する第1の半導体レーザと、前記測定対象に前記第1のレーザ光と平行に第2のレーザ光を放射する第2の半導体レーザと、少なくとも発振波長が連続的に単調増加する発振期間が繰り返し存在するように前記第1の半導体レーザを動作させる第1のレーザドライバと、前記第1の半導体レーザと発振波長の増減が逆になるように前記第2の半導体レーザを動作させる第2のレーザドライバと、前記第1の半導体レーザの光出力を電気信号に変換する第1の受光器と、前記第2の半導体レーザの光出力を電気信号に変換する第2の受光器と、前記第1、第2の受光器の出力信号に含まれる、前記第1、第2のレーザ光とその戻り光との自己結合効果によって生じる干渉波形の数を、前記第1、第2の受光器の出力信号の各々について数える計数手段と、前記第1、第2の半導体レーザの最小発振波長及び最大発振波長と前記計数手段の計数結果とから前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を算出する演算手段とを有し、前記計数手段は、前記発振期間よりも短い第1の計数期間において、前記第1、第2の半導体レーザのうち発振波長が増加している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の数を数えると同時に、前記第1の計数期間と同じ時刻の第2の計数期間において、前記第1、第2の半導体レーザのうち発振波長が減少している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の数を数えるカウンタと、前記第1の計数期間において前記発振波長が増加している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定すると同時に、前記第2の計数期間において前記発振波長が減少している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定する周期測定手段と、この周期測定手段の測定結果から前記第1、第2の計数期間中の干渉波形の周期の度数分布を、前記第1、第2の計数期間の各々について作成する度数分布作成手段と、前記度数分布から前記干渉波形の周期の中央値を、前記第

10

20

30

40

50

1、第2の計数期間の各々について算出する中央値算出手段と、前記度数分布から、前記中央値の第1の所定数倍以下である階級の度数の総和 N_s と、前記中央値の第2の所定数倍以上である階級の度数の総和 N_w とを求め、これらの度数 N_s と N_w に基づいて前記カウンタの計数結果を、前記第1、第2の計数期間の各々について補正する補正值算出手段と、前記周期測定手段の測定結果から前記干渉波形の周期の総和を、前記第1、第2の計数期間の各々について算出する周期和算出手段と、前記補正值算出手段で補正された計数結果と前記周期和算出手段で算出された周期の総和とから、単位時間当たりの前記干渉波形の数を前記第1、第2の計数期間の各々について算出する個数算出手段とからなり、前記演算手段は、前記第1、第2の半導体レーザの最小発振波長と最大発振波長と前記計数手段の計数結果に基づいて前記測定対象との距離の候補値と前記測定対象の速度の候補値とを算出する距離・速度算出手段と、この距離・速度算出手段で算出された速度の候補値に基づいて前記測定対象の状態を判定する状態判定手段と、この状態判定手段の判定結果に基づいて前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を確定する距離・速度確定手段とからなることを特徴とするものである。

10

【0016】

また、本発明の距離・速度計は、測定対象に第1のレーザ光を放射する第1の半導体レーザと、前記測定対象に前記第1のレーザ光と平行に第2のレーザ光を放射する第2の半導体レーザと、少なくとも発振波長が連続的に単調増加する発振期間が繰り返し存在するように前記第1の半導体レーザを動作させる第1のレーザドライバと、前記第1の半導体レーザと発振波長の増減が逆になるように前記第2の半導体レーザを動作させる第2のレーザドライバと、前記第1のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光とを電気信号に変換する第1の受光器と、前記第2のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光とを電気信号に変換する第2の受光器と、前記第1、第2の受光器の出力信号に含まれる、前記第1、第2のレーザ光とその戻り光とによって生じる干渉波形の数を、前記第1、第2の受光器の出力信号の各々について数える計数手段と、前記第1、第2の半導体レーザの最小発振波長及び最大発振波長と前記計数手段の計数結果とから前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を算出する演算手段とを有し、前記計数手段は、前記発振期間よりも短い第1の計数期間において、前記第1、第2の半導体レーザのうち発振波長が増加している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる一定個数の前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定すると同時に、前記第1の計数期間と同じ時刻の第2の計数期間において、前記第1、第2の半導体レーザのうち発振波長が減少している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる一定個数の前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定する周期測定手段と、この周期測定手段の測定結果から前記干渉波形の周期の度数分布を、前記第1、第2の計数期間の各々について作成する度数分布作成手段と、前記度数分布から前記干渉波形の周期の中央値を、前記第1、第2の計数期間の各々について算出する中央値算出手段と、前記度数分布から、前記中央値の第1の所定数倍以下である階級の度数の総和 N_s と、前記中央値の第2の所定数倍以上である階級の度数の総和 N_w とを求め、これらの度数 N_s と N_w に基づいて前記一定個数を、前記第1、第2の計数期間の各々について補正する補正值算出手段と、前記周期測定手段の測定結果から前記干渉波形の周期の総和を、前記第1、第2の計数期間の各々について算出する周期和算出手段と、前記補正值算出手段で補正された干渉波形の数と前記周期和算出手段で算出された周期の総和とから、単位時間当たりの前記干渉波形の数を前記第1、第2の計数期間の各々について算出する個数算出手段とからなり、前記演算手段は、前記第1、第2の半導体レーザの最小発振波長と最大発振波長と前記計数手段の計数結果に基づいて前記測定対象との距離の候補値と前記測定対象の速度の候補値とを算出する距離・速度算出手段と、この距離・速度算出手段で算出された速度の候補値に基づいて前記測定対象の状態を判定する状態判定手段と、この状態判定手段の判定結果に基づいて前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を確定する距離・速度確定手段とからなることを特徴とするものである。

20

30

40

また、本発明の距離・速度計は、測定対象に第1のレーザ光を放射する第1の半導体レ

50

ーザと、前記測定対象に前記第 1 のレーザー光と平行に第 2 のレーザー光を放射する第 2 の半導体レーザーと、少なくとも発振波長が連続的に単調増加する発振期間が繰り返し存在するように前記第 1 の半導体レーザーを動作させる第 1 のレーザードライバと、前記第 1 の半導体レーザーと発振波長の増減が逆になるように前記第 2 の半導体レーザーを動作させる第 2 のレーザードライバと、前記第 1 の半導体レーザーの光出力を電気信号に変換する第 1 の受光器と、前記第 2 の半導体レーザーの光出力を電気信号に変換する第 2 の受光器と、前記第 1、第 2 の受光器の出力信号に含まれる、前記第 1、第 2 のレーザー光とその戻り光との自己結合効果によって生じる干渉波形の数を、前記第 1、第 2 の受光器の出力信号の各々について数える計数手段と、前記第 1、第 2 の半導体レーザーの最小発振波長及び最大発振波長と前記計数手段の計数結果とから前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を算出する演算手段とを有し、前記計数手段は、前記発振期間よりも短い第 1 の計数期間において、前記第 1、第 2 の半導体レーザーのうち発振波長が増加している半導体レーザーに対応する受光器の出力信号に含まれる一定個数の前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定すると同時に、前記第 1 の計数期間と同じ時刻の第 2 の計数期間において、前記第 1、第 2 の半導体レーザーのうち発振波長が減少している半導体レーザーに対応する受光器の出力信号に含まれる一定個数の前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定する周期測定手段と、この周期測定手段の測定結果から前記干渉波形の周期の度数分布を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について作成する度数分布作成手段と、前記度数分布から前記干渉波形の周期の中央値を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する中央値算出手段と、前記度数分布から、前記中央値の第 1 の所定数倍以下である階級の度数の総和 N_s と、前記中央値の第 2 の所定数倍以上である階級の度数の総和 N_w とを求め、これらの度数 N_s と N_w に基づいて前記一定個数を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について補正する補正值算出手段と、前記周期測定手段の測定結果から前記干渉波形の周期の総和を、前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する周期和算出手段と、前記補正值算出手段で補正された干渉波形の数と前記周期和算出手段で算出された周期の総和とから、単位時間当たりの前記干渉波形の数を前記第 1、第 2 の計数期間の各々について算出する個数算出手段とからなり、前記演算手段は、前記第 1、第 2 の半導体レーザーの最小発振波長と最大発振波長と前記計数手段の計数結果に基づいて前記測定対象との距離の候補値と前記測定対象の速度の候補値とを算出する距離・速度算出手段と、この距離・速度算出手段で算出された速度の候補値に基づいて前記測定対象の状態を判定する状態判定手段と、この状態判定手段の判定結果に基づいて前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を確定する距離・速度確定手段とからなることを特徴とするものである。

【 0 0 1 8 】

また、本発明の距離・速度計の 1 構成例において、前記距離・速度算出手段は、前記測定対象が微小変位状態にあると仮定した場合について第 1 の計数期間の計数結果と 1 回後の第 2 の計数期間の計数結果とから速度の第 1 の候補値と距離の第 1 の候補値とを算出すると共に、これらの第 1 の候補値を算出した第 1 の計数期間と同時刻の第 2 の計数結果の計数結果と前記第 1 の候補値を算出した第 2 の計数期間と同時刻の第 1 の計数期間の計数結果とから速度の第 2 の候補値と距離の第 2 の候補値とを算出し、前記測定対象が前記微小変位状態よりも動きが急な変位状態にあると仮定した場合について第 1 の計数期間の計数結果と 1 回後の第 2 の計数期間の計数結果とから速度の第 3 の候補値と距離の第 3 の候補値とを算出すると共に、これらの第 3 の候補値を算出した第 1 の計数期間と同時刻の第 2 の計数結果の計数結果と前記第 3 の候補値を算出した第 2 の計数期間と同時刻の第 1 の計数期間の計数結果とから速度の第 4 の候補値と距離の第 4 の候補値とを算出し、前記状態判定手段は、前記速度の第 1 の候補値と第 2 の候補値とが略等しい場合、前記測定対象が微小変位状態にあると判定し、前記速度の第 3 の候補値と第 4 の候補値とが略等しい場合、前記測定対象が変位状態にあると判定するものである。

【 0 0 2 2 】

また、本発明の距離・速度計の 1 構成例において、前記計数手段は、前記第 1、第 2 の

受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の数を、前記第 1、第 2 の受光器の出力信号の各々について数えるカウンタと、前記干渉波形の数を数える計数期間中の前記干渉波形の周期を、前記第 1、第 2 の受光器の出力信号の各々について前記干渉波形が入力される度に測定する周期測定手段と、この周期測定手段の測定結果から前記計数期間中の干渉波形の周期の度数分布を、前記第 1、第 2 の受光器の出力信号の各々について作成する度数分布作成手段と、前記度数分布から前記干渉波形の周期の中央値を、前記第 1、第 2 の受光器の出力信号の各々について算出する中央値算出手段と、前記度数分布から、前記中央値の第 1 の所定数倍以下である階級の度数の総和 N_s と、前記中央値の第 2 の所定数倍以上である階級の度数の総和 N_w とを求め、これらの度数 N_s と N_w に基づいて前記カウンタの計数結果を、前記第 1、第 2 の受光器の出力信号の各々について補正する補正值算出手段と、前記周期測定手段の測定結果から前記干渉波形の周期の総和を、前記第 1、第 2 の受光器の出力信号の各々について算出する周期和算出手段と、前記補正值算出手段で補正された計数結果と前記周期和算出手段で算出された周期の総和とから、単位時間当たりの前記干渉波形の数を前記第 1、第 2 の受光器の出力信号の各々について算出する個数算出手段とからなるものである。

10

【 0 0 2 3 】

また、本発明の距離・速度計の 1 構成例において、前記計数手段は、前記第 1、第 2 の受光器の出力信号に含まれる一定個数の前記干渉波形の周期を、前記第 1、第 2 の受光器の出力信号の各々について前記干渉波形が入力される度に測定する周期測定手段と、この周期測定手段の測定結果から前記干渉波形の周期の度数分布を、前記第 1、第 2 の受光器の出力信号の各々について作成する度数分布作成手段と、前記度数分布から前記干渉波形の周期の中央値を、前記第 1、第 2 の受光器の出力信号の各々について算出する中央値算出手段と、前記度数分布から、前記中央値の第 1 の所定数倍以下である階級の度数の総和 N_s と、前記中央値の第 2 の所定数倍以上である階級の度数の総和 N_w とを求め、これらの度数 N_s と N_w に基づいて前記一定個数を、前記第 1、第 2 の受光器の出力信号の各々について補正する補正值算出手段と、前記周期測定手段の測定結果から前記干渉波形の周期の総和を、前記第 1、第 2 の受光器の出力信号の各々について算出する周期和算出手段と、前記補正值算出手段で補正された干渉波形の数と前記周期和算出手段で算出された周期の総和とから、単位時間当たりの前記干渉波形の数を前記第 1、第 2 の受光器の出力信号の各々について算出する個数算出手段とからなるものである。

20

30

【 0 0 2 9 】

また、本発明の距離・速度計測方法は、少なくとも発振波長が連続的に単調増加する発振期間が繰り返し存在するように第 1 の半導体レーザを動作させる第 1 の発振手順と、前記第 1 の半導体レーザと発振波長の増減が逆になるように第 2 の半導体レーザを動作させる第 2 の発振手順と、前記第 1 の半導体レーザから放射された第 1 のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光とを電気信号に変換する第 1 の受光器の出力信号に含まれる、前記第 1 のレーザ光とその戻り光とによって生じる干渉波形の数を数えると共に、前記第 2 の半導体レーザから放射された第 2 のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光とを電気信号に変換する第 2 の受光器の出力信号に含まれる、前記第 2 のレーザ光とその戻り光とによって生じる干渉波形の数を数える計数手順と、前記第 1、第 2 の半導体レーザの最小発振波長及び最大発振波長と前記計数手順の計数結果とから前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を算出する演算手順とを備え、前記計数手順は、前記発振期間よりも短い第 1 の計数期間において、前記第 1、第 2 の半導体レーザのうち発振波長が増加している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の数を数えると同時に、前記第 1 の計数期間と同じ時刻の第 2 の計数期間において、前記第 1、第 2 の半導体レーザのうち発振波長が減少している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の数を数える干渉波形カウント手順と、前記第 1 の計数期間において前記発振波長が増加している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定すると同時に、前記第 2 の計数期間において前記発振波長が減少している半導体レーザに対応する

40

50

受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定する周期測定手順と、この周期測定手順の測定結果から前記第1、第2の計数期間中の干渉波形の周期の度数分布を、前記第1、第2の計数期間の各々について作成する度数分布作成手順と、前記度数分布から前記干渉波形の周期の中央値を、前記第1、第2の計数期間の各々について算出する中央値算出手順と、前記度数分布から、前記中央値の第1の所定数倍以下である階級の度数の総和 N_s と、前記中央値の第2の所定数倍以上である階級の度数の総和 N_w とを求め、これらの度数 N_s と N_w に基づいて前記干渉波形カウント手順の計数結果を、前記第1、第2の計数期間の各々について補正する補正值算出手順と、前記周期測定手順の測定結果から前記干渉波形の周期の総和を、前記第1、第2の計数期間の各々について算出する周期和算出手順と、前記補正值算出手順で補正された計数結果と前記周期和算出手順で算出された周期の総和とから、単位時間当たりの前記干渉波形の数を前記第1、第2の計数期間の各々について算出する個数算出手順とからなり、前記演算手順は、前記第1、第2の半導体レーザの最小発振波長と最大発振波長と前記計数手順の計数結果に基づいて前記測定対象との距離の候補値と前記測定対象の速度の候補値とを算出する距離・速度算出手順と、この距離・速度算出手順で算出された速度の候補値に基づいて前記測定対象の状態を判定する状態判定手順と、この状態判定手順の判定結果に基づいて前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を確定する距離・速度確定手順とからなることを特徴とするものである。

また、本発明の距離・速度計測方法は、少なくとも発振波長が連続的に単調増加する発振期間が繰り返し存在するように第1の半導体レーザを動作させる第1の発振手順と、前記第1の半導体レーザと発振波長の増減が逆になるように第2の半導体レーザを動作させる第2の発振手順と、前記第1の半導体レーザの光出力を電気信号に変換する第1の受光器の出力信号に含まれる、前記第1の半導体レーザから放射された第1のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光との自己結合効果によって生じる干渉波形の数を数えると共に、前記第2の半導体レーザの光出力を電気信号に変換する第2の受光器の出力信号に含まれる、前記第2の半導体レーザから放射された第2のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光との自己結合効果によって生じる干渉波形の数を数える計数手順と、前記第1、第2の半導体レーザの最小発振波長及び最大発振波長と前記計数手順の計数結果とから前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を算出する演算手順とを備え、前記計数手順は、前記発振期間よりも短い第1の計数期間において、前記第1、第2の半導体レーザのうち発振波長が増加している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の数を数えると同時に、前記第1の計数期間と同じ時刻の第2の計数期間において、前記第1、第2の半導体レーザのうち発振波長が減少している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の数を数える干渉波形カウント手順と、前記第1の計数期間において前記発振波長が増加している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定すると同時に、前記第2の計数期間において前記発振波長が減少している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定する周期測定手順と、この周期測定手順の測定結果から前記第1、第2の計数期間中の干渉波形の周期の度数分布を、前記第1、第2の計数期間の各々について作成する度数分布作成手順と、前記度数分布から前記干渉波形の周期の中央値を、前記第1、第2の計数期間の各々について算出する中央値算出手順と、前記度数分布から、前記中央値の第1の所定数倍以下である階級の度数の総和 N_s と、前記中央値の第2の所定数倍以上である階級の度数の総和 N_w とを求め、これらの度数 N_s と N_w に基づいて前記干渉波形カウント手順の計数結果を、前記第1、第2の計数期間の各々について補正する補正值算出手順と、前記周期測定手順の測定結果から前記干渉波形の周期の総和を、前記第1、第2の計数期間の各々について算出する周期和算出手順と、前記補正值算出手順で補正された計数結果と前記周期和算出手順で算出された周期の総和とから、単位時間当たりの前記干渉波形の数を前記第1、第2の計数期間の各々について算出する個数算出手順とからなり、前記演算手順は、前記第1、第2の半導体レーザの最小発振波長と最大発振

10

20

30

40

50

波長と前記計数手順の計数結果に基づいて前記測定対象との距離の候補値と前記測定対象の速度の候補値とを算出する距離・速度算出手順と、この距離・速度算出手順で算出された速度の候補値に基づいて前記測定対象の状態を判定する状態判定手順と、この状態判定手順の判定結果に基づいて前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を確定する距離・速度確定手順とからなることを特徴とするものである。

【 0 0 3 0 】

また、本発明の距離・速度計測方法は、少なくとも発振波長が連続的に単調増加する発振期間が繰り返し存在するように第1の半導体レーザを動作させる第1の発振手順と、前記第1の半導体レーザと発振波長の増減が逆になるように第2の半導体レーザを動作させる第2の発振手順と、前記第1の半導体レーザから放射された第1のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光とを電気信号に変換する第1の受光器の出力信号に含まれる、前記第1のレーザ光とその戻り光とによって生じる干渉波形の数を数えると共に、前記第2の半導体レーザから放射された第2のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光とを電気信号に変換する第2の受光器の出力信号に含まれる、前記第2のレーザ光とその戻り光とによって生じる干渉波形の数を数える計数手順と、前記第1、第2の半導体レーザの最小発振波長及び最大発振波長と前記計数手順の計数結果とから前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を算出する演算手順とを備え、前記計数手順は、前記発振期間よりも短い第1の計数期間において、前記第1、第2の半導体レーザのうち発振波長が増加している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる一定個数の前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定すると同時に、前記第1の計数期間と同じ時刻の第2の計数期間において、前記第1、第2の半導体レーザのうち発振波長が減少している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる一定個数の前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定する周期測定手順と、この周期測定手順の測定結果から前記干渉波形の周期の度数分布を、前記第1、第2の計数期間の各々について作成する度数分布作成手順と、前記度数分布から前記干渉波形の周期の中央値を、前記第1、第2の計数期間の各々について算出する中央値算出手順と、前記度数分布から、前記中央値の第1の所定数倍以下である階級の度数の総和 N_s と、前記中央値の第2の所定数倍以上である階級の度数の総和 N_w とを求め、これらの度数 N_s と N_w に基づいて前記一定個数を、前記第1、第2の計数期間の各々について補正する補正值算出手順と、前記周期測定手順の測定結果から前記干渉波形の周期の総和を、前記第1、第2の計数期間の各々について算出する周期和算出手順と、前記補正值算出手順で補正された干渉波形の数と前記周期和算出手順で算出された周期の総和とから、単位時間当たりの前記干渉波形の数を前記第1、第2の計数期間の各々について算出する個数算出手順とからなり、前記演算手順は、前記第1、第2の半導体レーザの最小発振波長と最大発振波長と前記計数手順の計数結果に基づいて前記測定対象との距離の候補値と前記測定対象の速度の候補値とを算出する距離・速度算出手順と、この距離・速度算出手順で算出された速度の候補値に基づいて前記測定対象の状態を判定する状態判定手順と、この状態判定手順の判定結果に基づいて前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を確定する距離・速度確定手順とからなることを特徴とするものである。

また、本発明の距離・速度計測方法は、少なくとも発振波長が連続的に単調増加する発振期間が繰り返し存在するように第1の半導体レーザを動作させる第1の発振手順と、前記第1の半導体レーザと発振波長の増減が逆になるように第2の半導体レーザを動作させる第2の発振手順と、前記第1の半導体レーザの光出力を電気信号に変換する第1の受光器の出力信号に含まれる、前記第1の半導体レーザから放射された第1のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光との自己結合効果によって生じる干渉波形の数を数えると共に、前記第2の半導体レーザの光出力を電気信号に変換する第2の受光器の出力信号に含まれる、前記第2の半導体レーザから放射された第2のレーザ光とこのレーザ光の前記測定対象からの戻り光との自己結合効果によって生じる干渉波形の数を数える計数手順と、前記第1、第2の半導体レーザの最小発振波長及び最大発振波長と前記計数手順の計数結果とから前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を算出

10

20

30

40

50

する演算手順とを備え、前記計数手順は、前記発振期間よりも短い第1の計数期間において、前記第1、第2の半導体レーザのうち発振波長が増加している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる一定個数の前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定すると同時に、前記第1の計数期間と同じ時刻の第2の計数期間において、前記第1、第2の半導体レーザのうち発振波長が減少している半導体レーザに対応する受光器の出力信号に含まれる一定個数の前記干渉波形の周期を干渉波形が入力される度に測定する周期測定手順と、この周期測定手順の測定結果から前記干渉波形の周期の度数分布を、前記第1、第2の計数期間の各々について作成する度数分布作成手順と、前記度数分布から前記干渉波形の周期の中央値を、前記第1、第2の計数期間の各々について算出する中央値算出手順と、前記度数分布から、前記中央値の第1の所定数倍以下である階級の度数の総和 N_s と、前記中央値の第2の所定数倍以上である階級の度数の総和 N_w とを求め、これらの度数 N_s と N_w に基づいて前記一定個数を、前記第1、第2の計数期間の各々について補正する補正值算出手順と、前記周期測定手順の測定結果から前記干渉波形の周期の総和を、前記第1、第2の計数期間の各々について算出する周期和算出手順と、前記補正值算出手順で補正された干渉波形の数と前記周期和算出手順で算出された周期の総和とから、単位時間当たりの前記干渉波形の数を前記第1、第2の計数期間の各々について算出する個数算出手順とからなり、前記演算手順は、前記第1、第2の半導体レーザの最小発振波長と最大発振波長と前記計数手順の計数結果に基づいて前記測定対象との距離の候補値と前記測定対象の速度の候補値とを算出する距離・速度算出手順と、この距離・速度算出手順で算出された速度の候補値に基づいて前記測定対象の状態を判定する状態判定手順と、この状態判定手順の判定結果に基づいて前記測定対象との距離及び前記測定対象の速度の少なくとも一方を確定する距離・速度確定手順とからなることを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0031】

干渉型の距離計は、距離を測定する際、測定対象が静止していることが絶対条件であるため、速度を持つ測定対象との距離は測定できない。これに対して、本発明では、静止していない測定対象との距離も測定できる。つまり、本発明によれば、測定対象の速度（大きさ、方向）と距離を同時に測定することができる。また、本発明では、発振波長の増減が逆になる第1、第2の半導体レーザから互いに平行なレーザ光を測定対象に同時に放射させ、第1、第2の受光器の出力信号に含まれる干渉波形の数を第1、第2の受光器の出力信号の各々について数えることにより、従来よりも短い時間で距離と速度を測定することができる。

【0032】

また、本発明では、速度の候補値に基づいて測定対象の状態を判定できない場合に、履歴変位算出手段の算出結果を用いることにより、測定対象の状態を判定して、測定対象との距離及び測定対象の速度を算出することができる。

【0033】

また、本発明では、計数期間中の干渉波形の周期を測定し、この測定結果から計数期間中の干渉波形の周期の度数分布を作成し、度数分布から干渉波形の周期の中央値を算出し、度数分布から、中央値の第1の所定数倍以下である階級の度数の総和 N_s と、中央値の第2の所定数倍以上である階級の度数の総和 N_w とを求め、これらの度数 N_s と N_w に基づいて計数手段の計数結果を補正することにより、計数時の欠落や過剰な計数の影響を除去して、干渉波形の計数誤差を補正することができるので、距離及び速度の測定精度を向上させることができる。

【0034】

また、本発明では、計数手段で干渉波形の数を数える代わりに、第1、第2の受光器の出力信号に含まれる一定個数の干渉波形の周期を測定し、この測定結果から干渉波形の周期の度数分布を作成し、度数分布から干渉波形の周期の中央値を算出し、度数分布から、中央値の第1の所定数倍以下である階級の度数の総和 N_s と、中央値の第2の所定数倍以

上である階級の度数の総和 N_w とを求め、これらの度数 N_s と N_w に基づいて干渉波形の一定個数を補正することにより、単位時間当たりの干渉波形の数の測定誤差を低減することができ、距離及び速度の測定精度をさらに向上させることができる。

【0035】

また、本発明では、測定対象が微小変位状態にあると仮定した場合の速度の候補値と測定対象が変位状態にあると仮定した場合の速度の候補値のうち、状態判定手段の判定結果から距離・速度確定手段が真値でないと判断して採用しなかった方の速度の候補値が、距離・速度確定手段が真値であると判断して採用した方の距離の候補値に第1、第2の半導体レーザの波長変化率を掛けた値と略等しくなるように、第1、第2のレーザドライバから第1、第2の半導体レーザに供給される駆動電流のうち少なくとも一方の振幅を調整することにより、第1、第2の半導体レーザの波長変化量の絶対値を等しくすることができ、距離及び速度の測定精度を向上させることができる。

10

【0036】

また、本発明では、測定対象が微小変位状態にあると仮定した場合の速度又は距離の候補値と測定対象が変位状態にあると仮定した場合の速度又は距離の候補値のうち、状態判定手段の判定結果から距離・速度確定手段が真値であると判断して採用した方の速度又は距離の候補値が第1、第2の半導体レーザの波長変化が切り替わるタイミングの前後において連続性を保つように、第1、第2のレーザドライバから第1、第2の半導体レーザに供給される駆動電流のうち少なくとも一方の振幅を調整することにより、第1、第2の半導体レーザの波長変化量の絶対値を等しくすることができ、距離及び速度の測定精度を向上させることができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0037】

[第1の実施の形態]

本発明は、波長変調を用いたセンシングにおいて出射した波と対象物で反射した波の干渉信号をもとに距離を計測する手法である。したがって、自己結合型以外の光学式の干渉計、光以外の干渉計にも適用できる。半導体レーザの自己結合を用いる場合について、より具体的に説明すると、半導体レーザから測定対象にレーザ光を照射しつつ、レーザの発振波長を変化させると、発振波長が最小発振波長から最大発振波長まで変化する間（あるいは最大発振波長から最小発振波長まで変化する間）における測定対象の変位は、MHPの数に反映される。したがって、発振波長を変化させたときのMHPの数を調べることで測定対象の状態を検出することができる。以上が、干渉計の基本的な原理である。

30

【0038】

以下、本発明の第1の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。図1は本発明の第1の実施の形態となる距離・速度計の構成を示すブロック図である。図1の距離計は、測定対象11にレーザ光を放射する第1、第2の半導体レーザ1-1、1-2と、半導体レーザ1-1、1-2の光出力をそれぞれ電気信号に変換する第1、第2の受光器であるフォトダイオード2-1、2-2と、半導体レーザ1-1、1-2からの光をそれぞれ集光して測定対象11に照射すると共に、測定対象11からの戻り光を集光して半導体レーザ1-1、1-2に入射させるレンズ3-1、3-2と、半導体レーザ1-1、1-2に発振波長が連続的に増加する第1の発振期間と発振波長が連続的に減少する第2の発振期間とを交互に繰り返させる第1、第2のレーザドライバ4-1、4-2と、フォトダイオード2-1、2-2の出力電流をそれぞれ電圧に変換して増幅する電流-電圧変換増幅器5-1、5-2と、電流-電圧変換増幅器5-1、5-2の出力電圧から搬送波を除去するフィルタ回路6-1、6-2と、フィルタ回路6-1、6-2の出力電圧に含まれるMHPの数を数える計数装置7と、測定対象11との距離及び測定対象11の速度を算出する演算装置8と、演算装置8の算出結果を表示する表示装置9と、半導体レーザ1-1、1-2の駆動電流の振幅が適切になるようにレーザドライバ4-1、4-2を制御する振幅調整装置10とを有する。電流-電圧変換増幅器5-1、5-2とフィルタ回路6-1、6-2と計数装置7とは、計数手段を構成している。

40

50

【 0 0 3 9 】

以下、説明容易にするために、半導体レーザ 1 には、モードホッピング現象を持たない型 (V C S E L 型、 D F B レーザ型) のものが用いられているものと想定する。

【 0 0 4 0 】

レーザドライバ 4 - 1 , 4 - 2 は、時間に関して一定の変化率で増減を繰り返す三角波駆動電流を注入電流として半導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 に供給する。これにより、半導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 は、注入電流の大きさに比例して発振波長が一定の変化率で連続的に増加する第 1 の発振期間と発振波長が一定の変化率で連続的に減少する第 2 の発振期間とを交互に繰り返すように駆動される。このとき、レーザドライバ 4 - 1 , 4 - 2 は、半導体レーザ 1 - 1 と 1 - 2 とで発振波長の増減が逆になるように駆動電流を供給する。すなわち、半導体レーザ 1 - 1 と 1 - 2 は、発振波長の変化率の絶対値が同一で変化率の極性が逆になっている。したがって、半導体レーザ 1 - 1 の発振波長が最大値になったときに、半導体レーザ 1 - 2 の発振波長は最小値となり、半導体レーザ 1 - 1 の発振波長が最小値になったときに、半導体レーザ 1 - 2 の発振波長は最大値となる。

10

【 0 0 4 1 】

図 2 は半導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 の発振波長の時間変化を示す図である。図 2 において、L D 1 は半導体レーザ 1 - 1 の発振波形、L D 2 は半導体レーザ 1 - 2 の発振波形、P 1 は第 1 の発振期間、P 2 は第 2 の発振期間、 a は各期間における発振波長の最小値、 b は各期間における発振波長の最大値、 T は三角波の周期である。本実施の形態では、発振波長の最大値 b 及び発振波長の最小値 a はそれぞれ常に一定になされており、それらの差 $b - a$ も常に一定になされている。

20

【 0 0 4 2 】

半導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 から出射したレーザ光は、レンズ 3 - 1 , 3 - 2 によって集光され、測定対象 1 1 に入射する。このとき、半導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 のレーザ光は互いに平行に出射して測定対象 1 1 に入射する。測定対象 1 1 で反射された半導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 の光は、それぞれレンズ 3 - 1 , 3 - 2 によって集光され、半導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 に入射する。なお、レンズ 3 - 1 , 3 - 2 による集光は必須ではない。フォトダイオード 2 - 1 , 2 - 2 は、それぞれ半導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 の光出力を電流に変換する。電流 - 電圧変換増幅器 5 - 1 , 5 - 2 は、それぞれフォトダイオード 2 - 1 , 2 - 2 の出力電流を電圧に変換して増幅する。

30

【 0 0 4 3 】

フィルタ回路 6 - 1 , 6 - 2 は、変調波から重畳信号を抽出する機能を有するものである。図 3 (A)、図 3 (B) はそれぞれ電流 - 電圧変換増幅器 5 - 1 , 5 - 2 の出力電圧波形を模式的に示す図、図 3 (C)、図 3 (D) はそれぞれフィルタ回路 6 - 1 , 6 - 2 の出力電圧波形を模式的に示す図である。これらの図は、フォトダイオード 2 - 1 , 2 - 2 の出力に相当する図 3 (A)、図 3 (B) の波形 (変調波) から、図 2 の半導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 の発振波形 (搬送波) を除去して、図 3 (C)、図 3 (D) の M H P 波形 (重畳波) を抽出する過程を表している。

【 0 0 4 4 】

計数装置 7 は、フィルタ回路 6 - 1 , 6 - 2 の出力に含まれる、単位時間当たりの M H P の数をフィルタ回路 6 - 1 , 6 - 2 の各々について随時数える。図 4 は計数装置 7 の構成の 1 例を示すブロック図、図 5 は計数装置 7 の動作を示すフローチャートである。計数装置 7 は、切替スイッチ 7 0 と、周期測定部 7 1 - 1 , 7 1 - 2 と、変換部 7 2 - 1 , 7 2 - 2 とから構成される。

40

【 0 0 4 5 】

まず、計数装置 7 の切替スイッチ 7 0 は、切替時かどうかを判定し (図 5 ステップ S 1 0 0)、切替時であればフィルタ回路 6 - 1 , 6 - 2 の出力と周期測定部 7 1 - 1 , 7 1 - 2 との接続を入れ替える (ステップ S 1 0 1)。切替スイッチ 7 0 の切替時は、三角波の周期 T の $1 / 2$ の時間毎に生じる。すなわち、切替スイッチ 7 0 は、第 1 の発振期間 P 1 においてはフィルタ回路 6 - 1 の出力を周期測定部 7 1 - 1 の入力に接続して、フィル

50

タ回路 6 - 2 の出力を周期測定部 7 1 - 2 に接続し、第 2 の発振期間 P 2 においてはフィルタ回路 6 - 2 の出力を周期測定部 7 1 - 1 の入力に接続して、フィルタ回路 6 - 1 の出力を周期測定部 7 1 - 2 に接続する（ステップ S 1 0 1）。

【 0 0 4 6 】

つまり、周期測定部 7 1 - 1 には、フィルタ回路 6 - 1 又は 6 - 2 の出力のうち、発振波長が増加している方の半導体レーザ 1 - 1 又は 1 - 2 に対応する出力が常に入力され、周期測定部 7 1 - 2 には、フィルタ回路 6 - 1 又は 6 - 2 の出力のうち、発振波長が減少している方の半導体レーザ 1 - 1 又は 1 - 2 に対応する出力が常に入力されるようになっている。なお、現時点が第 1 の発振期間 P 1 か第 2 の発振期間 P 2 かはレーザドライバ 4 - 1 , 4 - 2 から通知されるようになっている。切替スイッチ 7 0 は、レーザドライバ 4 - 1 , 4 - 2 からの通知に応じて切替動作を行う。

10

【 0 0 4 7 】

周期測定部 7 1 - 1 は、第 1 の計数期間において切替スイッチ 7 0 からの入力の立ち上がりエッジの周期（すなわち、MHP の周期）を切替スイッチ 7 0 からの入力に立ち上がりエッジが発生する度に測定する（図 5 ステップ S 1 0 2）。同様に、周期測定部 7 1 - 2 は、第 2 の計数期間において切替スイッチ 7 0 からの入力の立ち上がりエッジの周期（MHP の周期）を切替スイッチ 7 0 からの入力に立ち上がりエッジが発生する度に測定する（ステップ S 1 0 2）。

【 0 0 4 8 】

ここで、図 6 (A) ~ 図 6 (D) を用いて第 1、第 2 の計数期間について説明する。図 6 (A)、図 6 (B) はそれぞれ電流 - 電圧変換増幅器 5 - 1 , 5 - 2 の出力電圧波形を模式的に示す図、図 6 (C)、図 6 (D) はそれぞれフィルタ回路 6 - 1 , 6 - 2 の出力電圧波形を模式的に示す図である。P n 1 , P n 2 , P n 3 , P n 4 , P n 5 , P n 6 , P n 7 , P n 8 は第 1 の計数期間、P m 1 , P m 2 , P m 3 , P m 4 , P m 5 , P m 6 , P m 7 , P m 8 は第 2 の計数期間、t 0 a , t 1 , t 2 , t 0 b , t 3 , t 4 , t 0 c , t 5 , t 6 , t 0 d , t 7 , t 8 は第 1 の計数期間 P n (P n 1 , P n 2 , P n 3 , P n 4 , P n 5 , P n 6 , P n 7 , P n 8) と第 2 の計数期間 P m (P m 1 , P m 2 , P m 3 , P m 4 , P m 5 , P m 6 , P m 7 , P m 8) の開始又は終了の時刻である。

20

【 0 0 4 9 】

図 6 (C)、図 6 (D) に示すように、第 1 の計数期間 P n (P n 1 , P n 2 , P n 3 , P n 4 , P n 5 , P n 6 , P n 7 , P n 8) は、フィルタ回路 6 - 1 又は 6 - 2 の出力のうち、発振波長が増加している方の半導体レーザ 1 - 1 又は 1 - 2 に対応する出力に対して設定され、第 2 の計数期間 P m (P m 1 , P m 2 , P m 3 , P m 4 , P m 5 , P m 6 , P m 7 , P m 8) は、フィルタ回路 6 - 1 又は 6 - 2 の出力のうち、発振波長が減少している方の半導体レーザ 1 - 1 又は 1 - 2 に対応する出力に対して設定される。

30

【 0 0 5 0 】

第 1 の計数期間 P n と第 2 の計数期間 P m は、第 1 の発振期間 P 1 及び第 2 の発振期間 P 2 の長さ、すなわち三角波の周期 T の 1 / 2 の時間よりも短いことが好ましい。また、第 1 の計数期間 P n とこれに対応する第 2 の計数期間 P m は、時刻が一致していることが必要である。ただし、第 1 の計数期間 P n 同士で時間が一部重なっていても構わないし、第 2 の計数期間 P m 同士で時間が一部重なっていても構わない。

40

【 0 0 5 1 】

周期測定部 7 1 - 1 , 7 1 - 2 に入力されるゲート信号 G S は、第 1 の計数期間 P n 及び第 2 の計数期間 P m の先頭で立ち上がり、第 1 の計数期間 P n 及び第 2 の計数期間 P m の終わりで立ち下がる信号である。なお、第 1 の計数期間 P n 及び第 2 の計数期間 P m は、三角波駆動電流が最大となる部分（発振期間 P 1 から P 2 へ切り替わる部分又は P 2 から P 1 へ切り替わる部分）を除いた期間に設定される。

【 0 0 5 2 】

次に、計数装置 7 の変換部 7 2 - 1 は、周期測定部 7 1 - 1 が測定した MHP の周期の平均値を第 1 の計数期間 P n 中の単位時間当たりの MHP の数 X（発振波長が増加してい

50

る方の半導体レーザの干渉波形の数)に変換し、変換部72-2は、周期測定部71-2が測定したMHPの周期の平均値を第2の計数期間Pm中の単位時間当たりのMHPの数Y(発振波長が減少している方の半導体レーザの干渉波形の数)に変換する(図5ステップS103)。MHPの平均周期をTs、三角波の周波数をfとすると、単位時間当たりのMHPの数は、 $\{2 / (f \times Ts)\}$ で計算することができる。このときの単位時間は、三角波の周期Tの1/2の時間である。

【0053】

計数装置7は、以上のような処理を第1、第2の計数期間Pn, Pm毎に行う。したがって、周期測定部71-1と変換部72-1の動作によってMHPの数Xが算出されると同時に、周期測定部71-2と変換部72-2の動作によってMHPの数Yが算出される、といったようにMHPの数XとYは同時に求められる。

10

【0054】

次に、演算装置8は、半導体レーザ1-1, 1-2の最小発振波長aと最大発振波長bとMHPの数X, Yに基づいて、測定対象11との距離及び測定対象11の速度を算出する。図7は演算装置8の構成の1例を示すブロック図、図8はこの演算装置8の動作を示すフローチャートである。演算装置8は、計数装置7によって算出されたMHPの数X, Y及び演算装置8の算出結果を記憶する記憶部80と、半導体レーザ1-1, 1-2の最小発振波長aと最大発振波長bとMHPの数X, Yに基づいて測定対象11との距離の候補値と測定対象11の速度の候補値とを算出する距離・速度算出部81と、距離・速度算出部81の算出結果に基づいて測定対象11の状態を判定する状態判定部82と、状態判定部82の判定結果に基づいて測定対象11の速度を確定する速度確定部83と、状態判定部82の判定結果に基づいて測定対象11との距離を確定する距離確定部84とから構成される。速度確定部83と距離確定部84とは、距離・速度確定手段を構成している。

20

【0055】

本実施の形態では、測定対象11の状態を所定の条件を満たす微小変位状態、あるいは微小変位状態よりも動きが大きい変位状態のいずれかであるとする。計数期間Pnと計数期間Pmの1期間あたりの測定対象11の平均変位をVとしたとき、微小変位状態とは $(b - a) / b > V / Lb$ を満たす状態であり、変位状態とは $(b - a) / b \leq V / Lb$ を満たす状態である。ただし、Lbは第1、第2の計数期間Pn, Pmの中間の時刻における測定対象11との距離である。

30

【0056】

まず、演算装置8の記憶部80は、計数装置7によって算出されたMHPの数X, Yを記憶する(図8ステップS201)。

続いて、演算装置8の距離・速度算出部81は、測定対象11の速度の候補値及び測定対象11との距離の候補値を算出して、算出した値を記憶部80に格納する(図8ステップS202)。

【0057】

距離・速度算出部81は、第1の計数期間PnにおけるMHPの数X(t)と次の時刻の第2の計数期間Pm+1におけるMHPの数Y(t+1)に基づく時刻tからt+1における速度の第1の候補値V₁(t, t+1)と、第2の計数期間PmにおけるMHPの数Y(t)と次の時刻の第1の計数期間Pn+1におけるMHPの数X(t+1)に基づく時刻tからt+1における速度の第2の候補値V₂(t, t+1)と、MHPの数X(t)とY(t+1)に基づく時刻tからt+1における速度の第3の候補値V₃(t, t+1)と、MHPの数Y(t)とX(t+1)に基づく時刻tからt+1における速度の第4の候補値V₄(t, t+1)とを次式のように算出して、記憶部80に格納する(ステップS202)。

40

$$V_1(t, t+1) = (X(t) - Y(t+1)) \times b / 4 \quad \dots (2)$$

$$V_2(t, t+1) = (Y(t) - X(t+1)) \times a / 4 \quad \dots (3)$$

$$V_3(t, t+1) = (X(t) + Y(t+1)) \times b / 4 \quad \dots (4)$$

50

$$V_4(t, t+1) = (Y(t) + X(t+1)) \times a / 4 \quad \dots (5)$$

【0058】

また、距離・速度算出部81は、第1の計数期間P_nにおけるMHPの数X(t)と同時刻の第2の計数期間P_mにおけるMHPの数Y(t)に基づく時刻t-1からtにおける速度の第5の候補値V₅(t)と第6の候補値V₆(t)とを次式のように算出して、記憶部80に格納する(ステップS202)。

$$V_5(t) = (X(t) - Y(t)) \times (a + b) / 8 \quad \dots (6)$$

$$V_6(t) = (X(t) + Y(t)) \times (a + b) / 8 \quad \dots (7)$$

【0059】

また、距離・速度算出部81は、第1の計数期間P_nにおけるMHPの数X(t)と次の時刻の第2の計数期間P_{m+1}におけるMHPの数Y(t+1)に基づく時刻tからt+1における距離の第1の候補値L₁(t, t+1)と、第2の計数期間P_mにおけるMHPの数Y(t)と次の時刻の第1の計数期間P_{n+1}におけるMHPの数X(t+1)に基づく時刻tからt+1における距離の第2の候補値L₂(t, t+1)と、MHPの数X(t)とY(t+1)に基づく時刻tからt+1における距離の第3の候補値L₃(t, t+1)と、MHPの数Y(t)とX(t+1)に基づく時刻tからt+1における距離の第4の候補値L₄(t, t+1)とを次式のように算出して、記憶部80に格納する(ステップS202)。

$$L_1(t, t+1) = a \times b (X(t) + Y(t+1)) / (4 \times (a - b)) \quad \dots (8)$$

$$L_2(t, t+1) = a \times b (Y(t) + X(t+1)) / (4 \times (a - b)) \quad \dots (9)$$

$$L_3(t, t+1) = a \times b (X(t) - Y(t+1)) / (4 \times (a - b)) \quad \dots (10)$$

$$L_4(t, t+1) = a \times b (Y(t) - X(t+1)) / (4 \times (a - b)) \quad \dots (11)$$

【0060】

さらに、距離・速度算出部81は、第1の計数期間P_nにおけるMHPの数X(t)と同時刻の第2の計数期間P_mにおけるMHPの数Y(t)に基づく時刻t-1からtにおける測定対象11との距離の第5の候補値L₅(t)と第6の候補値L₆(t)とを次式のように算出して、記憶部80に格納する(ステップS202)。

$$L_5(t) = a \times b (X(t) + Y(t)) / (4 \times (a - b)) \quad \dots (12)$$

$$L_6(t) = a \times b (X(t) - Y(t)) / (4 \times (a - b)) \quad \dots (13)$$

【0061】

式(2)～式(13)において、候補値V₁(t, t+1), V₂(t, t+1), V₅(t), L₁(t, t+1), L₂(t, t+1), L₅(t)は測定対象11が微小変位状態にあると仮定して計算した値であり、候補値V₃(t, t+1), V₄(t, t+1), V₆(t), L₃(t, t+1), L₄(t, t+1), L₆(t)は測定対象11が変位状態にあると仮定して計算した値である。

【0062】

時刻t+1は第1の計数期間P_{n+1}及び第2の計数期間P_{m+1}の終了時刻、時刻tはP_{n+1}, P_{m+1}の1回前の第1の計数期間P_n及び第2の計数期間P_mの終了時刻、時刻t-1はP_{n+1}, P_{m+1}の2回前の第1の計数期間P_{n-1}及び第2の計数期間P_{m-1}の終了時刻である。X(t+1)は第1の計数期間P_{n+1}におけるMHPの数、X(t)は第1の計数期間P_nにおけるMHPの数、Y(t+1)は第2の計数期間P_{m+1}におけるMHPの数、Y(t)は第2の計数期間P_mにおけるMHPの数である。

【0063】

10

20

30

40

50

例えば現時刻が $t + 1 = t_2$ とすれば、第 1 の計数期間 P_{n+1} は図 6 (C) の P_{n2} 、1 回前の第 1 の計数期間 P_n は P_{n1} であり、第 2 の計数期間 P_{m+1} は図 6 (D) の P_{m2} 、1 回前の第 2 の計数期間 P_m は P_{m1} である。また、現時刻が $t + 1 = t_3$ とすれば、第 1 の計数期間 P_{n+1} は P_{n3} 、1 回前の第 1 の計数期間 P_n は P_{n2} であり、第 2 の計数期間 P_{m+1} は P_{m3} 、1 回前の第 2 の計数期間 P_m は P_{m2} である。演算装置 8 は、式 (2) ~ 式 (13) の計算を計数装置 7 によって MHP の数が算出される時刻毎に行う。

【0064】

次に、演算装置 8 の状態判定部 82 は、記憶部 80 に記憶されている式 (2) ~ 式 (5) の算出結果を用いて、測定対象 11 の状態を判定する (図 8 ステップ S203)。状態判定部 82 は、 $V_1(t, t+1) = V_2(t, t+1)$ 、すなわち式 (2) と式 (3) の算出結果が等しい場合、測定対象 11 が微小変位状態にあると判定する。また、状態判定部 82 は、 $V_3(t, t+1) = V_4(t, t+1)$ 、すなわち式 (4) と式 (5) の算出結果が等しい場合、測定対象 11 が変位状態にあると判定する。なお、状態判定部 82 は、式 (2) の算出結果と式 (3) の算出結果との誤差が所定の誤差範囲内の場合、これらが等しいと判定する。式 (4) と式 (5) の算出結果が等しいかどうかについても、同様にして判定することができる。

【0065】

演算装置 8 の速度確定部 83 は、状態判定部 82 の判定結果に基づいて測定対象 11 の速度の絶対値を確定する (図 8 ステップ S204)。すなわち、速度確定部 83 は、測定対象 11 が微小変位状態にあると判定された場合、記憶部 80 に記憶されている速度の候補値 $V_1(t, t+1)$ と $V_2(t, t+1)$ との平均値を、時刻 $t - 1$ から $t + 1$ における測定対象 11 の速度の絶対値として確定する (ステップ S204)。

【0066】

また、速度確定部 83 は、測定対象 11 が変位状態にあると判定された場合、記憶部 80 に記憶されている速度の候補値 $V_3(t, t+1)$ と $V_4(t, t+1)$ との平均値を、時刻 $t - 1$ から $t + 1$ における測定対象 11 の速度の絶対値として確定する (ステップ S204)。

このように、式 (2) と式 (3) の算出結果の平均値、あるいは式 (4) と式 (5) の算出結果の平均値を用いることで、耐ノイズ性を向上させることができる。なお、耐ノイズ性には劣るが、速度確定部 83 は、測定対象 11 が微小変位状態にあると判定された場合、速度の候補値 $V_1(t, t+1)$ と $V_2(t, t+1)$ のいずれか一方を測定対象 11 の速度の絶対値として確定してもよいし、測定対象 11 が変位状態にあると判定された場合、速度の候補値 $V_3(t, t+1)$ と $V_4(t, t+1)$ のいずれか一方を測定対象 11 の速度の絶対値として確定してもよい。

【0067】

なお、速度確定部 83 は、測定対象 11 が微小変位状態にあると判定された場合、記憶部 80 に記憶されている速度の候補値 $V_5(t)$ を時刻 $t - 1$ から t における測定対象 11 の速度の絶対値として確定するようにしてもよい (ステップ S204)。また、速度確定部 83 は、測定対象 11 が変位状態にあると判定された場合、記憶部 80 に記憶されている速度の候補値 $V_6(t)$ を時刻 $t - 1$ から t における測定対象 11 の速度の絶対値として算出するようにしてもよい (ステップ S204)。

式 (2) ~ 式 (5) の算出結果を用いる場合よりも、式 (6) あるいは式 (7) を用いた方がより正確な速度を算出することができる。

【0068】

次に、速度確定部 83 は、以下の式 (14)、式 (15) を算出して、測定対象 11 の速度の方向を確定する (図 8 ステップ S205)。

$$X = X(t) + X(t+1) \quad \dots (14)$$

$$Y = Y(t) + Y(t+1) \quad \dots (15)$$

速度確定部 83 は、式 (14) の X と式 (15) の Y の大小を比較し、 Y よりも

X が大きい場合は測定対象 11 が距離・速度計に近づきつつあると判定し、X よりも Y が大きい場合は測定対象 11 が距離・速度計から遠ざかりつつあると判定する。

【0069】

なお、速度確定部 83 は、ステップ S204 において式(2)～式(5)の算出結果を用いる代わりに式(6)あるいは式(7)の算出結果を用いて速度の絶対値を確定する場合は、MHP の数 $X(t)$ と $Y(t)$ の大小を比較し、 $Y(t)$ よりも $X(t)$ が大きい場合は測定対象 11 が距離・速度計に近づきつつあると判定し、 $X(t)$ よりも $Y(t)$ が大きい場合は測定対象 11 が距離・速度計から遠ざかりつつあると判定する(ステップ S205)。

【0070】

次に、距離確定部 84 は、状態判定部 82 の判定結果に基づいて測定対象 11 との距離を確定する(図 8 ステップ S206)。すなわち、距離確定部 84 は、測定対象 11 が微小変位状態にあると判定された場合、記憶部 80 に記憶されている距離の候補値 $L_1(t, t+1)$ と $L_2(t, t+1)$ との平均値を、時刻 $t-1$ から $t+1$ における測定対象 11 との平均距離として確定する(ステップ S206)。

【0071】

また、距離確定部 84 は、測定対象 11 が変位状態にあると判定された場合、記憶部 80 に記憶されている距離の候補値 $L_3(t, t+1)$ と $L_4(t, t+1)$ との平均値を、時刻 $t-1$ から $t+1$ における測定対象 11 との平均距離として確定する(ステップ S206)。なお、耐ノイズ性には劣るが、距離確定部 84 は、測定対象 11 が微小変位状態にあると判定された場合、距離の候補値 $L_1(t, t+1)$ と $L_2(t, t+1)$ のいずれか一方を測定対象 11 との距離として確定してもよいし、測定対象 11 が変位状態にあると判定された場合、距離の候補値 $L_3(t, t+1)$ と $L_4(t, t+1)$ のいずれか一方を測定対象 11 との距離として確定してもよい。

【0072】

なお、距離確定部 84 は、測定対象 11 が微小変位状態にあると判定された場合、記憶部 80 に記憶されている距離の候補値 $L_5(t)$ を時刻 $t-1$ から t における測定対象 11 との平均距離として確定するようにしてもよい(ステップ S206)。また、距離確定部 84 は、測定対象 11 が変位状態にあると判定された場合、記憶部 80 に記憶されている距離の候補値 $L_6(t)$ を時刻 $t-1$ から t における測定対象 11 との平均距離として確定するようにしてもよい(ステップ S206)。

式(8)～式(11)の算出結果を用いる場合よりも、式(12)あるいは式(13)を用いた方がより正確な距離を算出することができる。

【0073】

演算装置 8 は、以上のようなステップ S201～S206 の処理を例えばユーザから計測終了の指示があるまで(図 8 ステップ S207 において YES)、計数装置 7 によって MHP の数が算出される時刻毎に行う。

表示装置 9 は、演算装置 8 によって算出された測定対象 11 との距離及び測定対象 11 の速度をリアルタイムで表示する。

【0074】

一方、振幅調整装置 10 は、演算装置 8 の状態判定部 82 の判定結果を用いて、半導体レーザ 1-1, 1-2 の三角波駆動電流の振幅が適切になるようにレーザドライバ 4-1, 4-2 を制御する。

【0075】

本実施の形態のように複数の半導体レーザ 1-1, 1-2 を用いる距離・速度計では、半導体レーザ 1-1, 1-2 の波長変化量の絶対値に差異が存在すると、測定値に誤差を生じる。図 9(A)～図 9(C)は半導体レーザ 1-1, 1-2 の波長変化の切り替わりに伴う MHP の数 X, Y の変化を説明するための図であり、図 9(A)は半導体レーザ 1-1, 1-2 の発振波長の時間変化を示す図、図 9(B)は半導体レーザ 1-1, 1-2 の波長変化量の絶対値が等しい場合の MHP の数 X, Y の変化を示す図、図 9(C)は半

10

20

30

40

50

導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 の波長変化量の絶対値に差異がある場合の M H P の数 X , Y の変化を示す図である。図 9 (A) ~ 図 9 (C) において、 $L D 1$ は半導体レーザ 1 - 1 の発振波形、 $L D 2$ は半導体レーザ 1 - 2 の発振波形、 $X 1$, $X 2$ はそれぞれ発振波長が増加している場合の半導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 の M H P の数、 $Y 1$, $Y 2$ はそれぞれ発振波長が減少している場合の半導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 の M H P の数である。

【 0 0 7 6 】

半導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 の波長変化量の絶対値が等しい場合、図 9 (B) に示すように半導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 の発振波長が増加から減少へ、あるいは減少から増加へ切り替わるタイミング $S W 1$, $S W 2$, $S W 3$ の前後においても M H P の数 X , Y の各々は連続性を保つが、半導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 の波長変化量の絶対値に差異が存在する

10

【 0 0 7 7 】

そこで、本実施の形態の振幅調整装置 1 0 は、演算装置 8 の距離・速度算出部 8 1 が算出した速度の候補値 $V 1(t, t+1)$, $V 2(t, t+1)$, $V 3(t, t+1)$, $V 4(t, t+1)$ のうち、状態判定部 8 2 の判定結果から速度確定部 8 3 が真値でないと判断して採用しなかった方の速度の候補値を用いて振幅調整を行う。測定対象 1 1 が微小変位状態で運動をしていると判定された場合、速度確定部 8 3 が採用しなかった方の速度の候補値は $V 3(t, t+1)$ と $V 4(t, t+1)$ との平均値であり、測定対象 1 1 が変位状態で運動をしていると判定された場合、速度確定部 8 3 が採用しなかった方の速度の候補値は $V 1(t, t+1)$ と $V 2(t, t+1)$ との平均値である。

20

【 0 0 7 8 】

振幅調整装置 1 0 は、速度確定部 8 3 が採用しなかった方の速度の候補値 $V 1(t, t+1)$ と $V 2(t, t+1)$ との平均値あるいは $V 3(t, t+1)$ と $V 4(t, t+1)$ との平均値が、距離確定部 8 4 が真値であると判断して採用した方の距離の候補値 $L 1(t, t+1)$ と $L 2(t, t+1)$ との平均値あるいは $L 3(t, t+1)$ と $L 4(t, t+1)$ との平均値に半導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 の波長変化率 $(b - a) / b$ を掛けた値と略等しくなるように、レーザドライバ 4 - 1 , 4 - 2 を通じて三角波駆動電流の振幅を調整する。このとき、レーザドライバ 4 - 1 から半導体レーザ 1 - 1 に供給する駆動電流とレーザドライバ 4 - 2 から半導体レーザ 1 - 2 に供給する

30

駆動電流の両方を振幅調整してもよいし、どちらか一方を調整してもよい。測定対象 1 1 が微小変位状態にあると判定された場合、距離確定部 8 4 が採用した方の距離の候補値は $L 1(t, t+1)$ と $L 2(t, t+1)$ との平均値であり、測定対象 1 1 が変位状態にあると判定された場合、距離確定部 8 4 が採用した方の距離の候補値は $L 3(t, t+1)$ と $L 4(t, t+1)$ との平均値である。

【 0 0 7 9 】

図 1 0 はレーザドライバ 4 - 1 , 4 - 2 から半導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 に供給される三角波駆動電流の振幅の調整方法を説明するための図である。振幅調整装置 1 0 からの指示に応じて、レーザドライバ 4 - 1 , 4 - 2 は、駆動電流の最大値を一定値 (図 1 0 の例では半導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 によって規定される駆動電流の上限値 $C L$) に固定した

40

まま、駆動電流の最小値を大きくするか或いは小さくすることで、駆動電流の振幅 $A M P$ を調整する。こうして、駆動電流の振幅を適切な値に設定することができる。

【 0 0 8 0 】

本実施の形態のように、三角波駆動電流の振幅を調整することにより、半導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 の波長変化量の絶対値を等しくすることができ、距離及び速度の測定誤差を低減することができる。

【 0 0 8 1 】

なお、速度確定部 8 3 が式 (2) ~ 式 (5) の算出結果を用いる代わりに式 (6) あるいは式 (7) の算出結果を用いて速度の絶対値を確定する場合、振幅調整装置 1 0 は、速度確定部 8 3 が真値でないと判断して採用しなかった方の速度の候補値 $V 5(t)$ がある

50

いは $V_6(t)$ が、距離確定部 84 が真値であると判断して採用した方の距離の候補値 $L_5(t)$ あるいは $L_6(t)$ に半導体レーザ 1-1, 1-2 の波長変化率 $(b-a)/b$ を掛けた値と略等しくなるように、三角波駆動電流の振幅を調整する。測定対象 11 が微小変位状態で運動をしていると判定された場合、速度確定部 83 が採用しなかった方の速度の候補値は $V_6(t)$ であり、測定対象 11 が変位状態で運動をしていると判定された場合、速度確定部 83 が採用しなかった方の速度の候補値は $V_5(t)$ である。測定対象 11 が微小変位状態にあると判定された場合、距離確定部 84 が採用した方の距離の候補値は $L_5(t)$ であり、測定対象 11 が変位状態にあると判定された場合、距離確定部 84 が採用した方の距離の候補値は $L_6(t)$ である。

【0082】

また、振幅調整装置 10 は、状態判定部 82 の判定結果から速度確定部 83 が真値であると判断して採用した方の速度の候補値 $V_1(t, t+1)$ と $V_2(t, t+1)$ との平均値あるいは $V_3(t, t+1)$ と $V_4(t, t+1)$ との平均値が、半導体レーザ 1-1, 1-2 の波長変化が切り替わるタイミングの前後において連続性を保つように、レーザドライバ 4-1, 4-2 を通じて三角波駆動電流の振幅を調整してもよい。また、速度確定部 83 が式(2)～式(5)の算出結果を用いる代わりに式(6)あるいは式(7)の算出結果を用いて速度の絶対値を確定する場合、振幅調整装置 10 は、速度確定部 83 が真値であると判断して採用した方の速度の候補値 $V_5(t)$ あるいは $V_6(t)$ が、半導体レーザ 1-1, 1-2 の波長変化が切り替わるタイミングの前後において連続性を保つように、三角波駆動電流の振幅を調整してもよい。

【0083】

なお、現時点が第 1 の発振期間 P1 か第 2 の発振期間 P2 かはレーザドライバ 4-1, 4-2 から通知され、半導体レーザ 1-1, 1-2 の波長変化が切り替わるタイミングもレーザドライバ 4-1, 4-2 から通知されるようになっている。振幅調整装置 10 は、レーザドライバ 4-1, 4-2 からの通知に応じて動作を行う。

【0084】

また、振幅調整装置 10 は、状態判定部 82 の判定結果から距離確定部 84 が真値であると判断して採用した方の距離の候補値 $L_1(t, t+1)$ と $L_2(t, t+1)$ との平均値あるいは $L_3(t, t+1)$ と $L_4(t, t+1)$ との平均値が、半導体レーザ 1-1, 1-2 の波長変化が切り替わるタイミングの前後において連続性を保つように、三角波駆動電流の振幅を調整してもよい。また、距離確定部 84 が式(8)～式(11)の算出結果を用いる代わりに式(12)あるいは式(13)の算出結果を用いて距離を確定する場合、振幅調整装置 10 は、距離確定部 84 が真値であると判断して採用した方の距離の候補値 $L_5(t)$ あるいは $L_6(t)$ が、半導体レーザ 1-1, 1-2 の波長変化が切り替わるタイミングの前後において連続性を保つように、三角波駆動電流の振幅を調整してもよい。

【0085】

半導体レーザ 1-1, 1-2 の波長変化が切り替わるタイミングの前後において速度あるいは距離の算出結果に連続性を持たせるには、例えば最小二乗法を用いればよい。また、振幅調整装置 10 は、図 11 に示すように、速度(あるいは距離)の算出結果を結んだ特性線 VL を半導体レーザ 1-1, 1-2 の波長変化が切り替わるタイミング SW の後まで延長し、この延長線に対する所定の範囲 ER 内に、タイミング SW の後の最初の速度(あるいは距離)の算出結果 VV が含まれるように、三角波駆動電流の振幅を調整してもよい。

【0086】

以上のように、本実施の形態では、半導体レーザ 1-1, 1-2 に発振波長が連続的に増加する第 1 の発振期間と発振波長が連続的に減少する第 2 の発振期間とを交互に繰り返させ、フォトダイオード 2-1, 2-2 の出力信号に含まれる MHP の数を、フォトダイオード 2-1 と 2-2 の各々について数え、この計数結果と半導体レーザ 1-1, 1-2 の最小発振波長 a と最大発振波長 b とから、測定対象 11 との距離及び測定対象 11

10

20

30

40

50

の速度を算出することができる。その結果、本実施の形態では、(a)装置を小型化することができ、(b)高速の回路が不要で、(c)外乱光に強く、(d)測定対象を選ばないといった従来の自己結合型のレーザ計測器の利点を活かしつつ、測定対象11との距離だけでなく、測定対象11の速度も計測することができる。また、本実施の形態によれば、測定対象11が等速度運動しているか等速度運動以外の運動をしているかを判定することができる。

【0087】

また、本実施の形態では、発振波長の増減が逆になる半導体レーザ1-1, 1-2から互いに平行なレーザ光を測定対象11に同時に放射させ、第1の発振期間及び第2の発振期間よりも短い第1の計数期間 P_n においてフォトダイオード2-1又は2-2の出力に含まれるMHPの数 X を求め、第1の計数期間 P_n と同じ時刻の第2の計数期間 P_m においてフォトダイオード2-2又は2-1の出力に含まれるMHPの数 Y を求めることにより、特許文献1に開示された距離・速度計よりも短い時間で距離と速度を測定することができる。特許文献1に開示された距離・速度計では、例えば第1の発振期間 $t-1$ と第2の発振期間 t と第1の発振期間 $t+1$ の少なくとも3回にわたってMHPの数を数える必要があるが、本実施の形態では、例えば第1の計数期間 P_{n1} 及び第2の計数期間 P_m でMHPの数 X, Y を1回数え、さらに第1の計数期間 P_{n2} 及び第2の計数期間 P_{m2} でMHPの数 X, Y を1回数えればよく、計2回にわたってMHPの数を数えることで距離と速度を求めることができる。

また、本実施の形態では、半導体レーザ1-1, 1-2の波長変化量の絶対値を等しくすることにより、距離及び速度の測定精度を向上させることができる。

【0088】

[第2の実施の形態]

次に、本発明の第2の実施の形態について説明する。本実施の形態においても、距離・速度計の全体の構成は第1の実施の形態と同様であるので、図1の符号を用いて説明する。図12は本発明の第2の実施の形態における計数装置7の構成の1例を示すブロック図、図13はこの計数装置7の動作を示すフローチャートである。本実施の形態の計数装置7は、切替スイッチ70aと、判定部73-1, 73-2と、論理積演算部(AND)74-1, 74-2と、カウンタ75-1, 75-2と、計数結果補正部76-1, 76-2と、記憶部77と、周期和算出部78-1, 78-2と、個数算出部79-1, 79-2とから構成される。

【0089】

図14は計数結果補正部76-1の構成の1例を示すブロック図である。計数結果補正部76-1は、周期測定部760と、度数分布作成部761と、中央値算出部762と、補正值算出部763とから構成される。計数結果補正部76-2の構成は、計数結果補正部76-1と同じなので、説明は省略する。

【0090】

図15(A)~図15(F)は本実施の形態の計数装置7の動作を説明するための図であり、図15(A)はフィルタ回路6-1, 6-2の出力電圧の波形、すなわちMHPの波形を模式的に示す図、図15(B)は図15(A)に対応する判定部73-1, 73-2の出力を示す図、図15(C)は計数装置7に入力されるゲート信号GSを示す図、図15(D)は図15(B)に対応するカウンタ75-1の計数結果を示す図、図15(E)は計数装置7に入力されるクロック信号CLKを示す図、図15(F)は図15(B)に対応する計数結果補正部76-1の周期測定部760の測定結果を示す図である。なお、図15(A)~図15(F)では、半導体レーザ1-1の発振波長が増加し、半導体レーザ1-2の発振波長が減少する第1の発振期間 P_1 についての動作を示している。

【0091】

まず、計数装置7の切替スイッチ70aは、切替時かどうかを判定し(図13ステップS300)、切替時であればフィルタ回路6-1, 6-2の出力と判定部73-1, 73-2との接続を入れ替える(ステップS301)。切替スイッチ70aの切替時は、三角

波の周期 T の $1/2$ の時間毎に生じる。すなわち、切替スイッチ 70 a は、第 1 の発振期間 P_1 においてはフィルタ回路 6 - 1 の出力を判定部 73 - 1 の入力に接続して、フィルタ回路 6 - 2 の出力を判定部 73 - 2 に接続し、第 2 の発振期間 P_2 においてはフィルタ回路 6 - 2 の出力を判定部 73 - 1 の入力に接続して、フィルタ回路 6 - 1 の出力を判定部 73 - 2 に接続する（ステップ S 301）。

【0092】

つまり、判定部 73 - 1 には、フィルタ回路 6 - 1 又は 6 - 2 の出力のうち、発振波長が増加している方の半導体レーザ 1 - 1 又は 1 - 2 に対応する出力が常に入力され、判定部 73 - 2 には、フィルタ回路 6 - 1 又は 6 - 2 の出力のうち、発振波長が減少している方の半導体レーザ 1 - 1 又は 1 - 2 に対応する出力が常に入力されるようになっている。なお、現時点が第 1 の発振期間 P_1 か第 2 の発振期間 P_2 かはレーザドライバ 4 - 1, 4 - 2 から通知されるようになっている。切替スイッチ 70 a は、レーザドライバ 4 - 1, 4 - 2 からの通知に応じて切替動作を行う。

【0093】

計数装置 7 の判定部 73 - 1 は、図 15 (A) に示すフィルタ回路 6 - 1 又は 6 - 2 の出力電圧がハイレベル (H) かローレベル (L) かを判定して、図 15 (B) のような判定結果を出力する。このとき、判定部 73 - 1 は、フィルタ回路 6 - 1 又は 6 - 2 の出力電圧が上昇してしきい値 TH_1 以上になったときにハイレベルと判定し、フィルタ回路 6 - 1 又は 6 - 2 の出力電圧が下降してしきい値 TH_2 ($TH_2 < TH_1$) 以下になったときにローレベルと判定することにより、フィルタ回路 6 - 1 又は 6 - 2 の出力を 2 値化する（図 13 ステップ S 302）。同様に、判定部 73 - 2 は、フィルタ回路 6 - 2 又は 6 - 1 の出力を 2 値化する（ステップ S 302）。

【0094】

AND 74 - 1 は、判定部 73 - 1 の出力と図 15 (C) のようなゲート信号 GS との論理積演算の結果を出力し、カウンタ 75 - 1 は、図 15 (D) に示すように AND 74 - 1 の出力の立ち上がりをカウントする（図 13 ステップ S 303）。同様に、AND 74 - 2 は、判定部 73 - 2 の出力とゲート信号 GS との論理積演算の結果を出力し、カウンタ 75 - 2 は、AND 74 - 2 の出力の立ち上がりをカウントする（ステップ S 303）。ここで、ゲート信号 GS は、第 1 の計数期間 P_n 及び第 2 の計数期間 P_m の先頭で立ち上がり、第 1 の計数期間 P_n 及び第 2 の計数期間 P_m の終わりで立ち下がる信号である。したがって、カウンタ 75 - 1, 75 - 2 は、第 1、第 2 の計数期間 P_n, P_m 中の AND 74 - 1, 74 - 2 の出力の立ち上がりエッジの数（すなわち、MHP の立ち上がりエッジの数）を数えることになる。第 1 の計数期間 P_n 及び第 2 の計数期間 P_m の定義は、図 6 (A) ~ 図 6 (D) で説明したとおりである。

【0095】

一方、計数結果補正部 76 - 1 の周期測定部 760 は、第 1 の計数期間 P_n 中の AND 74 - 1 の出力の立ち上がりエッジの周期（すなわち、MHP の周期）を AND 74 - 1 の出力に立ち上がりエッジが発生する度に測定する（図 13 ステップ S 304）。このとき、周期測定部 760 は、図 15 (E) に示すクロック信号 CLK の周期を 1 単位として MHP の周期を測定する。図 15 (F) の例では、周期測定部 760 は、MHP の周期として T_1, T_2, T_3 を順次測定している。図 15 (E)、図 15 (F) から明らかなように、周期 T_1, T_2, T_3 の大きさは、それぞれ 5 クロック、4 クロック、2 クロックである。クロック信号 CLK の周波数は、MHP の取り得る最高周波数に対して十分に高いものとする。

【0096】

同様に、計数結果補正部 76 - 2 の周期測定部 760 は、第 2 の計数期間 P_m 中の AND 74 - 2 の出力の立ち上がりエッジの周期（MHP の周期）を AND 74 - 2 の出力に立ち上がりエッジが発生する度に測定する（ステップ S 304）。

記憶部 77 は、カウンタ 75 - 1, 75 - 2 の計数結果と計数結果補正部 76 - 1, 76 - 2 のそれぞれの周期測定部 760 の測定結果を記憶する。

【 0 0 9 7 】

ゲート信号 G S が立ち下がり、第 1 の計数期間 P n が終了した後、計数結果補正部 7 6 - 1 の度数分布作成部 7 6 1 は、記憶部 7 7 に記憶された、計数結果補正部 7 6 - 1 の周期測定部 7 6 0 の測定結果から第 1 の計数期間 P n 中の M H P の周期の度数分布を作成する（図 1 3 ステップ S 3 0 5）。同様に、第 2 の計数期間 P m が終了した後、計数結果補正部 7 6 - 2 の度数分布作成部 7 6 1 は、計数結果補正部 7 6 - 2 の周期測定部 7 6 0 の測定結果から第 2 の計数期間 P m 中の M H P の周期の度数分布を作成する（ステップ S 3 0 5）。なお、n が小さいときは中央値を求めるための度数が少なく、中央値を求める精度が低下するため、第 1 の計数期間 P n 中の M H P の周期の中央値を求めるときの度数分布は、P n よりも以前の周期も用いると連続したノイズに強くなる。

10

【 0 0 9 8 】

続いて、計数結果補正部 7 6 - 1 の中央値算出部 7 6 2 は、計数結果補正部 7 6 - 1 の度数分布作成部 7 6 1 が作成した度数分布から、第 1 の計数期間 P n 中の M H P の周期の中央値（メジアン）T 0 を算出する（図 1 3 ステップ S 3 0 6）。同様に、計数結果補正部 7 6 - 2 の中央値算出部 7 6 2 は、計数結果補正部 7 6 - 2 の度数分布作成部 7 6 1 が作成した度数分布から、第 2 の計数期間 P m 中の M H P の周期の中央値 T 0 を算出する（ステップ S 3 0 6）。

【 0 0 9 9 】

計数結果補正部 7 6 - 1 の補正值算出部 7 6 3 は、計数結果補正部 7 6 - 1 の度数分布作成部 7 6 1 が作成した度数分布から、第 1 の計数期間 P n 中の周期の中央値 T 0 の 0 . 5 倍以下である階級の度数の総和 N s と、第 1 の計数期間 P n 中の周期の中央値 T 0 の 1 . 5 倍以上である階級の度数の総和 N w とを求め、カウンタ 7 5 - 1 の計数結果を次式のように補正する（図 1 3 ステップ S 3 0 7）。

20

$$N' = N + N_w - N_s \quad \dots (16)$$

式 (16) において、N はカウンタ 7 5 - 1 の計数結果である M H P の数、N' は補正後の計数結果である。

【 0 1 0 0 】

同様に、計数結果補正部 7 6 - 2 の補正值算出部 7 6 3 は、計数結果補正部 7 6 - 2 の度数分布作成部 7 6 1 が作成した度数分布から、第 2 の計数期間 P m 中の周期の中央値 T 0 の 0 . 5 倍以下である階級の度数の総和 N s と、第 2 の計数期間 P m 中の周期の中央値 T 0 の 1 . 5 倍以上である階級の度数の総和 N w とを求め、カウンタ 7 5 - 2 の計数結果 N を式 (16) のように補正する（ステップ S 3 0 7）。

30

【 0 1 0 1 】

図 1 6 に M H P の周期の度数分布の 1 例を示す。図 1 6 において、T s は M H P の周期の中央値 T 0 の 0 . 5 倍の階級値、T w は中央値 T 0 の 1 . 5 倍の階級値である。図 1 6 における階級が、M H P の周期の代表値であることは言うまでもない。なお、図 1 6 では記載を簡略化するために、中央値 T 0 と T s との間、及び中央値 T 0 と T w との間の度数分布を省略している。

【 0 1 0 2 】

図 1 7 はカウンタ 7 5 - 1 , 7 5 - 2 の計数結果の補正原理を説明するための図であり、図 1 7 (A) はフィルタ回路 6 - 1 の出力電圧の波形、すなわち M H P の波形を模式的に示す図、図 1 7 (B) は図 1 7 (A) に対応するカウンタ 7 5 - 1 の計数結果を示す図である。

40

本来、M H P の周期は測定対象 1 1 との距離によって異なるが、測定対象 1 1 との距離が不変であれば、M H P は同じ周期で出現する。しかし、ノイズのために、M H P の波形には欠落が生じたり、信号として数えるべきでない波形が生じたりして、M H P の数に誤差が生じる。

【 0 1 0 3 】

信号の欠落が生じると、欠落が生じた箇所での M H P の周期 T w は、本来の周期のおよそ 2 倍になる。つまり、M H P の周期が中央値 T 0 のおよそ 2 倍以上の場合には、信号に

50

欠落が生じていると判断できる。そこで、周期 T_w 以上の階級の度数の総和 N_w を信号が欠落した回数と見なし、この N_w をカウンタ 75 - 1 の計数結果 N に加算することで、信号の欠落を補正することができる。

【0104】

また、ノイズをカウントした箇所での MHP の周期 T_s は、本来の周期のおよそ 0.5 倍になる。つまり、 MHP の周期が中央値のおよそ 0.5 倍以下の場合には、信号を過剰に数えていると判断できる。そこで、周期 T_s 以下の階級の度数の総和 N_s を信号を過剰に数えた回数と見なし、この N_s をカウンタ 75 - 1 の計数結果 N から減算することで、誤って数えたノイズを補正することができる。

【0105】

以上が、式 (16) に示した計数結果の補正原理である。カウンタ 75 - 2 の計数結果も同じ原理で補正できる。なお、本実施の形態では、 T_s を周期の中央値 T_0 の 0.5 倍の値とし、 T_w を中央値 T_0 の 2 倍の値とせず、1.5 倍の値としているが、1.5 倍とした理由については後述する。

【0106】

次に、計数装置 7 の周期和算出部 78 - 1 は、記憶部 77 に記憶された、計数結果補正部 76 - 1 の周期測定部 760 の測定結果から第 1 の計数期間 P_n 中の MHP の周期の総和 Sum を算出する (図 13 ステップ S308)。同様に、周期和算出部 78 - 2 は、計数結果補正部 76 - 2 の周期測定部 760 の測定結果から第 2 の計数期間 P_m 中の MHP の周期の総和 Sum を算出する (ステップ S308)。

【0107】

計数装置 7 の個数算出部 79 - 1 は、第 1 の計数期間 P_n 中の単位時間当たりの MHP の数 X (発振波長が増加している方の半導体レーザの干渉波形の数) を算出し、個数算出部 79 - 2 は、第 2 の計数期間 P_m 中の単位時間当たりの MHP の数 Y (発振波長が減少している方の半導体レーザの干渉波形の数) を算出する (図 13 ステップ S309)。個数算出部 79 - 1 は、計数結果補正部 76 - 1 の補正值算出部 763 によって算出された補正後の計数結果 N' を周期和算出部 78 - 1 によって算出された第 1 の計数期間中の MHP の周期の総和 Sum で割ることにより、第 1 の計数期間 P_n 中の単位時間当たりの MHP の数 X を算出する。

$$X = N' / Sum \quad \dots (17)$$

【0108】

同様に、個数算出部 79 - 2 は、計数結果補正部 76 - 2 の補正值算出部 763 によって算出された補正後の計数結果 N' を周期和算出部 78 - 2 によって算出された第 2 の計数期間中の MHP の周期の総和 Sum で割ることにより、第 2 の計数期間 P_m 中の単位時間当たりの MHP の数 Y を算出する。

【0109】

計数装置 7 は、以上のような処理を第 1、第 2 の計数期間 P_n , P_m 毎に行う。したがって、判定部 73 - 1、AND 74 - 1、カウンタ 75 - 1、計数結果補正部 76 - 1、記憶部 77、周期和算出部 78 - 1 及び個数算出部 79 - 1 の動作によって MHP の数 X が算出されると同時に、判定部 73 - 2、AND 74 - 2、カウンタ 75 - 2、計数結果補正部 76 - 2、記憶部 77、周期和算出部 78 - 2 及び個数算出部 79 - 2 の動作によって MHP の数 Y が算出される、といったように MHP の数 X と Y は同時に求められる。

【0110】

計数装置 7 以外の構成は、第 1 の実施の形態と同じである。本実施の形態では、計数期間中の MHP の周期を測定し、この測定結果から計数期間中の MHP の周期の度数分布を作成し、度数分布から MHP の周期の中央値を算出し、度数分布から、中央値の 0.5 倍以下である階級の度数の総和 N_s と、中央値の 1.5 倍以上である階級の度数の総和 N_w とを求め、これらの度数 N_s と N_w に基づいてカウンタの計数結果を補正することにより、 MHP の計数誤差を補正することができるので、第 1 の実施の形態に比べて距離及び速度の測定精度を向上させることができる。

【 0 1 1 1 】

次に、本実施の形態において、MHPの基準周期として周期の度数分布の中央値を用いる理由、及び度数Nwを求める際の周期のしきい値を中央値の1.5倍とする理由について説明する。

最初に、誤ってノイズを数えてしまったために、MHPの周期が2分割された場合の計数結果の補正について説明する。半導体レーザの発振波長変化が線形である場合、MHPの周期は計数期間をMHPの数Nで除算したT0を中心にして正規分布する(図18)。

【 0 1 1 2 】

次に、ノイズによって2分割されたMHPの周期を考える。ノイズを過剰に数えた結果として2分割されたMHPの周期は、ランダムな割合で2分割されるが、分割される前の周期がT0を中心とした正規分布であるために、0.5T0に対して対称な度数分布になる(図19のa)。

10

【 0 1 1 3 】

このノイズを含むMHPの周期の度数分布について、MHPのk%がノイズによって周期が2分割されたと仮定したとき、MHPの周期の平均値及び中央値を算出する。

全ての周期の和は常に計数期間であり、変化はないが、MHPのk%がノイズによって周期が2分割されると、度数の積分値は(1+k[%])Nになるため、MHPの周期の平均値は(1/(1+k[%]))T0になる。

【 0 1 1 4 】

一方、ノイズの分布で正規分布に重なったところを無視した場合、2分割されたノイズの累積度数は中央値とT0との間の階級に含まれる度数の2倍になるため、MHPの周期の中央値は図20のbの面積がaの面積の2倍になる位置になる。

20

【 0 1 1 5 】

マイクロソフト社のソフトウェアであるExcel(登録商標)に、正規分布の平均値から間の両側値の内部割合が「(1-(1-NORMSDIST())*2)*100[%]」で表現できるNORMSDIST()という関数があり、この関数を利用すると、MHPの周期の中央値を以下の式で表すことができる。

$$(1 - (1 - \text{NORMSDIST}((\text{中央値} - T_0) /)) * 2) * (100 - k) / 2 = k [\%] \quad \dots (18)$$

【 0 1 1 6 】

以上をもとに、標準偏差を0.02T0とし、MHPの10%がノイズによって周期が2分割されたとしたときのMHPの周期の平均値T0'及び中央値T0'を算出すると、以下ようになる。

30

$$T_0' = (1 / (1 + 0.1)) T_0 = 0.91 T_0 \quad \dots (19)$$

$$T_0' = 0.995 T_0 \quad \dots (20)$$

なお、ここでは平均値、中央値共にT0'で表すものとする。カウンタ値(度数の積分値)は、1.1Nとなり、カウント誤差は10%となる。

【 0 1 1 7 】

ここで、ある周期TaのMHPが2分割された後の2つの周期T1, T2(T1, T2とする)のとり得る期間の確率を考える。ノイズはランダムに生じると仮定すると、図21に示すようにT2は0 < T2 < Ta/2の値を同じ確率でとり得る。T1も同様にT/2 - T1 < Taの値を同じ確率でとり得る。図21におけるT1の取り得る確率分布の面積とT2の取り得る確率分布の面積は共に1である。

40

【 0 1 1 8 】

周期TaはT0を中心とした正規分布をしているので、Taを集合としてとらえると、T2のとり得る確率の度数分布は、平均値が0.5T0、標準偏差0.5の正規分布の累積度数分布と同じ形状になる。

また、図22に示すように、T1のとり得る確率の度数分布は平均値が0.5T0、標準偏差0.5の正規分布の累積度数分布と平均値がT0、標準偏差の正規分布の累積度数分布を重ねたような形状になる。ここで、T1、T2それぞれの数は、周期が2分割

50

されたMHPの数 $k [\%] \cdot N$ に等しい。

【0119】

ノイズによって周期が2分割されたMHPの数 $k [\%] \cdot N$ を数えることができれば、以下の式を用いてMHPの数 N を導出することができる。

$$N = N' - k [\%] \cdot N \quad \dots (21)$$

図23に示すように、 T_b 以下の周期を持つMHPの数 N_s が2分割されたMHPの数 $k [\%] \cdot N$ と等しくなるように T_b を設定することができれば、 T_b 以下の周期を持つMHPの数 N_s を数えることで、周期が2分割されたMHPの数 $k [\%] \cdot N$ を間接的に数えることができる。

【0120】

図23において、 T_b 以上の周期を持つMHPの周期 T_2 の度数(図23のc)と T_b 未満の周期を持つMHPの周期 T_1 の度数(図23のd)が同じになるとき、 T_b 以下の周期を持つMHPの数は、 T_2 の数、つまり周期が2分割されたMHPの数 $N_s (= k [\%] \cdot N)$ と等しくなる。つまり、MHPの数 N は以下の式で表すことができる。

$$N = N' - k [\%] \cdot N = N' - N_s \quad \dots (22)$$

T_1 及び T_2 の度数形状は、 $0.5 T_a$ で対称の形状であるため、 $0.5 T_a$ をしきい値にして判断すると、周期が2分割されたMHPの度数 $N_s (= k [\%] \cdot N)$ を正確に数えることができる。

【0121】

次に、 $0.5 T_0$ 以下の周期を持つMHPの数を数えることで、周期が2分割されたMHPの数 $k [\%] \cdot N$ の数を間接的に数えることができるが、ノイズを含むMHPの周期の度数分布(図19)からは、 T_0 を算出することができない。MHPの母集団が図19の度数分布のように最頻値(モード)が T_0 と等しくなるほど理想的でかつ母数が大きければ、最頻値を T_0' として用いることができる。

【0122】

ここでは、平均値又は中央値 T_0' を用いたMHPの数 $k [\%] \cdot N$ の計数について記載する。 $T_0' = y \cdot T_0$ で表し、 T_0 の代わりに T_0' を代入して N_s を求めると、周期が2分割されたMHPの数として判断する $0.5 T_0'$ よりも小さな周期の度数 N_s' は、 $y \cdot k [\%] \cdot N$ になる(図24)。

【0123】

平均値又は中央値 T_0' を用いた場合、補正後のカウント値 N_t は以下のように表される。

$$\begin{aligned} N_t &= N' - N_s' = (1 + k [\%]) N - y k [\%] N \\ &= (1 + (1 - y) k [\%]) N = N + (1 - y) k [\%] N \quad \dots (23) \end{aligned}$$

なお、補正後の誤差である $(1 - y) k [\%] N$ は、図25のeの部分の度数である。

【0124】

ここで、平均値又は中央値 T_0' を用いたカウンタ75-1, 75-2の計数結果の補正例について説明する。

標準偏差を $= 0.02 T_0$ とし、MHPの10%がノイズによって周期が2分割されたとすると(計数結果は10%の誤差)、MHPの周期の平均値 T_0' は $0.91 T_0$ 、中央値 T_0' は $0.9949 T_0$ であるから、平均値 T_0' を用いる場合の y は 0.91 、中央値 T_0' を用いる場合の y は 0.9949 であり、補正後の計数結果 N' は以下のように算出される。

$$N' = (1 + 0.1(1 - 0.91)) N = 1.009 N \quad \dots (24)$$

$$N' = (1 + 0.1(1 - 0.995)) N = 1.0005 N \quad \dots (25)$$

【0125】

式(24)は平均値 T_0' を用いた場合の補正後の計数結果 N' を示し、式(25)は中央値 T_0' を用いた場合の補正後の計数結果 N' を示している。平均値 T_0' を用いた場合の計数結果 N' の誤差は0.9%であり、中央値 T_0' を用いた場合の計数結果 N' の誤差は0.05%である。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 6 】

次に、標準偏差を $\sigma = 0.05 T_0$ とし、MHPの20%がノイズによって周期が2分割されたとすると(計数結果は20%の誤差)、MHPの周期の平均値 T_0' は $0.83 T_0$ 、中央値 T_0' は $0.9682 T_0$ であるから、平均値 T_0' を用いる場合の y は 0.83 、中央値 T_0' を用いる場合の y は 0.968 であり、補正後の計数結果 N' は以下のように算出される。

$$N' = (1 + 0.2(1 - 0.83))N = 1.034N \quad \dots (26)$$

$$N' = (1 + 0.2(1 - 0.968))N = 1.0064N \quad \dots (27)$$

【 0 1 2 7 】

式(26)は平均値 T_0' を用いた場合の補正後の計数結果 N' を示し、式(27)は中央値 T_0' を用いた場合の補正後の計数結果 N' を示している。平均値 T_0' を用いた場合の計数結果 N' の誤差は3.4%であり、中央値 T_0' を用いた場合の計数結果 N' の誤差は0.64%である。

以上のことから、MHPの周期の中央値を使用して計数結果 N を補正すれば、補正後の計数結果 N' の誤差を小さくできることが分かる。

【 0 1 2 8 】

次に、MHPの波形に欠落が生じた場合の計数結果の補正について説明する。MHPの強度が小さいために計数時に欠落が生じた場合のMHPの周期は、本来のMHPの周期が T_0 を中心とした正規分布であるために、平均値が $2 T_0$ 、標準偏差 $2 T_0$ の正規分布(図26のf)になる。 j [%]のMHPが欠落したとすると、この欠落によって周期が2倍になったMHPの周期の度数は $N_w (= j [\%] \cdot N)$ である。また、計数時の欠落によって減少した後のおよそ T_0 の周期の度数は、図26に示す g であり、図26の h に示す度数の減少分は $2 N_w (= 2 j [\%] \cdot N)$ である。したがって、計数時にMHPの欠落が生じなかった場合の本来のMHPの数 N' は以下の式で表すことができる。

$$N' = N + j [\%] \cdot N = N + N_w \quad \dots (28)$$

【 0 1 2 9 】

次に、計数結果を補正するための N_w を数える際の周期のしきい値について考える。ここで、計数時の欠落によって周期が2倍になったMHPの周期の度数 N_w のうちノイズによって p [%] が2分割された場合を仮定する。欠落したMHPのうち2分割されたMHPの周期の度数は、 $N_w' (= j \cdot p [\%] \cdot N)$ である。再度2分割されたMHPの周期の度数分布は、図27のようになる。 N_w とみなす周期のしきい値を $1.5 T_0$ にすると、周期が $0.5 T_0$ 以下のMHPの周期の度数は $0.5 N_w' (= 0.5 p [\%] \cdot N_w)$ 、周期が $0.5 T_0$ から $1.5 T_0$ までのMHPの周期の度数は $N_w' (= p [\%] \cdot N_w)$ 、周期が $1.5 T_0$ 以上のMHPの周期の度数は $0.5 N_w' (= 0.5 p [\%] \cdot N_w)$ となる。

【 0 1 3 0 】

よって、全てのMHPの周期の度数分布は図28のようになり、 N_s のしきい値を $0.5 T_0$ 、 N_w のしきい値を $1.5 T_0$ にすると、計数結果 N は以下の式で表すことができる。

$$N = (N' - 2 N_w) + (N_w - N_w') + 2 N_w' = N' - N_w + N_w' \quad \dots (29)$$

【 0 1 3 1 】

式(29)より補正された結果は以下のようになり、計数時にMHPの欠落が生じなかった場合の本来のMHPの数 N' が算出されることが分かる。

$$\begin{aligned} N - 0.5 N_w' + (0.5 N_w' + (N_w - N_w')) \\ = (N - N_w + N_w') + (0.5 N_w' + (N_w - N_w')) \\ = N' \quad \dots (30) \end{aligned}$$

【 0 1 3 2 】

以上のことから、度数 N_w を求める際の周期のしきい値を中央値の1.5倍とすれば、計数結果 N を補正できることが分かる。なお、ノイズによってMHPの周期が2分割され

10

20

30

40

50

た場合と同様に、 T_0 の代わりに中央値を用いて補正するため、同様の誤差が生じる。

【0133】

以上の説明では、ノイズを過剰に数えた結果MHPの周期が2分割された場合と計数時の欠落によってMHPの周期が2倍になった場合を別々に説明したが、これらは独立して生じるため、これらの場合を1つの度数分布に表現すると、図29のようになる。 N_s のしきい値を $0.5T_0$ 、 N_w のしきい値を $1.5T_0$ にすると、計数結果 N は以下の式で表すことができる。

$$\begin{aligned} N &= (N' - 2N_w - N_s) + (N_w - N_w') + 2N_w' + 2N_s \\ &= N' - N_w + N_w' + N_s \quad \dots (31) \end{aligned}$$

【0134】

式(31)より補正された結果は以下のようになり、計数時に欠落や過剰な計数が生じなかった場合の本来のMHPの数 N' が算出されることが分かる。

$$\begin{aligned} N - \{0.5N_w' + N_s\} &+ \{0.5N_w' + (N_w - N_w')\} \\ &= \{N - N_w + N_w' + N_s\} - \{0.5N_w' + N_s\} \\ &\quad + \{0.5N_w' + (N_w - N_w')\} \\ &= N' \quad \dots (32) \end{aligned}$$

【0135】

なお、本実施の形態では、MHPの欠落の補正については、1個の欠落によってMHPの周期が本来の周期のおよそ2倍になった場合について説明しているが、連続して2個以上の欠落が生じた場合にも本発明を適用することができる。MHPが連続して2個欠落した場合、中央値の3倍の周期のMHPは3個のMHPが1つになったものだと考えられる。この場合は、周期の中央値のおよそ3倍以上である階級の度数を求めて、この度数を2倍すれば、MHPの欠落を補正することができる。このような考え方を一般化すると、式(16)の代わりに次式を用いればよい。

$$N' = N + N_w1 + N_w2 + N_w3 + \dots - N_s \quad \dots (33)$$

N_w1 は周期の中央値の1.5倍以上である階級の度数の総和、 N_w2 は周期の中央値の2.5倍以上である階級の度数の総和、 N_w3 は周期の中央値のおよそ3.5倍以上である階級の度数の総和である。

【0136】

[第3の実施の形態]

次に、本発明の第3の実施の形態について説明する。第2の実施の形態では、固定長の第1の計数期間 P_n と第2の計数期間 P_m においてMHPの数を求めていたが、第1の計数期間 P_n と第2の計数期間 P_m を可変長にしてもよい。本実施の形態においても、距離・速度計の構成は第1の実施の形態と同様であるので、図1の符号を用いて説明する。

【0137】

図30は本実施の形態の計数装置7の構成の1例を示すブロック図、図31はこの計数装置7の動作を示すフローチャートである。本実施の形態の計数装置7は、切替スイッチ70aと、周期測定部71a-1, 71a-2と、判定部73-1, 73-2と、計数結果補正部76a-1, 76a-2と、記憶部77と、周期和算出部78-1, 78-2と、個数算出部79-1, 79-2とから構成される。

【0138】

図32は計数結果補正部76a-1の構成の1例を示すブロック図である。計数結果補正部76a-1は、度数分布作成部761aと、中央値算出部762aと、補正值算出部763aとから構成される。計数結果補正部76a-2の構成は、計数結果補正部76a-1と同じなので、説明は省略する。

【0139】

まず、切替スイッチ70aの動作は、図13のステップS300, S301と同じであり(図31ステップS400, S401)、判定部73-1, 73-2の動作は、図13のステップS302と同じである(図31ステップS402)。

【0140】

10

20

30

40

50

周期測定部 71a-1 は、図 15 (B) に示した判定部 73-1 の出力における一定個数 N (N は 2 以上の自然数) 個の MHP の周期をこれらの MHP の各々について測定する (図 31 ステップ S403)。同様に、周期測定部 71a-2 は、判定部 73-2 の出力における一定個数 N 個の MHP の周期をこれらの MHP の各々について測定する (ステップ S403)。このとき、周期測定部 71a-1, 71a-2 は、クロック信号 CLK の周期を 1 単位として MHP の周期を測定する。記憶部 77 は、周期測定部 71a-1, 71a-2 の測定結果を記憶する。

【0141】

周期測定部 71a-1 の測定終了後、計数結果補正部 76a-1 の度数分布作成部 761a は、記憶部 77 に記憶された周期測定部 71a-1 の測定結果から MHP の周期の度数分布を作成する (図 31 ステップ S404)。同様に、周期測定部 71a-2 の測定終了後、計数結果補正部 76a-2 の度数分布作成部 761a は、周期測定部 71a-2 の測定結果から MHP の周期の度数分布を作成する (ステップ S404)。

【0142】

続いて、計数結果補正部 76a-1 の中央値算出部 762a は、計数結果補正部 76a-1 の度数分布作成部 761a が作成した度数分布から MHP の周期の中央値 T_0 を算出する (図 31 ステップ S405)。同様に、計数結果補正部 76a-2 の中央値算出部 762a は、計数結果補正部 76a-2 の度数分布作成部 761a が作成した度数分布から MHP の周期の中央値 T_0 を算出する (ステップ S405)。

【0143】

計数結果補正部 76a-1 の補正值算出部 763a は、計数結果補正部 76a-1 の度数分布作成部 761a が作成した度数分布から、計数結果補正部 76a-1 の中央値算出部 762a が算出した周期の中央値 T_0 の 0.5 倍以下である階級の度数の総和 N_s と、この周期の中央値 T_0 の 1.5 倍以上である階級の度数の総和 N_w とを求め、一定個数 N を式 (16) のように補正する (図 31 ステップ S406)。同様に、計数結果補正部 76a-2 の補正值算出部 763a は、計数結果補正部 76a-2 の度数分布作成部 761a が作成した度数分布から、計数結果補正部 76a-2 の中央値算出部 762a が算出した周期の中央値 T_0 の 0.5 倍以下である階級の度数の総和 N_s と、この周期の中央値 T_0 の 1.5 倍以上である階級の度数の総和 N_w とを求め、一定個数 N を式 (16) のように補正する (ステップ S406)。

【0144】

次に、周期和算出部 78-1 は、記憶部 77 に記憶された周期測定部 71a-1 の測定結果から MHP の周期の総和 Sum を算出する (図 31 ステップ S407)。同様に、周期和算出部 78-2 は、周期測定部 71a-2 の測定結果から MHP の周期の総和 Sum を算出する (ステップ S407)。

【0145】

個数算出部 79-1 は、計数結果補正部 76a-1 の補正值算出部 763a によって算出された補正後の計数結果 N' を周期和算出部 78-1 によって算出された MHP の周期の総和 Sum で割ることにより、第 1 の計数期間 P_n 中の単位時間当たりの MHP の数 X を算出する (図 31 ステップ S408)。同様に、個数算出部 79-2 は、計数結果補正部 76a-2 の補正值算出部 763a によって算出された補正後の計数結果 N' を周期和算出部 78-2 によって算出された MHP の周期の総和 Sum で割ることにより、第 2 の計数期間 P_m 中の単位時間当たりの MHP の数 Y を算出する (ステップ S408)。

【0146】

計数装置 7 は、以上のような処理を第 1、第 2 の計数期間 P_n , P_m 毎に行う。MHP の数 X と Y が同時に算出されることは、第 1、第 2 の実施の形態と同じであるが、前述のとおり本実施の形態では、第 1 の計数期間 P_n と第 2 の計数期間 P_m が可変長になる。つまり、周期和算出部 78-1 で算出される MHP の周期の総和が第 1 の計数期間 P_n の長さに相当し、周期和算出部 78-2 で算出される MHP の周期の総和が第 2 の計数期間 P_m の長さに相当する。第 2 の実施の形態のカウンタ 75-1, 75-2 の計数結果 N に相

10

20

30

40

50

当する値は、本実施の形態では一定個数 N という固定値になっている。

【 0 1 4 7 】

その他の構成は、第 2 の実施の形態と同じである。第 2 の実施の形態では、第 1 の計数期間 P_n と第 2 の計数期間 P_m が固定長のため、周期和算出部 78 - 1 で算出される MHP の周期の総和が第 1 の計数期間 P_n の長さとは一致しない場合があり、同様に周期和算出部 78 - 2 で算出される MHP の周期の総和が第 2 の計数期間 P_m の長さとは一致しない場合がある。このため、第 2 の実施の形態では、計数装置 7 で求める MHP の数 n, m に測定誤差が生じ、距離及び速度に測定誤差が生じる可能性がある。

【 0 1 4 8 】

これに対して、本実施の形態では、周期和算出部 78 - 1, 78 - 2 で算出される MHP の周期の総和が第 1 の計数期間 P_n 、第 2 の計数期間 P_m の長さとは等しくなるようにしたので、MHP の数 n, m の測定誤差を低減することができる。したがって、本実施の形態によれば、第 2 の実施の形態と同様の効果が得られるだけでなく、距離及び速度の測定精度をさらに向上させることができる。

【 0 1 4 9 】

[第 4 の実施の形態]

次に、本発明の第 4 の実施の形態について説明する。第 1 ~ 第 3 の実施の形態では、状態判定部 82 は、式 (2) と式 (3) の算出結果が等しい場合、測定対象 11 が微小変位状態にあると判定し、式 (4) と式 (5) の算出結果が等しい場合、測定対象 11 が変位状態にあると判定する。しかしながら、ノイズ等の影響により、式 (2) と式 (3) の算出結果が等しく、かつ式 (4) と式 (5) の算出結果が等しくなった場合には、測定対象 11 の状態を判定することはできず、式 (2) と式 (3) の算出結果が一致せず、かつ式 (4) と式 (5) の算出結果が一致しない場合にも、測定対象 11 の状態を判定することはできない。本実施の形態では、状態判定部 82 で測定対象 11 の状態を判定できない場合でも、測定対象 11 との距離及び測定対象 11 の速度を算出することを実現する。

【 0 1 5 0 】

本実施の形態においても、距離・速度計の構成は第 1 の実施の形態と同様であるので、図 1 の符号を用いて説明する。図 33 は本実施の形態の演算装置 8 の構成の 1 例を示すブロック図、図 34 はこの演算装置 8 の動作を示すフローチャートである。本実施の形態の演算装置 8 は、記憶部 80 と、距離・速度算出部 81 と、距離・速度算出部 81 と後述する履歴変位算出部の算出結果に基づいて測定対象 11 の状態を判定する状態判定部 82 a と、状態判定部 82 a の判定結果に基づいて測定対象 11 の速度を確定する速度確定部 83 a と、状態判定部 82 a の判定結果に基づいて測定対象 11 との距離を確定する距離確定部 84 a と、距離・速度算出部 81 で算出された距離の候補値と直前に算出された距離の候補値との差である履歴変位を算出する履歴変位算出部 85 とから構成される。速度確定部 83 a と距離確定部 84 a とは、距離・速度確定手段を構成している。

【 0 1 5 1 】

まず、演算装置 8 の記憶部 80 の動作は、図 8 のステップ S201 と同じであり (図 34 ステップ S501)、距離・速度算出部 81 の動作は、図 8 のステップ S202 と同じである (図 34 ステップ S502)。

【 0 1 5 2 】

演算装置 8 の履歴変位算出部 85 は、時刻 $t - 1$ から t における距離の第 2 の候補値 $L_2(t - 1, t)$ と時刻 $t - 2$ から $t - 1$ における距離の第 1 の候補値 $L_1(t - 2, t - 1)$ との差である履歴変位 $V_{cal} 1(t - 2, t)$ 、時刻 t から $t + 1$ における距離の第 1 の候補値 $L_1(t, t + 1)$ と時刻 $t - 1$ から t における距離の第 2 の候補値 $L_2(t - 1, t)$ との差である履歴変位 $V_{cal} 2(t - 1, t + 1)$ 、時刻 $t - 1$ から t における距離の第 1 の候補値 $L_1(t - 1, t)$ と時刻 $t - 2$ から $t - 1$ における距離の第 2 の候補値 $L_2(t - 2, t - 1)$ との差である履歴変位 $V_{cal} 3(t - 2, t)$ 、時刻 t から $t + 1$ における距離の第 2 の候補値 $L_2(t, t + 1)$ と時刻 $t - 1$ から t における距離の第 1 の候補値 $L_1(t - 1, t)$ との差である履歴

10

20

30

40

50

変位 $V_{cal} \ 4(t-1, t+1)$ 、時刻 $t-1$ から t における距離の第4の候補値 $L \ 4(t-1, t)$ と時刻 $t-2$ から $t-1$ における距離の第3の候補値 $L \ 3(t-2, t-1)$ との差である履歴変位 $V_{cal} \ 1(t-2, t)$ 、時刻 t から $t+1$ における距離の第3の候補値 $L \ 3(t, t+1)$ と時刻 $t-1$ から t における距離の第4の候補値 $L \ 4(t-1, t)$ との差である履歴変位 $V_{cal} \ 2(t-1, t+1)$ 、時刻 $t-1$ から t における距離の第3の候補値 $L \ 3(t-1, t)$ と時刻 $t-2$ から $t-1$ における距離の第4の候補値 $L \ 4(t-2, t-1)$ との差である履歴変位 $V_{cal} \ 3(t-2, t)$ 、時刻 t から $t+1$ における距離の第4の候補値 $L \ 4(t, t+1)$ と時刻 $t-1$ から t における距離の第3の候補値 $L \ 3(t-1, t)$ との差である履歴変位 $V_{cal} \ 4(t-1, t+1)$ を次式のように算出して、記憶部80に格納する(図34ステップS503)。

10

【0153】

$$V_{cal} \ 1(t-2, t) = L \ 2(t-1, t) - L \ 1(t-2, t-1) \quad \dots (34)$$

$$V_{cal} \ 2(t-1, t+1) = L \ 1(t, t+1) - L \ 2(t-1, t) \quad \dots (35)$$

$$V_{cal} \ 3(t-2, t) = L \ 1(t-1, t) - L \ 2(t-2, t-1) \quad \dots (36)$$

$$V_{cal} \ 4(t-1, t+1) = L \ 2(t, t+1) - L \ 1(t-1, t) \quad \dots (37)$$

20

$$V_{cal} \ 1(t-2, t) = L \ 4(t-1, t) - L \ 3(t-2, t-1) \quad \dots (38)$$

$$V_{cal} \ 2(t-1, t+1) = L \ 3(t, t+1) - L \ 4(t-1, t) \quad \dots (39)$$

$$V_{cal} \ 3(t-2, t) = L \ 3(t-1, t) - L \ 4(t-2, t-1) \quad \dots (40)$$

$$V_{cal} \ 4(t-1, t+1) = L \ 4(t, t+1) - L \ 3(t-1, t) \quad \dots (41)$$

【0154】

履歴変位 $V_{cal} \ 1(t-2, t)$ 、 $V_{cal} \ 2(t-1, t+1)$ 、 $V_{cal} \ 3(t-2, t)$ 、 $V_{cal} \ 4(t-1, t+1)$ は測定対象11が微小変位状態であると仮定して計算した値であり、履歴変位 $V_{cal} \ 1(t-2, t)$ 、 $V_{cal} \ 2(t-1, t+1)$ 、 $V_{cal} \ 3(t-2, t)$ 、 $V_{cal} \ 4(t-1, t+1)$ は測定対象11が変位状態であると仮定して計算した値である。

30

履歴変位算出部85は、式(34)～式(41)の計算を計数装置7によってMHPの数が出される時刻毎に行う。なお、式(34)～式(41)においては、測定対象11が距離・速度計に近づく方向を正の速度、遠ざかる方向を負の速度と定めている。

【0155】

次に、演算装置8の状態判定部82aは、記憶部80に記憶されている式(2)～式(5)の算出結果と式(34)～式(41)の算出結果を用いて測定対象11の状態を判定する(図34ステップS504)。図35はこの状態判定部82aの動作を示すフローチャートである。

40

まず、状態判定部82aは、第1の実施の形態の状態判定部82と同様に式(2)～式(5)の算出結果を用いて測定対象11の状態を判定する(図35ステップS601)。

【0156】

ここで、状態判定部82aは、式(2)と式(3)の算出結果が等しい場合、測定対象11が微小変位状態であると判定し、式(4)と式(5)の算出結果が等しい場合、測定対象11が変位状態であると判定し、状態判定が終了したと判断して(ステップS602において判定YES)、ステップS504の処理を終了する。一方、状態判定部82aは、式(2)と式(3)の算出結果が等しく、かつ式(4)と式(5)の算出結果も等しい

50

場合、あるいは式(2)と式(3)の算出結果が一致せず、かつ式(4)と式(5)の算出結果も一致しない場合、状態判定ができないので、ステップS603に進む。

【0157】

ステップS603において、状態判定部82aは、式(2)～式(5)の算出結果と式(34)～式(41)の算出結果を用いて測定対象11の状態を判定する。

特許文献1に記載されているように、測定対象11が微小変位状態で移動(等速度運動)している場合、測定対象11を微小変位状態と仮定して計算した履歴変位 V_{cal} の符号は一定で、かつ測定対象11を微小変位状態と仮定して計算した速度の候補値 V と履歴変位 V_{cal} の絶対値の平均値とが等しくなる。また、測定対象11が微小変位状態で等速度運動している場合、測定対象11を変位状態と仮定して計算した履歴変位 V_{cal} の符号は、MHPの数が算出される時刻毎に反転する。

10

【0158】

したがって、状態判定部82aは、測定対象11が微小変位状態にあると仮定して計算した式(34)の履歴変位 $V_{cal1}(t-2, t)$ と式(35)の履歴変位 $V_{cal2}(t-1, t+1)$ の符号が一致し、かつ測定対象11が微小変位状態にあると仮定して計算した速度の候補値 $V1(t, t+1)$ と $V2(t, t+1)$ との平均値と、履歴変位 $V_{cal1}(t-2, t)$ の絶対値と履歴変位 $V_{cal2}(t-1, t+1)$ の絶対値の平均値とが等しい場合、測定対象11が微小変位状態で等速度運動していると判定する。

【0159】

20

あるいは、状態判定部82aは、測定対象11が微小変位状態にあると仮定して計算した式(36)の履歴変位 $V_{cal3}(t-2, t)$ と式(37)の履歴変位 $V_{cal4}(t-1, t+1)$ の符号が一致し、かつ測定対象11が微小変位状態にあると仮定して計算した速度の候補値 $V1(t, t+1)$ と $V2(t, t+1)$ との平均値と、履歴変位 $V_{cal3}(t-2, t)$ の絶対値と履歴変位 $V_{cal4}(t-1, t+1)$ の絶対値の平均値とが等しい場合、測定対象11が微小変位状態で等速度運動していると判定する。

【0160】

特許文献1に記載されているように、測定対象11が変位状態で移動(等速度運動)している場合、測定対象11を変位状態と仮定して計算した履歴変位 V_{cal} の符号は一定で、かつ測定対象11を変位状態と仮定して計算した速度の候補値 V と履歴変位 V_{cal} の絶対値の平均値とが等しくなる。また、測定対象11が変位状態で等速度運動している場合、測定対象11を微小変位状態と仮定して計算した履歴変位 V_{cal} の符号はMHPの数が算出される時刻毎に反転する。

30

【0161】

したがって、状態判定部82aは、測定対象11が変位状態にあると仮定して計算した式(38)の履歴変位 $V_{cal1}(t-2, t)$ と式(39)の履歴変位 $V_{cal2}(t-1, t+1)$ の符号が一致し、かつ測定対象11が変位状態にあると仮定して計算した速度の候補値 $V3(t, t+1)$ と $V4(t, t+1)$ との平均値と、履歴変位 $V_{cal1}(t-2, t)$ の絶対値と履歴変位 $V_{cal2}(t-1, t+1)$ の絶対値の平均値とが等しい場合、測定対象11が変位状態で等速度運動していると判定する。

40

【0162】

あるいは、状態判定部82aは、測定対象11が変位状態にあると仮定して計算した式(40)の履歴変位 $V_{cal3}(t-2, t)$ と式(41)の履歴変位 $V_{cal4}(t-1, t+1)$ の符号が一致し、かつ測定対象11が変位状態にあると仮定して計算した速度の候補値 $V3(t, t+1)$ と $V4(t, t+1)$ との平均値と、履歴変位 $V_{cal3}(t-2, t)$ の絶対値と履歴変位 $V_{cal4}(t-1, t+1)$ の絶対値の平均値とが等しい場合、測定対象11が変位状態で等速度運動していると判定する。

【0163】

特許文献1に記載されているように、測定対象11が微小変位状態で、等速度運動以外

50

の運動をしている場合、測定対象 11 を微小変位状態と仮定して計算した速度の候補値 V と測定対象 11 を微小変位状態と仮定して計算した履歴変位 V_{cal} の絶対値の平均値とは一致しない。同様に、測定対象 11 を変位状態と仮定して計算した速度の候補値 V と測定対象 11 を変位状態と仮定して計算した履歴変位 V_{cal} の絶対値の平均値も一致しない。

【0164】

また、測定対象 11 が微小変位状態で、等速度運動以外の運動をしている場合、測定対象 11 を微小変位状態と仮定して計算した履歴変位 V_{cal} の符号は MHP の数が算出される時刻毎に反転し、測定対象 11 を変位状態と仮定して計算した履歴変位 V_{cal} では符号の変動はあっても、この変動は MHP の数が算出される時刻毎ではない。

10

【0165】

したがって、状態判定部 82a は、測定対象 11 が微小変位状態にあると仮定して計算した式 (34) の履歴変位 $V_{cal} \ 1(t-2, t)$ と式 (35) の履歴変位 $V_{cal} \ 2(t-1, t+1)$ の符号が一致せず、かつ測定対象 11 が微小変位状態にあると仮定して計算した速度の候補値 $V \ 1(t, t+1)$ と $V \ 2(t, t+1)$ との平均値と、履歴変位 $V_{cal} \ 1(t-2, t)$ の絶対値と履歴変位 $V_{cal} \ 2(t-1, t+1)$ の絶対値の平均値とが一致しない場合、測定対象 11 が微小変位状態で等速度運動以外の運動をしていると判定する。

【0166】

あるいは、状態判定部 82a は、測定対象 11 が微小変位状態にあると仮定して計算した式 (36) の履歴変位 $V_{cal} \ 3(t-2, t)$ と式 (37) の履歴変位 $V_{cal} \ 4(t-1, t+1)$ の符号が一致せず、かつ測定対象 11 が微小変位状態にあると仮定して計算した速度の候補値 $V \ 1(t, t+1)$ と $V \ 2(t, t+1)$ との平均値と、履歴変位 $V_{cal} \ 3(t-2, t)$ の絶対値と履歴変位 $V_{cal} \ 4(t-1, t+1)$ の絶対値の平均値とが一致しない場合、測定対象 11 が微小変位状態で等速度運動以外の運動をしていると判定する。

20

【0167】

なお、速度の候補値 V に着目すると、 $V \ 3(t, t+1)$ の絶対値と $V \ 4(t, t+1)$ の絶対値は定数となり、この絶対値は、測定対象 11 が微小変位状態にあると仮定して計算した距離の候補値 $L \ 1(t, t+1)$ と $L \ 2(t, t+1)$ との平均値に半導体レーザ 1-1, 1-2 の波長変化率 $(b-a)/b$ を掛けた値と等しい。そこで、状態判定部 82a は、測定対象 11 が変位状態にあると仮定して計算した速度の候補値 $V \ 3(t, t+1)$ の絶対値と $V \ 4(t, t+1)$ の絶対値が、距離の候補値 $L \ 1(t, t+1)$ と $L \ 2(t, t+1)$ との平均値に波長変化率 $(b-a)/b$ を掛けた値と等しく、かつ測定対象 11 が微小変位状態にあると仮定して計算した速度の候補値 $V \ 1(t, t+1)$ と $V \ 2(t, t+1)$ との平均値と、履歴変位 $V_{cal} \ 1(t-2, t)$ の絶対値と履歴変位 $V_{cal} \ 2(t-1, t+1)$ の絶対値の平均値とが一致しない場合、測定対象 11 が微小変位状態で等速度運動以外の運動をしていると判定してもよい。

30

【0168】

また、状態判定部 82a は、測定対象 11 が変位状態にあると仮定して計算した速度の候補値 $V \ 3(t, t+1)$ の絶対値と $V \ 4(t, t+1)$ の絶対値が、距離の候補値 $L \ 1(t, t+1)$ と $L \ 2(t, t+1)$ との平均値に波長変化率 $(b-a)/b$ を掛けた値と等しく、かつ測定対象 11 が微小変位状態にあると仮定して計算した速度の候補値 $V \ 1(t, t+1)$ と $V \ 2(t, t+1)$ との平均値と、履歴変位 $V_{cal} \ 3(t-2, t)$ の絶対値と履歴変位 $V_{cal} \ 4(t-1, t+1)$ の絶対値の平均値とが一致しない場合、測定対象 11 が微小変位状態で等速度運動以外の運動をしていると判定してもよい。

40

【0169】

特許文献 1 に記載されているように、測定対象 11 が変位状態で、等速度運動以外の運

50

動をしている場合、測定対象 11 を微小変位状態と仮定して計算した速度の候補値 V と測定対象 11 を微小変位状態と仮定して計算した履歴変位 V_{cal} の絶対値の平均値とは一致せず、測定対象 11 を変位状態と仮定して計算した速度の候補値 V と測定対象 11 を変位状態と仮定して計算した履歴変位 V_{cal} の絶対値の平均値も一致しない。また、測定対象 11 が変位状態で、等速度運動以外の運動をしている場合、測定対象 11 を変位状態と仮定して計算した履歴変位 V_{cal} の符号は MHP の数が算出される時刻毎に反転し、測定対象 11 を微小変位状態と仮定して計算した履歴変位 V_{cal} では符号の変動はあっても、この変動は MHP の数が算出される時刻毎ではない。

【0170】

したがって、状態判定部 82a は、測定対象 11 が変位状態にあると仮定して計算した式 (38) の履歴変位 $V_{cal1}(t-2, t)$ と式 (39) の履歴変位 $V_{cal2}(t-1, t+1)$ の符号が一致せず、かつ測定対象 11 が変位状態にあると仮定して計算した速度の候補値 $V_3(t, t+1)$ と $V_4(t, t+1)$ との平均値と、履歴変位 $V_{cal1}(t-2, t)$ の絶対値と履歴変位 $V_{cal2}(t-1, t+1)$ の絶対値の平均値とが一致しない場合、測定対象 11 が変位状態で等速度運動以外の運動をしていると判定する。

【0171】

あるいは、状態判定部 82a は、測定対象 11 が変位状態にあると仮定して計算した式 (40) の履歴変位 $V_{cal3}(t-2, t)$ と式 (41) の履歴変位 $V_{cal4}(t-1, t+1)$ の符号が一致せず、かつ測定対象 11 が変位状態にあると仮定して計算した速度の候補値 $V_3(t, t+1)$ と $V_4(t, t+1)$ との平均値と、履歴変位 $V_{cal3}(t-2, t)$ の絶対値と履歴変位 $V_{cal4}(t-1, t+1)$ の絶対値の平均値とが一致しない場合、測定対象 11 が変位状態で等速度運動以外の運動をしていると判定する。

【0172】

なお、速度の候補値 V に着目すると、 $V_1(t, t+1)$ の絶対値と $V_2(t, t+1)$ の絶対値は定数となり、この絶対値は、測定対象 11 が変位状態にあると仮定して計算した距離の候補値 $L_3(t, t+1)$ と $L_4(t, t+1)$ との平均値に半導体レーザ 1-1, 1-2 の波長変化率 $(b-a)/b$ を掛けた値と等しい。そこで、状態判定部 82a は、測定対象 11 が微小変位状態にあると仮定して計算した速度の候補値 $V_1(t, t+1)$ の絶対値と $V_2(t, t+1)$ の絶対値が、距離の候補値 $L_3(t, t+1)$ と $L_4(t, t+1)$ との平均値に波長変化率 $(b-a)/b$ を掛けた値と等しく、かつ測定対象 11 が変位状態にあると仮定して計算した速度の候補値 $V_3(t, t+1)$ と $V_4(t, t+1)$ との平均値と、履歴変位 $V_{cal1}(t-2, t)$ の絶対値と履歴変位 $V_{cal2}(t-1, t+1)$ の絶対値の平均値とが一致しない場合、測定対象 11 が変位状態で等速度運動以外の運動をしていると判定してもよい。

【0173】

あるいは、状態判定部 82a は、測定対象 11 が微小変位状態にあると仮定して計算した速度の候補値 $V_1(t, t+1)$ の絶対値と $V_2(t, t+1)$ の絶対値が、距離の候補値 $L_3(t, t+1)$ と $L_4(t, t+1)$ との平均値に波長変化率 $(b-a)/b$ を掛けた値と等しく、かつ測定対象 11 が変位状態にあると仮定して計算した速度の候補値 $V_3(t, t+1)$ と $V_4(t, t+1)$ との平均値と、履歴変位 $V_{cal3}(t-2, t)$ の絶対値と履歴変位 $V_{cal4}(t-1, t+1)$ の絶対値の平均値とが一致しない場合、測定対象 11 が変位状態で等速度運動以外の運動をしていると判定してもよい。

以上で、ステップ S603 の処理が終了する。状態判定部 82a のステップ S603 の判定動作を図 36 に示す。

【0174】

次に、演算装置 8 の速度確定部 83a は、状態判定部 82a の判定結果に基づいて測定

10

20

30

40

50

対象 11 の速度の絶対値を確定する（図 34 ステップ S505）。すなわち、速度確定部 83a は、測定対象 11 が微小変位状態で等速度運動あるいは等速度運動以外の運動をしていると判定された場合、記憶部 80 に記憶されている速度の候補値 $V_1(t, t+1)$ と $V_2(t, t+1)$ との平均値を、時刻 $t-1$ から $t+1$ における測定対象 11 の速度の絶対値として確定する（ステップ S505）。

【0175】

また、速度確定部 83a は、測定対象 11 が変位状態で等速度運動あるいは等速度運動以外の運動をしていると判定された場合、記憶部 80 に記憶されている速度の候補値 $V_3(t, t+1)$ と $V_4(t, t+1)$ との平均値を、時刻 $t-1$ から $t+1$ における測定対象 11 の速度の絶対値として確定する（ステップ S505）。

10

【0176】

なお、速度確定部 83a は、測定対象 11 が微小変位状態で等速度運動あるいは等速度運動以外の運動をしていると判定された場合、記憶部 80 に記憶されている速度の候補値 $V_5(t)$ を時刻 $t-1$ から t における測定対象 11 の速度の絶対値として確定するようにしてもよい（ステップ S505）。また、速度確定部 83a は、測定対象 11 が変位状態で等速度運動あるいは等速度運動以外の運動をしていると判定された場合、記憶部 80 に記憶されている速度の候補値 $V_6(t)$ を時刻 $t-1$ から t における測定対象 11 の速度の絶対値として算出するようにしてもよい（ステップ S505）。

【0177】

次に、速度確定部 83a は、図 8 のステップ S205 と同様に式（14）、式（15）を算出して、測定対象 11 の速度の方向を確定する（図 34 ステップ S506）。なお、速度確定部 83a は、ステップ S505 において式（2）～式（5）の算出結果を用いる代わりに式（6）あるいは式（7）の算出結果を用いて速度の絶対値を確定する場合は、MHP の数 $X(t)$ と $Y(t)$ の大小を比較し、 $Y(t)$ よりも $X(t)$ が大きい場合は測定対象 11 が近づきつつあると判定し、 $X(t)$ よりも $Y(t)$ が大きい場合は測定対象 11 が遠ざかりつつあると判定する（ステップ S506）。

20

【0178】

次に、距離確定部 84a は、状態判定部 82a の判定結果に基づいて測定対象 11 との距離を確定する（図 34 ステップ S507）。すなわち、距離確定部 84a は、測定対象 11 が微小変位状態で等速度運動あるいは等速度運動以外の運動をしていると判定された場合、記憶部 80 に記憶されている距離の候補値 $L_1(t, t+1)$ と $L_2(t, t+1)$ との平均値を、時刻 $t-1$ から $t+1$ における測定対象 11 との平均距離として確定する（ステップ S507）。

30

【0179】

また、距離確定部 84a は、測定対象 11 が変位状態で等速度運動あるいは等速度運動以外の運動をしていると判定された場合、記憶部 80 に記憶されている距離の候補値 $L_3(t, t+1)$ と $L_4(t, t+1)$ との平均値を、時刻 $t-1$ から $t+1$ における測定対象 11 との平均距離として確定する（ステップ S507）。

【0180】

なお、距離確定部 84a は、測定対象 11 が微小変位状態で等速度運動あるいは等速度運動以外の運動をしていると判定された場合、記憶部 80 に記憶されている距離の候補値 $L_5(t)$ を時刻 $t-1$ から t における測定対象 11 との平均距離として確定するようにしてもよい（ステップ S507）。また、距離確定部 84a は、測定対象 11 が変位状態で等速度運動あるいは等速度運動以外の運動をしていると判定された場合、記憶部 80 に記憶されている距離の候補値 $L_6(t)$ を時刻 $t-1$ から t における測定対象 11 との平均距離として確定するようにしてもよい（ステップ S507）。

40

【0181】

演算装置 8 は、以上のようなステップ S501～S507 の処理を例えばユーザから計測終了の指示があるまで（図 34 ステップ S508 において YES）、計数装置 7 によって MHP の数が算出される時刻毎に行う。演算装置 8 以外の構成は、第 1 の実施の形態と

50

同じである。

本実施の形態では、ノイズ等の影響により第1の実施の形態において測定対象11の状態を判定できない場合でも、測定対象11の状態を判定して、測定対象11との距離及び測定対象11の速度を算出することができる。

【0182】

[第5の実施の形態]

次に、本発明の第5の実施の形態について説明する。測定対象11が等速度運動以外の運動をしている場合、測定対象11の加速度の符号が変化するとき運動状態の該当領域でない式の符号が反転してしまうため、誤判断が生じる。そこで、第4の実施の形態において、演算装置8の状態判定部82aは、式(35)の履歴変位 $V_{cal} = 2(t - 1, t + 1)$ と式(37)の履歴変位 $V_{cal} = 4(t - 1, t + 1)$ の符号が一致する場合、測定対象11が等速度運動していると判定し、式(39)の履歴変位 $V_{cal} = 2(t - 1, t + 1)$ と式(41)の履歴変位 $V_{cal} = 4(t - 1, t + 1)$ の符号が一致する場合、測定対象11が等速度運動以外の運動をしていると判定するようにしてもよい。

【0183】

[第6の実施の形態]

第1～第5の実施の形態では、自己結合型の干渉計に本発明を適用する場合について説明したが、自己結合型以外の干渉計に本発明を適用することもできる。図37は本発明の第6の実施の形態となる距離・速度計の構成を示すブロック図であり、図1と同一の構成には同一の符号を付してある。図37において、12-1、12-2は入射光と反射光を分離するビームスプリッタである。

【0184】

半導体レーザ1-1、1-2のレーザ光が、互いに平行に出射して測定対象11に入射することは第1の実施の形態と同じである。ビームスプリッタ12-1、12-2及びレンズ3-1、3-2を通過したレーザ光は、測定対象11に入射する。そして、本実施の形態では、測定対象11で反射された半導体レーザ1-1、1-2の光は、それぞれビームスプリッタ12-1、12-2により測定対象11への入射光と分離されて、フォトダイオード2-1、2-2に導かれる。

フォトダイオード2-1、2-2以降の構成は第1～第6の実施の形態と同様であるので、説明は省略する。こうして、自己結合型以外の干渉計においても、第1～第6の実施の形態と同様の効果を得ることができる。

【0185】

第1～第6の実施の形態における計数装置7と演算装置8は、例えばCPU、記憶装置及びインタフェースを備えたコンピュータとこれらのハードウェア資源を制御するプログラムによって実現することができる。このようなコンピュータを動作させるためのプログラムは、フレキシブルディスク、CD-ROM、DVD-ROM、メモ리카ードなどの記録媒体に記録された状態で提供される。CPUは、読み込んだプログラムを記憶装置に書き込み、このプログラムに従って第1～第6の実施の形態で説明した処理を実行する。

【0186】

なお、第1～第6の実施の形態において、測定対象11が非常に小さな変位を持つ振動時(例えば最大速度2nm)、実際の距離の変化(振幅)は数nmであるが、距離算出の分解能が変位分解能よりも低いため、誤差が大きくなる。そこで、測定対象が微小な変位を有する運動状態にある場合、算出結果の代わりに、変位(速度)を積分した値を距離の変化とした方が精度が向上する。

【0187】

また、第1～第6の実施の形態では、半導体レーザ1-1と1-2の最小発振波長 a が同一で、かつ半導体レーザ1-1と1-2の最大発振波長 b が同一の場合について説明したが、これに限るものではなく、図38に示すように、半導体レーザ1-1と1-2の間で最小発振波長 a 及び最大発振波長 b が異なってもよい。図38において、

a_1 、 b_1 は半導体レーザ1-1の最小発振波長、最大発振波長、 a_2 、 b_2 は

10

20

30

40

50

半導体レーザ 1 - 2 の最小発振波長、最大発振波長である。この場合、 $a_1 \times b_1 / \{4 \times (b_1 - a_1)\}$ と $a_2 \times b_2 / \{4 \times (b_2 - a_2)\}$ とが常に同一の固定値であればよい。この場合、式(2)～式(13)における a , b としては、 a_1 , b_1 を使ってもよいし、 a_2 , b_2 を使ってもよい。

【0188】

また、第1～第6の実施の形態では、半導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 を三角波状に発振させていたが、これに限るものではなく、図39に示すように半導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 を鋸波状に発振させてもよい。すなわち、本発明では、少なくとも第1の発振期間 P_1 が繰り返し存在するように半導体レーザ 1 - 1 を動作させ、半導体レーザ 1 - 1 と発振波長の増減が逆になるように半導体レーザ 1 - 2 を動作させればよい。図38の場合と同様に a_1 , a_2 , b_1 , b_2 でもよいし、図2の場合と同様に $a_1 = a_2$, $b_1 = b_2$ でもよい。

【0189】

第1の発振期間 P_1 における動作は、三角波発振の場合と同様である。ただし、半導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 を鋸波状に発振させる場合、計数装置7の切替スイッチ70, 70aの出力は固定しておく必要がある。つまり、切替スイッチ70, 70aは、フィルタ回路6-1の出力を常に周期測定部71-1、判定部73-1の入力に接続し、フィルタ回路6-2の出力を常に周期測定部71-2、判定部73-2の入力に接続する。

なお、半導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 を三角波状に発振させる場合は、測定対象11の状態に関係なく、振幅調整装置10による振幅調整が可能であるが、半導体レーザ 1 - 1 , 1 - 2 を鋸波状に発振させる場合は、測定対象11が静止状態の場合のみ振幅調整が可能である。

【産業上の利用可能性】

【0190】

本発明は、測定対象との距離及び測定対象の速度を計測する技術に適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0191】

【図1】本発明の第1の実施の形態となる距離・速度計の構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態における半導体レーザの発振波長の時間変化の1例を示す図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態における電流・電圧変換増幅器の出力電圧波形及びフィルタ回路の出力電圧波形を模式的に示す図である。

【図4】本発明の第1の実施の形態における計数装置の構成の1例を示すブロック図である。

【図5】図4の計数装置の動作を示すフローチャートである。

【図6】図4の計数装置の計数期間を示す図である。

【図7】本発明の第1の実施の形態における演算装置の構成の1例を示すブロック図である。

【図8】図7の演算装置の動作を示すフローチャートである。

【図9】半導体レーザの波長変化の切り替わりに伴うモードホップパルスの変化を説明するための図である。

【図10】本発明の第1の実施の形態においてレーザドライバから半導体レーザに供給される三角波駆動電流の振幅の調整方法を説明するための図である。

【図11】半導体レーザの波長変化が切り替わるタイミングの前後において速度あるいは距離の算出結果に連続性を持たせる方法を説明するための図である。

【図12】本発明の第2の実施の形態における計数装置の構成の1例を示すブロック図である。

【図13】図12の計数装置の動作を示すフローチャートである。

【図14】図12の計数装置における計数結果補正部の構成の1例を示すブロック図であ

10

20

30

40

50

る。

【図 1 5】図 1 2 の計数装置の動作を説明するための図である。

【図 1 6】モードホップパルスの周期の度数分布の 1 例を示す図である。

【図 1 7】本発明の第 2 の実施の形態におけるカウンタの計数結果の補正原理を説明するための図である。

【図 1 8】モードホップパルスの周期の度数分布を示す図である。

【図 1 9】ノイズを含むモードホップパルスの周期の度数分布を示す図である。

【図 2 0】ノイズを含むモードホップパルスの周期の中央値を示す図である。

【図 2 1】周期が 2 分割されたモードホップパルスの周期の確率分布を示す図である。

【図 2 2】周期が 2 分割されたモードホップパルスの周期の度数分布を示す図である。

【図 2 3】周期が 2 分割されたモードホップパルスの周期の度数分布を示す図である。

【図 2 4】周期が 2 分割されたモードホップパルスの周期の度数分布を示す図である。

【図 2 5】カウンタ値補正後の誤差を示す図である。

【図 2 6】2 倍の周期になったモードホップパルスの周期の度数分布を示す図である。

【図 2 7】計数時に欠落したモードホップパルスのうち 2 分割されたモードホップパルスの周期の度数分布を示す図である。

【図 2 8】計数時に欠落したモードホップパルスのうち 2 分割されたモードホップパルスの周期の度数分布を示す図である。

【図 2 9】計数時に欠落と過剰な計数が同時に発生した場合のモードホップパルスの周期の度数分布を示す図である。

【図 3 0】本発明の第 3 の実施の形態における計数装置の構成の 1 例を示すブロック図である。

【図 3 1】図 3 0 の計数装置の動作を示すフローチャートである。

【図 3 2】図 3 0 の計数装置における計数結果補正部の構成の 1 例を示すブロック図である。

【図 3 3】本発明の第 4 の実施の形態における演算装置の構成の 1 例を示すブロック図である。

【図 3 4】図 3 3 の演算装置の動作を示すフローチャートである。

【図 3 5】図 3 3 の演算装置における状態判定部の動作を示すフローチャートである。

【図 3 6】図 3 3 の演算装置における状態判定部の判定動作を示す図である。

【図 3 7】本発明の第 6 の実施の形態となる距離・速度計の構成を示すブロック図である。

【図 3 8】本発明の第 1 ～ 第 6 の実施の形態における半導体レーザの発振波長の時間変化の他の例を示す図である。

【図 3 9】本発明の第 1 ～ 第 6 の実施の形態における半導体レーザの発振波長の時間変化の他の例を示す図である。

【図 4 0】従来のレーザ計測器における半導体レーザの複合共振器モデルを示す図である。

【図 4 1】半導体レーザの発振波長と内蔵フォトダイオードの出力波形との関係を示す図である。

【図 4 2】従来の距離・速度計の構成を示すブロック図である。

【図 4 3】図 4 2 の距離・速度計における半導体レーザの発振波長の時間変化の 1 例を示す図である。

【符号の説明】

【0 1 9 2】

1 - 1 , 1 - 2 ... 半導体レーザ、2 - 1 , 2 - 2 ... フォトダイオード、3 - 1 , 3 - 2 ... レンズ、4 - 1 , 4 - 2 ... レーザドライバ、5 - 1 , 5 - 2 ... 電流 - 電圧変換増幅器、6 - 1 , 6 - 2 ... フィルタ回路、7 ... 計数装置、8 ... 演算装置、9 ... 表示装置、10 ... 振幅調整装置、11 ... 測定対象、12 - 1 , 12 - 2 ... ビームスプリッタ、70 , 70 a ... 切替スイッチ、71 - 1 , 71 - 2 , 71 a - 1 , 71 a - 2 , 760 ... 周期測定部、7

10

20

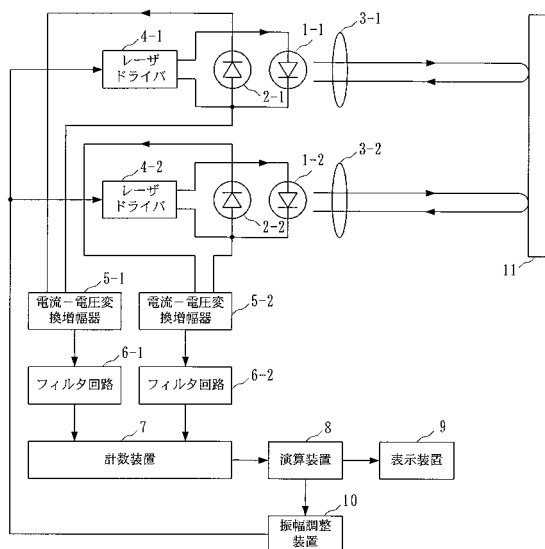
30

40

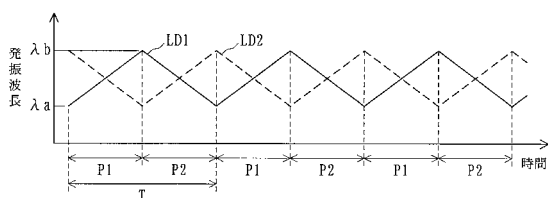
50

2 - 1 , 7 2 - 2 ... 変換部、7 3 - 1 , 7 3 - 2 ... 判定部、7 4 - 1 , 7 4 - 2 ... 論理積演算部、7 5 - 1 , 7 5 - 2 ... カウンタ、7 6 - 1 , 7 6 - 2 , 7 6 a - 1 , 7 6 a - 2 ... 計数結果補正部、7 7 ... 記憶部、7 8 - 1 , 7 8 - 2 ... 周期和算出部、7 9 - 1 , 7 9 - 2 ... 個数算出部、7 6 1 , 7 6 1 a ... 度数分布作成部、7 6 2 , 7 6 2 a ... 中央値算出部、7 6 3 , 7 6 3 a ... 補正值算出部、8 0 ... 記憶部、8 1 ... 距離・速度算出部、8 2 , 8 2 a ... 状態判定部、8 3 , 8 3 a ... 速度確定部、8 4 , 8 4 a ... 距離確定部、8 5 ... 履歴変位算出部。

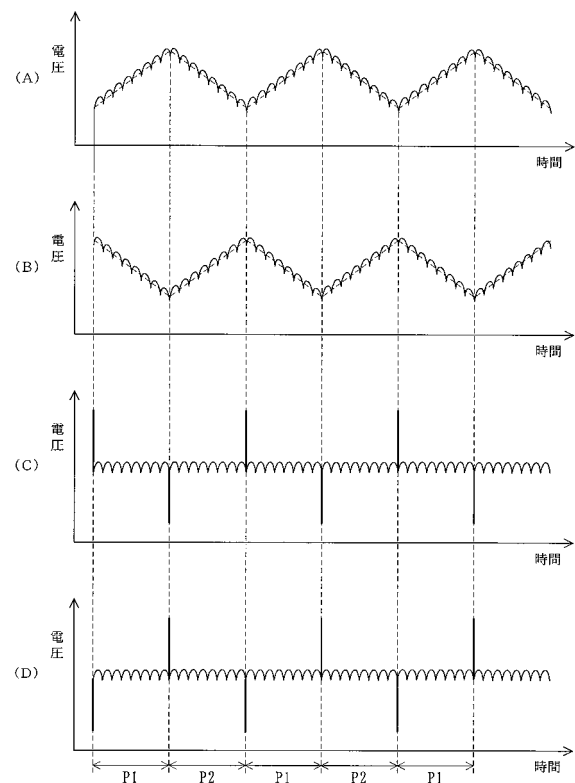
【図 1】



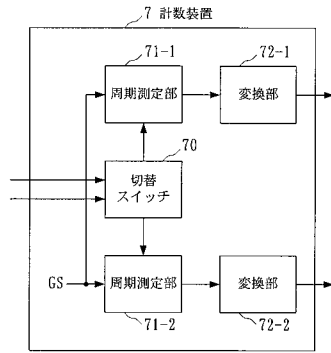
【図 2】



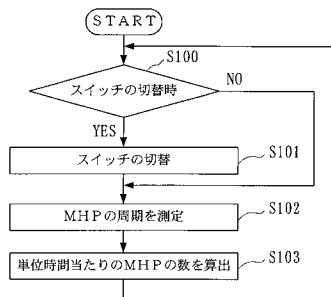
【図 3】



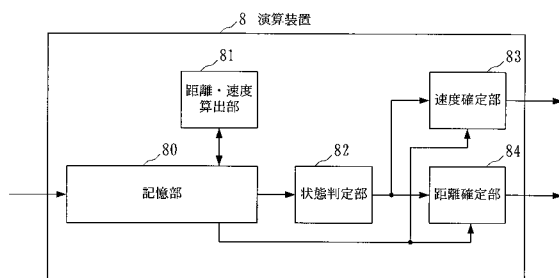
【図 4】



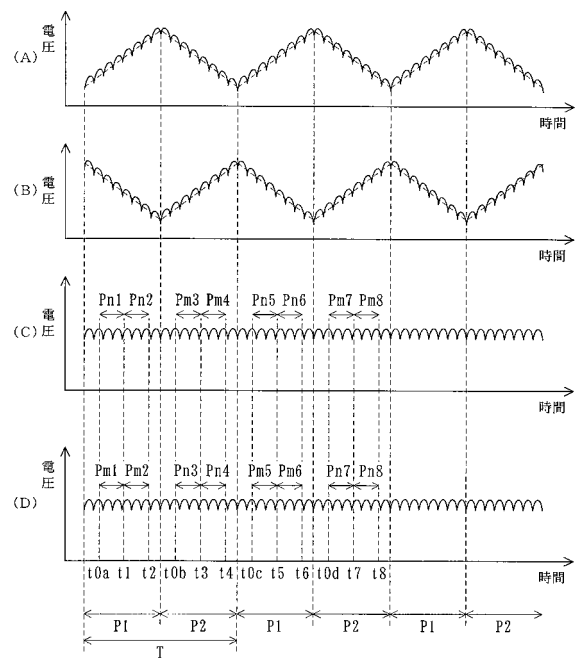
【図 5】



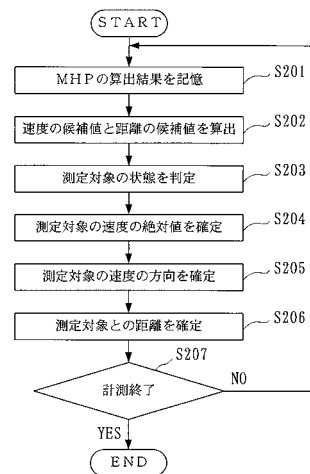
【図 7】



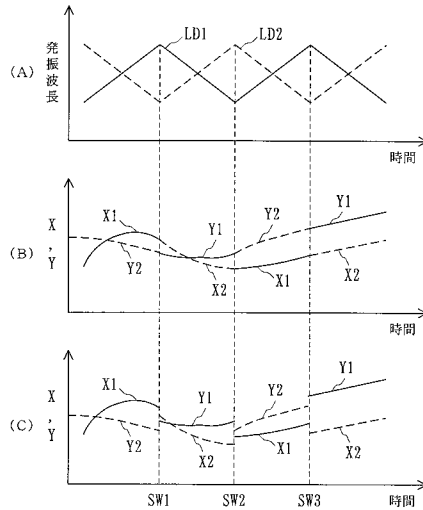
【図 6】



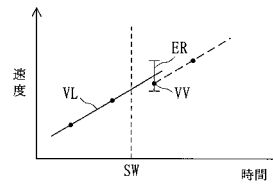
【図 8】



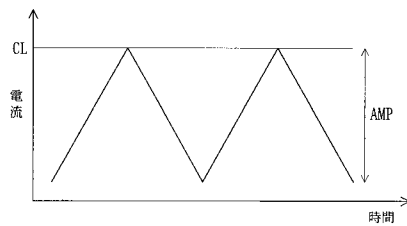
【図 9】



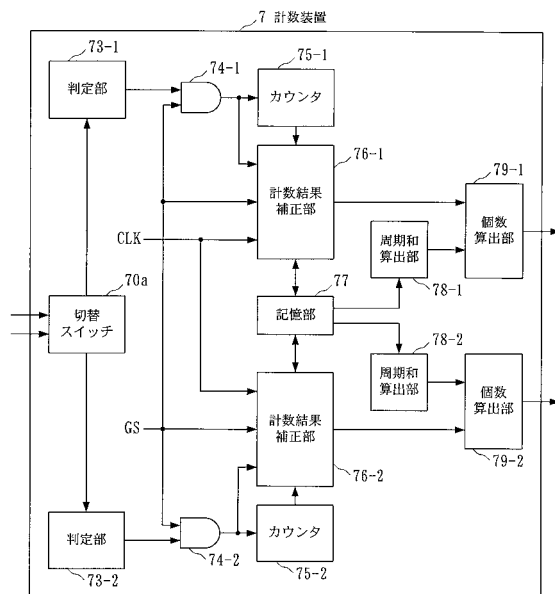
【図 11】



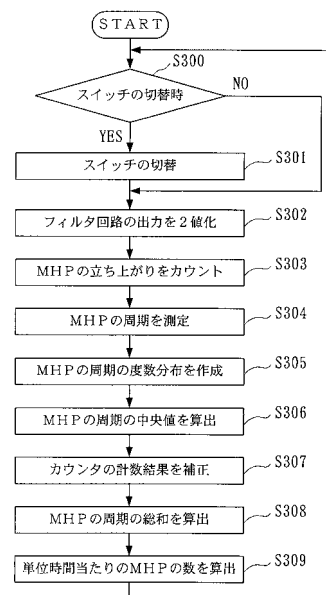
【図 10】



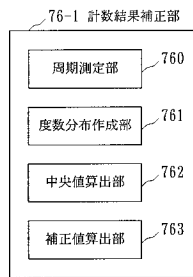
【図 12】



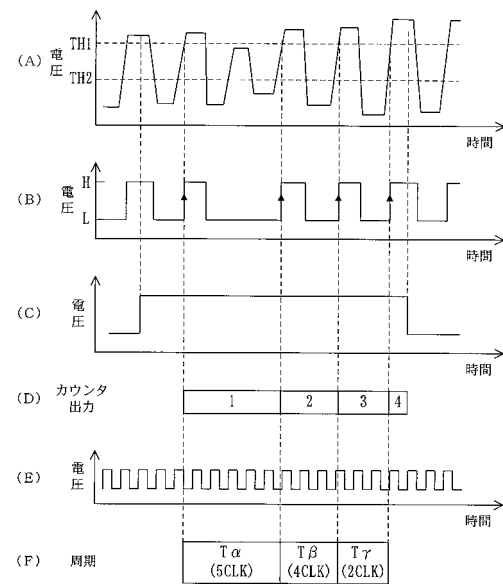
【図 13】



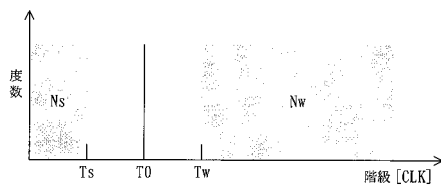
【図 14】



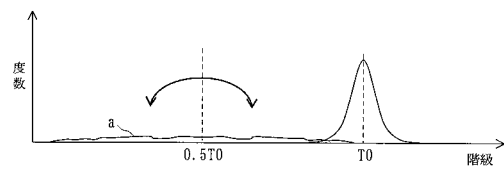
【図 15】



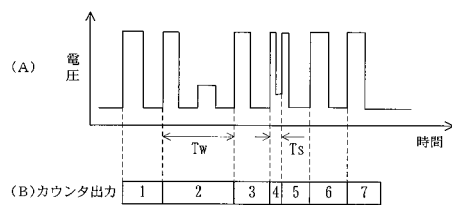
【図 16】



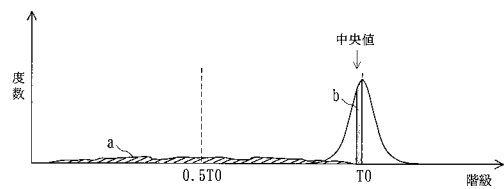
【図 19】



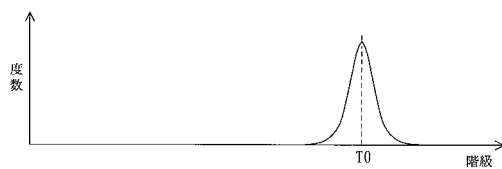
【図 17】



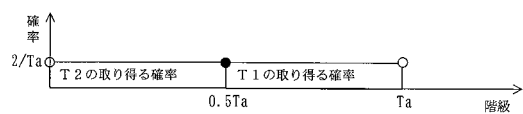
【図 20】



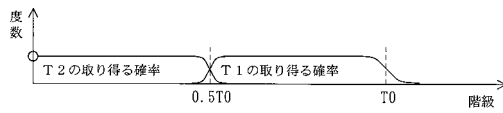
【図 18】



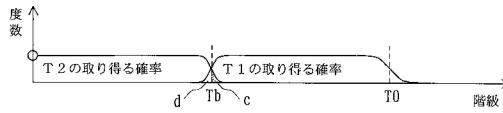
【図 21】



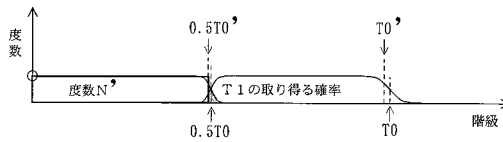
【図 22】



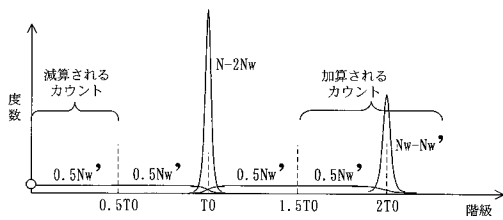
【図 23】



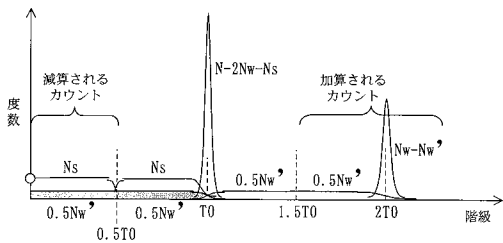
【図 24】



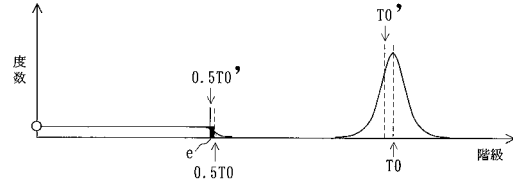
【図 28】



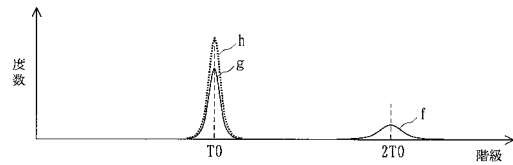
【図 29】



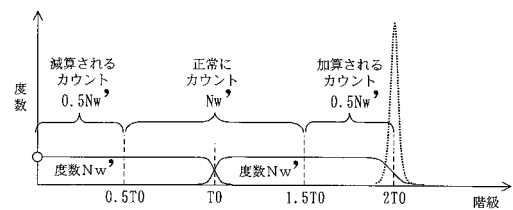
【図 25】



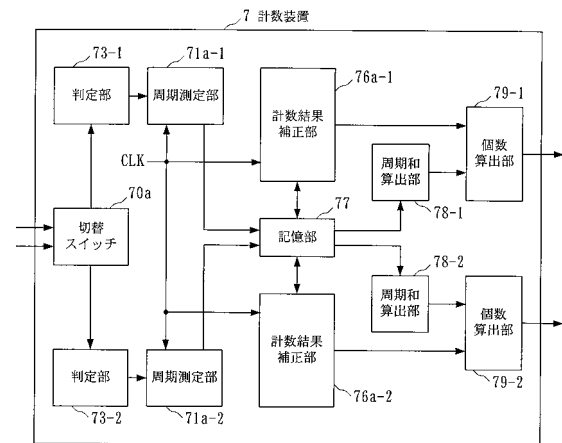
【図 26】



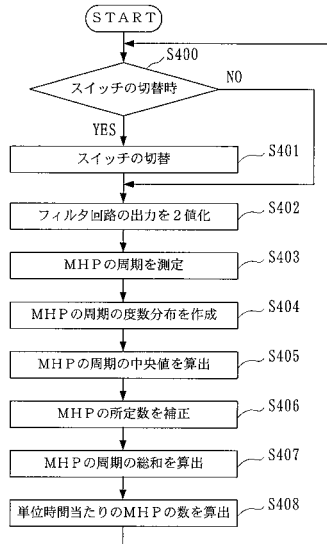
【図 27】



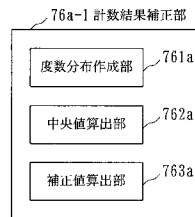
【図 30】



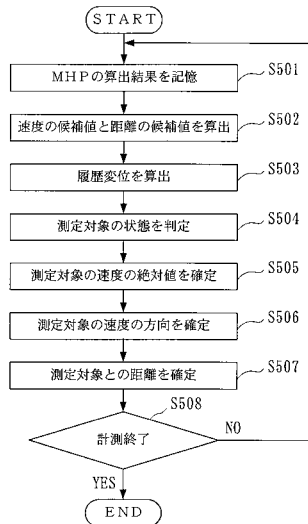
【図 3 1】



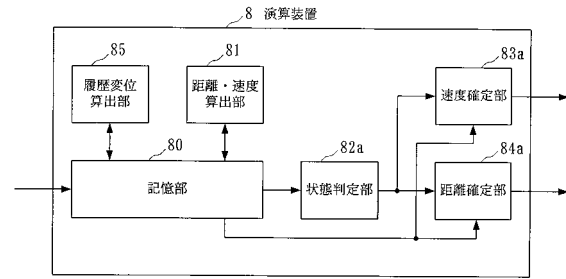
【図 3 2】



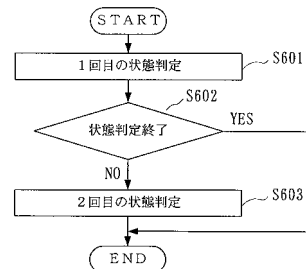
【図 3 4】



【図 3 3】



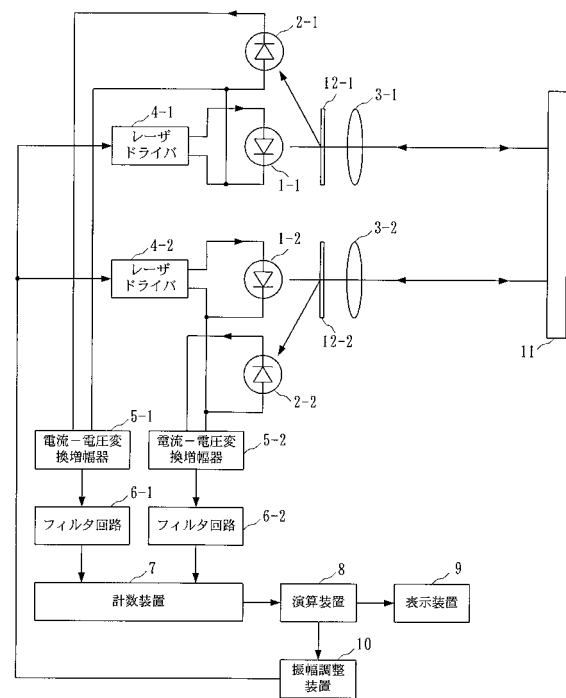
【図 3 5】



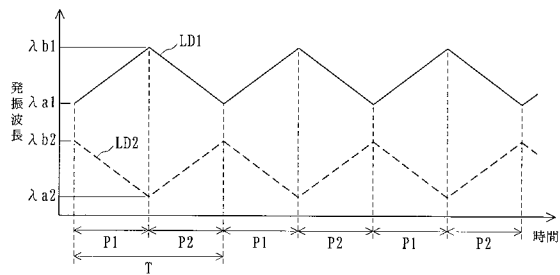
【図 36】

		履歴変位		速度の候補値	
		$V_{cal\alpha}$	$V_{cal\beta}$	V_{α}	V_{β}
移動	微小変位状態	符号一定	符号算出毎に反転	—	—
	変位状態	符号算出毎に反転	符号一定	—	—
振動	微小変位状態	符号算出毎に反転	—	—	速度の候補値の絶対値が、測定対象が微小変位状態にあると仮定して計算した距離の候補値に波長変化率を掛けた値と一致
	変位状態	—	符号算出毎に反転	速度の候補値の絶対値が、測定対象が変位状態にあると仮定して計算した距離の候補値に波長変化率を掛けた値と一致	—

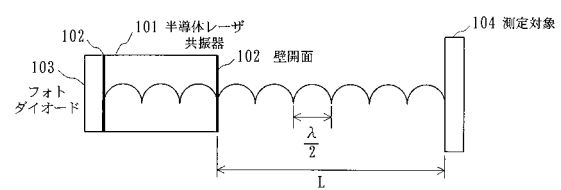
【図 37】



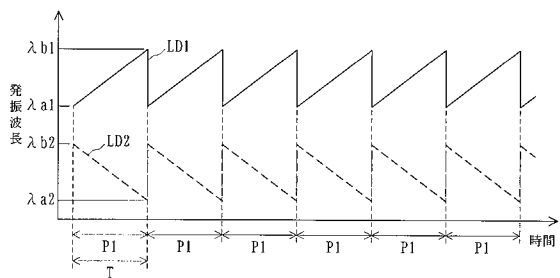
【図 38】



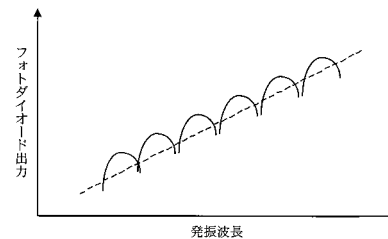
【図 40】



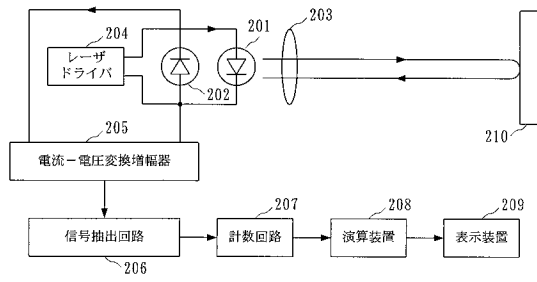
【図 39】



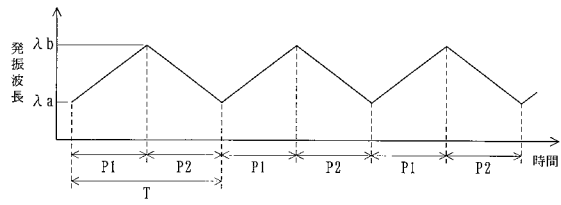
【図 41】



【図 4 2】



【図 4 3】



フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2006/120857(WO,A1)
国際公開第2006/088974(WO,A1)
特開平2-112784(JP,A)
特開2006-250853(JP,A)
特開平9-257415(JP,A)
特開2006-322932(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

G01S 17/00~17/95、
7/48~7/51
G01B 9/00~9/10
G01P 3/36