(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2012-103080
(P2012-103080A)
(43)公開日　平成24年5月31日(2012.5.31)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
G01B 9/02	(2006.01)	G01B 9/02		2F064
G01J 9/02	(2006.01)	G01J 9/02		2F065
G01B 11/00	(2006.01)	G01B 11/00	G	

審査請求 未請求　請求項の数 7　ＯＬ　（全 20 頁）

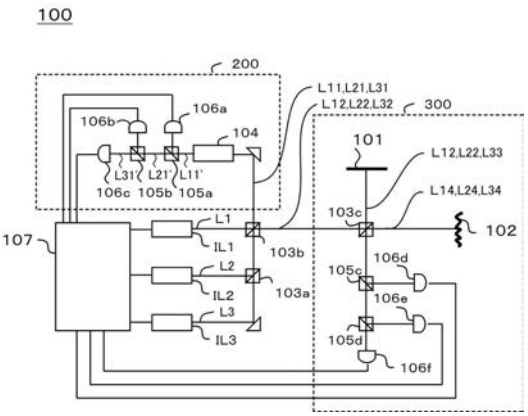
(21)出願番号　特願2010-251278 (P2010-251278)
(22)出願日　平成22年11月9日 (2010.11.9)

(71)出願人　000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号
(74)代理人　100076428
弁理士　大塚　康徳
(74)代理人　100112508
弁理士　高柳　司郎
(74)代理人　100115071
弁理士　大塚　康弘
(74)代理人　100116894
弁理士　木村　秀二
(74)代理人　100130409
弁理士　下山　治
(74)代理人　100134175
弁理士　永川　行光

最終頁に続く

(54)【発明の名称】計測装置

(57)【要約】　（修正有）
【課題】簡易な構成で参照面と被検物との間の絶対距離を高精度かつ高速に計測する。
【解決手段】第１の波長走査範囲について検出された第１の干渉信号による波数に対する前記第１の干渉信号の位相の傾きである第１の位相の傾きと前記第１の波長走査範囲に含まれる任意の波数における前記第１の干渉信号の位相である第１の位相の端数成分とを決定し第２の波長走査範囲について検出された第２の干渉信号に基づいて前記第２の波長走査範囲に含まれる任意の波数における前記第２の干渉信号の位相である第２の位相の端数成分を決定し前記第１の位相の傾きと前記第１の位相の端数成分と前記第２の位相の端数成分とにより第１の干渉次数差を決定し前記第１の干渉次数差と前記第１の位相の端数成分と前記第２の位相の端数成分とにより前記光束の波数に対する前記第１の干渉信号および前記第２の干渉信号を含む干渉信号の位相の傾きである第２の位相の傾きを決定する。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
参照面と被検面との間の絶対距離を計測する計測装置であって、
発生する光束の波長を互いに離散した複数の波長走査範囲のそれぞれにおいて連続的に走査する光源部と、
前記複数の波長走査範囲のそれぞれについて、前記光源部から射出される光束を参照光束と被検光束とに分割し、前記参照面で反射された前記参照光束と前記被検面で反射された前記被検光束とによって形成される干渉縞を干渉信号として検出する干渉計ユニットと、
前記複数の波長走査範囲のそれぞれについて前記干渉計ユニットによって検出された干渉信号に基づいて、前記光束の波数に対する前記干渉信号の位相の傾きを決定し、前記位相の傾きから前記絶対距離を決定する処理部とを備え、
前記処理部は、
前記複数の波長走査範囲の１つである第１の波長走査範囲について前記干渉計ユニットによって検出された第１の干渉信号に基づいて、前記光束の波数に対する前記第１の干渉信号の位相の傾きである第１の位相の傾きと、前記第１の波長走査範囲に含まれる任意の波数における前記第１の干渉信号の位相である第１の位相の端数成分とを決定し、
前記複数の波長走査範囲の他の１つである第２の波長走査範囲について前記干渉計ユニットによって検出された第２の干渉信号に基づいて、前記第２の波長走査範囲に含まれる任意の波数における前記第２の干渉信号の位相である第２の位相の端数成分を決定し、
前記第１の位相の傾きと、前記第１の位相の端数成分と、前記第２の位相の端数成分とに基づいて、前記第１の位相と前記第２の位相との間の干渉次数差である第１の干渉次数差を決定し、
前記第１の干渉次数差と、前記第１の位相の端数成分と、前記第２の位相の端数成分とに基づいて、前記絶対距離を決定するための更新された位相の傾きとして、前記光束の波数に対する前記第１の干渉信号および前記第２の干渉信号を含む干渉信号の位相の傾きである第２の位相の傾きを決定する、
ことを特徴とする計測装置。
【請求項２】
前記処理部は、前記第１の干渉信号を周波数解析することによって前記第１の干渉信号の位相の傾きを求め、前記第１の干渉信号の位相の傾きを使って前記第１の干渉信号を離散フーリエ変換することによって前記第１の位相を求める、
ことを特徴とする請求項１に記載の計測装置。
【請求項３】
前記複数の波長走査範囲の個数は３個であり、
前記処理部は、更に、
第３の波長走査範囲について前記干渉計ユニットによって検出された第３の干渉信号に基づいて、前記第３の波長走査範囲に含まれる任意の波数における前記第３の干渉信号の位相である第３の位相の端数成分を決定し、
前記第２の位相の傾きに基づいて、前記第１の位相と前記第３の位相との間の干渉次数差である第２の干渉次数差を決定し、
前記第２の干渉次数差と、前記第１の位相の端数成分と、前記第３の位相の端数成分とに基づいて、前記光束の波数に対する前記第１の干渉信号から前記第３の干渉信号までを含む干渉信号の位相の傾きである第３の位相の傾きを決定し、
前記第３の位相の傾きから前記絶対距離を決定する、
ことを特徴とする請求項１又は２に記載の計測装置。
【請求項４】
前記複数の波長走査範囲の個数はＮ個（Ｎは４以上の整数）であり、
前記処理部は、
第ｉの波長走査範囲について前記干渉計ユニットによって検出された第（ｉ－１）の干

涉信号に基づいて、前記第ｉの波長走査範囲に含まれる任意の波数における前記第ｉの干涉信号の位相である第iの位相の端数成分を決定し、
第（ｉ－１）の位相の傾きに基づいて、前記第１の位相と前記第ｉの位相との間の干涉次数差である第（ｉ－１）の干涉次数差を決定し、
前記第（ｉ－１）の干涉次数差と、前記第１の位相の端数成分と、前記第ｉの位相の端数成分とに基づいて、前記光束の波数に対する前記第１の干涉信号から前記第ｉの干涉信号までを含む干涉信号の位相の傾きである第ｉの位相の傾きを決定する、
という処理をｉ＝３からｉ＝Ｎとなるまでｉを１ずつ増加させながら繰り返すことによって第Ｎの位相の傾きを決定し、前記第Ｎの位相の傾きから前記絶対距離を決定する、
ことを特徴とする請求項１又は２に記載の計測装置。

【請求項５】
第（ｉ－１）の波長走査範囲と前記第ｉの波長走査範囲との離散間隔は、第（ｉ－２）の波長走査範囲と前記第（ｉ－１）の波長走査範囲との離散間隔よりも大きい、
ことを特徴とする請求項４に記載の計測装置。

【請求項６】
前記処理部は、前記複数の波長走査範囲のいずれかの波長走査範囲に含まれる任意の波数における干涉信号の干涉次数および位相の端数成分に基づいて前記絶対距離を決定する、
ことを特徴とする請求項１乃至５のいずれか１項に記載の計測装置。

【請求項７】
前記光源部は、複数の波長走査範囲でそれぞれ波長を走査するための複数の光源を含み、前記複数の光源により前記複数の波長走査範囲を同時に走査し、前記干涉計ユニットは、前記複数の光源からの複数の光束によってそれぞれ形成される複数の干涉縞を検出する複数の検出部を含む、
ことを特徴とする請求項１乃至６のいずれか１項に記載の計測装置。

【請求項８】
前記光源部は、前記複数の波長走査範囲のそれぞれについての波長の走査を逐次的に行う、
ことを特徴とする請求項１乃至６のいずれか１項に記載の計測装置。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、参照面と被検面との間の絶対距離を計測する計測装置に関する。

【背景技術】
【０００２】
参照面と被検物との間の絶対距離を計測する計測装置として、波長走査干涉計が知られている。波長走査干涉計では、光源が発生する光の波長を時間的に走査することによって得られる干涉光の強度や位相の時間的な変化に基づいて参照面と被検物との間の絶対距離を求める。波長走査干涉計では、波長走査範囲を大きくすると計測精度が向上する。また、最大の計測レンジは、光源が発生する光のコヒーレンス長に依存するため、長い絶対距離を計測するためには、コヒーレンス長の大きい光を発生するシングルモードレーザを使用することが好ましい。
【０００３】
非特許文献１では、波長を約１００ｎｍ幅で走査し、各波長における干涉光の強度をＦＦＴ処理した上で、変調周波数のピークを検出することにより、絶対距離を得る波長走査干涉計が報告されている。非特許文献１によれば、補間等によりＦＦＴ後のピーク検出精度をＦＦＴピッチの１／１００まで向上させることにより、計測レンジ１．５６ｍｍを分解能０．０６μｍで計測可能である。
【０００４】
また、波長走査干涉計の計測方式の１つであるＦＭヘテロダイン法では、固定波長での

干渉信号の強度を計測し、波長走査によって生じる干渉信号の強度変化から絶対距離を計算する。例えば、特許文献１には、ＦＭヘテロダイン法において、基準干渉計を用いて（即ち、基準干渉計の長さを基準として）波長の走査量を保証すると共に、エタロンやガスセルなどの波長基準を用いて固定波長を保証する技術が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００５】

【特許文献１】特許第２７２５４３４号公報

【非特許文献】

【０００６】

【非特許文献１】郭志徹他、「波長走査干渉計における信号処理」、精密光学会誌、日本、社団法人精密光学会、２００３年、第６９巻第６号第８３１頁

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００７】

しかしながら、波長走査干渉計において、所望の計測精度、計測レンジ、計測速度を得ようとする場合に、所望の波長走査範囲、コヒーレンス長、波長走査速度を同時に満たす光源を使用する必要がある。したがって、波長走査干渉計の構成において光源の選定に大きな制約がかかってしまう。

【０００８】

非特許文献１において報告された波長走査干渉計では、波長走査範囲については１００ｎｍと大きいために良好な計測精度が得られているが、光源のコヒーレンス長は短いために計測レンジが１．６ｍｍ程度と小さくなってしまう。

【０００９】

外部共振器型の半導体レーザでは、シングルモードで発振しコヒーレンス長の大きいものが知られているが、大きな波長走査範囲を得る場合は、高速な波長走査を得られない場合が多い上に、高価である。また、安価な分布帰還型レーザ（ＤＦＢレーザ）を用いる場合も、温度変調による波長走査によって大きな波長走査範囲を得ることが可能だが、追随に時間がかかるために高速に波長走査できない。また、垂直共振器面発光レーザ（ＶＣＳＥＬ）やＤＦＢレーザに与える電流を変化させることで高速に波長走査することが可能であるが、その場合、大きな波長走査範囲を得ることができない。

【００１０】

また、特許文献１に開示された技術では、精度を向上させるためには波長走査範囲を大きくする必要があるため、光源が高価なものになってしまう。また、基準干渉計が必要となるため、干渉計の構成が複雑になると共に、基準となる基準干渉計の長さの変動によって計測精度が低下してしまう。

【００１１】

本発明は、上記の課題認識を契機としてなされたものであり、簡易な構成でありながら参照面と被検物との間の絶対距離を高精度かつ高速に計測するために有利な計測装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【００１２】

本発明の１つの側面は、参照面と被検面との間の絶対距離を計測する計測装置に係り、前記計測装置は、発生する光束の波長を互いに離散した複数の波長走査範囲のそれぞれにおいて連続的に走査する光源部と、前記複数の波長走査範囲のそれぞれについて、前記光源部から射出される光束を参照光束と被検光束とに分割し、前記参照面で反射された前記参照光束と前記被検面で反射された前記被検光束とによって形成される干渉縞を干渉信号として検出する干渉計ユニットと、前記複数の波長走査範囲のそれぞれについて前記干渉計ユニットによって検出された干渉信号に基づいて、前記光束の波数に対する前記干渉信号の位相の傾きを決定し、前記位相の傾きから前記絶対距離を決定する処理部とを備え、

前記処理部は、前記複数の波長走査範囲の１つである第１の波長走査範囲について前記干渉計ユニットによって検出された第１の干渉信号に基づいて、前記光束の波数に対する前記第１の干渉信号の位相の傾きである第１の位相の傾きと、前記第１の波長走査範囲に含まれる任意の波数における前記第１の干渉信号の位相である第１の位相の端数成分とを決定し、前記複数の波長走査範囲の他の１つである第２の波長走査範囲について前記干渉計ユニットによって検出された第２の干渉信号に基づいて、前記第２の波長走査範囲に含まれる任意の波数における前記第２の干渉信号の位相である第２の位相の端数成分を決定し、前記第１の位相の傾きと、前記第１の位相の端数成分と、前記第２の位相の端数成分とに基づいて、前記第１の位相と前記第２の位相との間の干渉次数差である第１の干渉次数差を決定し、前記第１の干渉次数差と、前記第１の位相の端数成分と、前記第２の位相の端数成分とに基づいて、前記絶対距離を決定するための更新された位相の傾きとして、前記光束の波数に対する前記第１の干渉信号および前記第２の干渉信号を含む干渉信号の位相の傾きである第２の位相の傾きを決定する。

【発明の効果】

【００１３】

本発明によれば、簡易な構成でありながら参照面と被検物との間の絶対距離を高精度かつ高速に計測するために有利な計測装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１４】

【図１】第１実施形態の計測装置（波長走査干渉計）の概略構成図。

【図２】干渉信号Ｓ１を例示する図。

【図３】第１実施形態において干渉信号Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３から絶対距離を決定処理の手順を概略的に示す図。

【図４】干渉信号Ｓ１およびその位相を例示する図。

【図５】位相の傾きを計算する方法を例示する図。

【図６】位相の傾きを計算する方法を例示する図。

【図７】第２実施形態の計測装置（波長走査干渉計）の概略構成図。

【図８】第２実施形態において干渉信号Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３から絶対距離を決定する処理の手順を概略的に示す図。

【図９】位相の傾きを計算する方法を例示する図。

【発明を実施するための形態】

【００１５】

本発明の実施形態の計測装置としての波長走査干渉計は、互いに離散したＮ個（Ｎは２以上の整数）の波長走査範囲（波数走査範囲）において光束の波数を走査するＮ個の波長走査光源を含む光源部を備えうる。該波長走査干渉計は、それぞれの波数走査範囲における参照光束と被検光束との干渉縞の検出信号である干渉信号に基づいて、以下に説明する絶対距離決定方法に従って、参照面と被検面との間の絶対距離を高精度に決定する。

【００１６】

該絶対距離決定方法では、第１の波数走査範囲で検出される干渉信号に基づいて、第１の波数走査範囲に含まれる任意の波数k_1における干渉信号の位相の端数成分ϕ_1と、第１の波数走査範囲における任意の波数k_1に対する干渉信号の位相の傾き$2L_1$を求める。更に、第２の波数走査範囲で検出される干渉信号に基づいて、第２の波数走査範囲に含まれる任意の波数k_2における干渉信号の位相の端数成分$\phi 2$を求める。更に、位相の傾き$2L_1$に基づいて、波数k_1における干渉信号と波数k_2における干渉信号の干渉次数差を決定することにより波数k_1と波数k_2との間における位相の傾き$2L_2$を新たに決定する。同様にして、第ｉの波数範囲における干渉信号に基づいて、第ｉの波数走査範囲に含まれる任意の波数k_iにおける干渉信号の位相の端数成分ϕ_iを決定する。更に、第（ｉ－１）番目までの波数範囲に基づいて位相の傾き$2L_{1(i-1)}$を求める。更に、位相の傾き$2L_{1(i-1)}$に基づいて、波数k_1における干渉信号と波数k_iにおける干渉信号との干渉次数差を決定することにより、波数k_1と波数k_iとの間における位相

の傾き$2L_{1i}$を更新された位相の傾きとして決定する。以上の方法をｉ＝Ｎとなるまで繰り返すことにより、最終的な絶対距離L_{1n}を得る。

【００１７】

図１を参照しながら本発明の第１実施形態の計測装置（波長走査干渉計）１００の構成を説明する。計測装置１００は、参照面１０１と被検物１０２との間の光路長差を絶対距離Ｌとして求める。計測装置１００は、互いに離散した複数（ここでは３個）の波長走査範囲を走査するための３個の光源ＩＬ１、ＩＬ２、ＩＬ３を含む光源部を備えている。光源ＩＬ１、ＩＬ２、ＩＬ３は、ＶＣＳＥＬでありうる。処理部１０７は、光源ＩＬ１、ＩＬ２、ＩＬ３に与える電流を変化させることによって光源ＩＬ１、ＩＬ２、ＩＬ３からそれぞれ射出される光束の波長（換言すれば、光束の波数）を連続的に変化させる。光源ＩＬ１はλ_{11}からλ_{12}の第１の波長走査範囲を、光源ＩＬ２はλ_{21}からλ_{22}の第２の波長走査範囲を、光源ＩＬ３はλ_{31}からλ_{32}の第３の波長走査範囲を同時に走査する。ここで、それぞれの波長は$\lambda_{11}>\lambda_{12}$、$\lambda_{21}>\lambda_{22}$、$\lambda_{31}>\lambda_{32}$であるものとする。光源ＩＬ１、ＩＬ２、ＩＬ３から射出された光束Ｌ１、Ｌ２、Ｌ３は、ビームスプリッタ１０３ａ、１０３ｂによって合波される。合波された光束Ｌ１、Ｌ２、Ｌ３は、ビームスプリッタ１０３ｂによって、波数計測ユニット２００に提供される光束Ｌ１１、Ｌ２１、Ｌ３１と、干渉計ユニット３００に提供される光束Ｌ１２、Ｌ２２、Ｌ３２にそれぞれ分割される。

【００１８】

波数計測ユニット２００に入射した光束Ｌ１１、Ｌ２１、Ｌ３１は、ファブリペローエタロン１０４を透過した後、波長フィルタ（分光素子）１０５ａ、１０６ｂにより光束Ｌ１１’、Ｌ２１’、Ｌ３１’に分離される。光束Ｌ１１’、Ｌ２１’、Ｌ３１’は、それぞれ検出部１０６ａ、１０６ｂ、１０６ｃに入射する。検出部１０６ａ、１０６ｂ、１０６ｃは、ファブリペローエタロン１０４を通過した光束Ｌ１１’、Ｌ２１’、Ｌ３１’の強度を検出し、その検出結果を処理部１０７に提供する。検出部１０６ａ、１０６ｂ、１０６ｃによって検出される光束Ｌ１１’、Ｌ２１’、Ｌ３１’の強度のデータは、光源ＩＬ１、ＩＬ２、ＩＬ３から射出される光束の相対的な波数の時間的な変化を示すデータである。つまり、波数計測ユニット２００から処理部１０７に対して、光源ＩＬ１、ＩＬ２、ＩＬ３から射出される光束の相対的な波数の時間的な変化を示すデータ（以下、波数計測データ）が提供される。

【００１９】

ファブリペローエタロン１０４の透過スペクトルについては、各波数の相対値が保証されているべきである。ファブリペローエタロン１０４としては、透過スペクトル間隔の保証された真空媒質のエタロンが使用されうる。真空媒質のエタロンは、内部媒質の屈折率及び分散がないため、波数の相対値を容易に保証することができる。更に、エタロンの材質として低熱膨張ガラスなどを用いれば、温度に対する膨張率を低減して、長期的に安定した波数基準素子を実現することができる。但し、ファブリペローエタロン１０４は、真空媒質のエタロンに限定されるものではなく、エアギャップのエタロンやソリッドエタロンなどが使用されてもよい。この場合、エタロンの温度を計測するなどして内部屈折率及び分散を保証する必要がある。また、波長走査時の各時刻の波数を保証するために、ファブリペローエタロン１０４は、光源ＩＬ１、ＩＬ２、ＩＬ３の各波長走査範囲の中に少なくとも２本以上の透過スペクトルを持つことが好ましい。

【００２０】

干渉計ユニット３００に入射した光束Ｌ１２、Ｌ２２、Ｌ３２は、ビームスプリッタ１０３ｃによって、参照面１０１に提供される参照光束Ｌ１３、Ｌ２３、Ｌ３３と、被検面１０２に提供される被検光束Ｌ１４、Ｌ２４、Ｌ３４とに分割される。参照面１０１で反射した参照光束Ｌ１３、Ｌ２３、Ｌ３３と被検面１０２から後方散乱した被検光束Ｌ１４、Ｌ２４、Ｌ３４とは、ビームスプリッタ１０３ｃによって合波される。合波された光束は、波長フィルタ１０５ｃ、１０５ｄにより、参照光束Ｌ１３および被検光束Ｌ１４からなる組と、参照光束Ｌ２３および被検光束Ｌ２４からなる組と、参照光束Ｌ３３および被

検光束Ｌ３４からなる組とに分割される。これらの組は、それぞれ検出部１０６ｄ、１０６ｅ、１０６ｆに入射する。検出部１０６ｄは、参照光束Ｌ１３と被検光束Ｌ１４とによって形成される干渉縞を第１の干渉信号Ｓ１０として検出する。検出部１０６ｅは、参照光束Ｌ２３と被検光束Ｌ２４とによって形成される干渉縞を第２の干渉信号Ｓ２０として検出する。検出部１０６ｆは、参照光束Ｌ３３と被検光束Ｌ３４とによって形成される干渉縞を第３の干渉信号Ｓ３０として検出する。干渉信号Ｓ１０、Ｓ２０、Ｓ３０は、それぞれ光源ＩＬ１、ＩＬ２、ＩＬ３から射出される光の波長走査範囲における干渉信号である。

【００２１】

処理部１０７は、波数計測ユニット２００から提供される波数計測データに基づいて、時間的に変化する干渉信号Ｓ１０、Ｓ２０、Ｓ３０を、波数の変化に従って変化する第１の干渉信号Ｓ１、第２の干渉信号Ｓ２、第３の干渉信号Ｓ３に変換する。ここで、光源から射出される光の強度は電流により変化してしまうため、その変化分を補正しておくことが望ましい。このようにして得られた干渉信号Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３に基づいて、参照面１０１と被検面１０２との間の絶対距離が計算される。

【００２２】

ここで、干渉信号Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３から絶対距離を決定する方法を説明するが、まず、従来技術による方法を説明する。以下、説明を簡単にするため、波長をλとしたときにｋ＝２π／λで与えられる波数ｋを用いて説明する。波数ｋを用いて表現すると、光源ＩＬ１はk_{11}（＝２π／λ_{11}）からk_{12}（＝２π／λ_{12}）の波数走査範囲を走査する。図２に干渉信号Ｓ１の強度を例示する。図２は、波数計測ユニット２００により計測した各時刻の波数ｋを横軸にとった場合の干渉信号Ｓ１を示している。ここで、干渉信号Ｓ１は波数ｋに対して式（１）で表される。

【００２３】

【数１】

$$Sl(k) = A^2 + B^2 + AB\gamma(L)\cos(\phi')$$

$$\phi' = 2kL$$

$$= 2\pi M + \phi$$

・・・式（１）

【００２４】

ただし、Ａは参照光束の振幅強度、Ｂは被検光束の振幅強度、γ（Ｌ）はコヒーレンス関数、φ’は干渉信号の位相、Ｍは干渉次数、φは±πの範囲に含まれる干渉信号の位相の端数成分（以下、端数位相と呼ぶ）、Ｌは絶対距離である。ここで、簡単のため空間の屈折率は１とし、分散はないものとしている。また、光源ＩＬ１、ＩＬ２、ＩＬ３は、シングルモード発振可能なＶＣＳＥＬであり、コヒーレンス長が十分に長いために、絶対距離Ｌが例えば１ｍ以下程度であればコヒーレンス関数γ（Ｌ）は１に近くなり検出可能な干渉信号が得られる。ここで、例えば非特許文献１で報告されているように、干渉信号Ｓ１を高速フーリエ変換（ＦＦＴ）することにより、干渉信号の振幅スペクトルのピーク周波数から絶対距離Ｌを求めることができる。しかし、このような方法でピーク周波数を求める場合、ＦＦＴ後の離散化されたデータのピッチ（以下、ＦＦＴ後のピッチ）Ｐの１／１００程度までしか計測精度が得られない。ここで、ＦＦＴ後のピッチは、式（２）によって表される。

【００２５】

【数２】

$$P = \frac{\pi}{(k_{12} - k_{11})}$$

・・・式（２）

【００２６】

式（２）は、波数走査範囲を大きくすればＦＦＴ後のピッチが小さくなること、即ち計測精度が向上することを示している。非特許文献１では、ＦＦＴ後のピッチＰが約３μｍとなる大きな波数走査範囲を実現しているが、大きな計測レンジを達成できない。電流変調によるＶＣＳＥＬの波数走査を用いる場合、ＶＣＳＥＬの電流変調による波数走査範囲は２．１ｍｍ$^{-1}$（周波数１００ＧＨｚ）程度と小さい。よって、ＦＦＴ後のピッチＰが約１．５ｍｍとなる程度の小さな波数走査範囲しか得られず、従来の技術では計測精度１５μｍしか得られない。

【００２７】

次に、第１実施形態の計測装置１００において、干渉信号Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３から絶対距離を高精度に決定する方法を説明する。図３には、干渉信号Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３から絶対距離を決定する処理（工程Ｆ１００）の手順が概略的に示されている。この処理は、処理部１０７によって実行される。図４（ａ）は、横軸に波数ｋをとった干渉信号Ｓ１の強度を、図４（ｂ）は第１の干渉信号Ｓ１の位相φ’を示している。ただし、ここでの波数ｋは相対的な値であるので、位相φ’は波数k_{11}における位相を基準としたものである。ここで、計測装置１００において直接に検出される干渉信号は図４（ａ）のような信号強度であるから、以下のように、高速フーリエ変換（ＦＦＴ）と離散フーリエ変換（ＤＦＴ）とを用いて、信号強度に基づいて干渉信号の位相が決定される。

【００２８】

まず、工程Ｆ１０１では、第１の干渉信号Ｓ１を高速フーリエ変換（ＦＦＴ）することによって振幅スペクトルにおけるピーク周波数を決定し、該ピーク周波数から絶対距離L_1を決定する。式（１）のとおり、このときに得られる絶対距離L_1の２倍（$2L_1$）は、図４（ｂ）に示す波数ｋに対する第１の干渉信号Ｓ１の位相φ’の傾きに相当する。

【００２９】

次に、工程Ｆ１０２では、絶対距離L_1を使って第１の干渉信号Ｓ１を離散フーリエ変換（ＤＦＴ）することによって任意の波数ｋにおける第１の干渉信号Ｓ１の端数位相φを決定する。ここで、端数位相φは、式（３）に従って計算される。

【００３０】

【数３】

$$\phi(k)=\tan^{-1}\frac{\sum_j Sl(j)\sin\{2L_1(j-k)\}}{\sum_j Sl(j)\cos\{2L_1(j-k)\}}$$

$$j=k_{11}\sim k_{12}$$

・・・式（３）

【００３１】

式（３）により、例えば、波数k_{11}における端数位相ϕ_{11}や、波数k_{12}における端数位相ϕ_{12}など、任意の波数における第１の干渉信号Ｓ１の端数位相（第１の位相の端数成分）を決定することができる。ここで、式（３）によって決定される端数位相φは、±πの範囲のみであり、干渉次数は不明である。干渉信号Ｓ１の位相φ’の傾きは$2L_1$として既に得られているため、位相φ’は、波数k_{11}における端数位相ϕ_{11}を基準として、図４（ｂ）のように表すことができる。以降、端数位相ϕ_{11}のように、プライム（’）がついていない位相は±πの範囲とし、ϕ_{11}’のようにプライム（’）がついている位相はϕ_{11}を基準とする相対的な位相とする。ここで、位相φ’を波数k_{11}における端数位相ϕ_{11}を基準としたが、任意の波数における位相を基準とすることができる。

【００３２】

工程Ｆ１０１におけるＦＦＴで得られる絶対距離L_1は、絶対距離の真値に対して誤差をもつ。非特許文献１に報告されている信号処理技術を用いることや、ＦＦＴの際に適切なゼロ詰めを行うこと等により、絶対距離L_1の精度は式（１）により求まるＦＦＴ後の

ピッチの１／１００程度、即ち１５μｍの精度となる。また、波数Ｋにおける干渉信号Ｓ１の位相の傾きは２Ｌ$_1$であるので、絶対距離の計算精度がＦＦＴ後のピッチの１／１００であるときに式（３）に従って計算される端数位相φの精度は、波数走査範囲の全域において２π／１００以下となる。従来技術における絶対距離の決定方法は、工程Ｆ１０１に相当する工程、即ち、ＦＦＴによって絶対距離（位相の傾き）を得る工程のみを有する。これに対して、第１実施形態のように、工程Ｆ１０２を加えることにより、波数ｋに対する１つの干渉信号に基づいて、位相の傾きのみならず任意の波数における端数位相を得ることができる。

【００３３】

次に、工程Ｆ１０４、Ｆ１０５では、工程Ｆ１０１、Ｆ１０２と同様の方法で、絶対距離、端数位相をそれぞれ決定する。具体的には、工程Ｆ１０４では、第２の干渉信号Ｓ２に基づいて絶対距離Ｌ$_2$を決定する。工程Ｆ１０５では、絶対距離Ｌ$_2$に基づいて、波数ｋ$_{21}$～波数ｋ$_{22}$の範囲内における任意の波数における端数位相（第２の位相の端数成分）を決定する。ここでは、一例として、第２の干渉信号Ｓ２の端数位相として、波数ｋ$_{21}$における端数位相φ$_{21}$を決定するものとして説明を続ける。

【００３４】

次に、図５を参照しながら、工程Ｆ１０６において位相の傾き２Ｌ$_{12}$を決定する方法を説明する。直線ＬＮ１は、工程Ｆ１０１および工程Ｆ１０２で決定した波数ｋ$_{11}$における干渉信号Ｓ１の位相φ$_{11}$および位相の傾き２Ｌ$_1$によって決定される直線である。直線ＬＮ２は、（２πＭ$_{12}$＋φ２１）で表される位相φ$_{21}$’と位相φ$_{11}$’とで決定される直線である。Ｍ$_{12}$は、波数ｋ$_{11}$における干渉信号Ｓ１と波数ｋ$_{21}$における干渉信号Ｓ２との間の干渉次数差（第１の干渉次数差）であり、式（４）によって決定することができる。

【００３５】

【数４】

$$M_{12}=\mathrm{round}\left\{\frac{2L_1(k_{21}-k_{11})+\phi_{11}-\phi_{21}}{2\pi}\right\}$$

・・・式（４）

【００３６】

「ｒｏｕｎｄ（）」は、引数を整数に丸める関数を示す。Ｍ$_{12}$を正しく求めるためには、式（５）の不等式を満たす必要がある。

【００３７】

【数５】

$$\frac{\delta\phi(k_{21}-k_{11})}{(k_{12}-k_{11})}<\pi$$

【００３８】

・・・式（５）

δφは位相誤差を示し、前述のとおり位相誤差δφを２π／１００未満にする場合、式（５）より、（ｋ$_{21}$－ｋ$_{11}$）は（ｋ$_{12}$－ｋ$_{11}$）の５０倍以下とする必要がある。最大の効果を得るためには、（ｋ$_{21}$－ｋ$_{11}$）が（ｋ$_{12}$－ｋ$_{11}$）５０倍とされる。式（５）から、位相誤差δφが小さくなるほど、ｋ$_{21}$とｋ$_{11}$の差、即ちＩＬ１とＩＬ２の波長走査範囲の離散間隔を大きくできることが分かる。ここで、工程Ｆ１０５において端数位相φ$_{21}$を求めているため、式（４）により第１の干渉次数差Ｍ$_{12}$を決定することで、式（６）のように直線ＬＮ２の傾きから絶対距離Ｌ$_{12}$を決定することができる。

【００３９】

【数６】

$$L_{12}=\frac{1}{2}\frac{\phi_{21}'-\phi_{11}'}{k_{21}-k_{11}}$$
$$=\frac{1}{2}\frac{2\pi M_{12}+\phi_{21}-\phi_{11}}{k_{21}-k_{11}}$$

・・・式（６）

【００４０】

ここで、式（６）に従って計算された絶対距離Ｌ$_{12}$は、工程Ｆ１０１において計算された絶対距離Ｌ$_{1}$の１／５０に精度（誤差）が向上している。これは、第１の干渉次数差Ｍ$_{12}$を決定することによりｋ$_{11}$からｋ$_{12}$の波数走査範囲における位相と、波数ｋ$_{21}$における位相とを接続することができ、ｋ$_{11}$からｋ$_{21}$までの波数走査範囲を走査した場合と同等の絶対距離精度が得られることを示している。

【００４１】

次に、工程Ｆ１０７、Ｆ１０８では、工程Ｆ１０４、Ｆ１０５と同様の方法で、絶対距離、端数位相をそれぞれ決定する。具体的には、工程Ｆ１０７では、第２の干渉信号Ｓ３に基づいて絶対距離Ｌ$_{3}$を決定する。工程Ｆ１０８では、絶対距離Ｌ$_{2}$に基づいて波数ｋ$_{31}$～波数ｋ$_{32}$の波長走査範囲内の任意の波数における端数位相（第３の位相の端数成分）を決定する（Ｆ１０８）。ここでは、一例として、第３の干渉信号Ｓ３の端数位相として、波数ｋ$_{31}$における端数位相φ$_{31}$を求めるものとして説明を続ける。

【００４２】

次に、工程Ｆ１０９では、工程Ｆ１０６と同様の方法で、波数ｋ$_{11}$における間信号と波数ｋ$_{31}$における干渉信号との間の干渉次数差（第２の干渉次数差）Ｍ$_{13}$を決定する。干渉次数差Ｍ$_{13}$は、式（７）で定義される。第２の干渉次数差Ｍ$_{13}$を正しく求めるためには、式（８）の不等式を満たす必要がある。干渉次数差Ｍ$_{13}$を決定することで、図６に示す直線ＬＮ３を決定することができるので、式（９）に従って絶対距離Ｌ$_{13}$を計算することができる。

【００４３】

【数７】

$$M_{13}=\mathrm{round}\left\{\frac{2L_{12}(k_{31}-k_{11})+\phi_{11}-\phi_{31}}{2\pi}\right\}$$

・・・式（７）

【数８】

$$\frac{\delta\phi(k_{31}-k_{11})}{(k_{21}-k_{11})}<\pi$$
$$\frac{\delta\phi(k_{31}-k_{11})}{50(k_{12}-k_{11})}<\pi$$

・・・式（８）

【数９】

$$L_{13}=\frac{1}{2}\frac{\phi_{31}'-\phi_{11}'}{k_{31}-k_{11}}$$
$$=\frac{1}{2}\frac{2\pi M_{13}+\phi_{31}-\phi_{11}}{k_{31}-k_{11}}$$

・・・式（９）

【００４４】

ここで、式（８）より、（ｋ$_{31}$－ｋ$_{11}$）は、（ｋ$_{21}$－ｋ$_{11}$）の最大５０倍まで大きくすることができ、（ｋ$_{31}$－ｋ$_{11}$）は、（ｋ$_{12}$－ｋ$_{11}$）の最大２５００倍ま

で大きくすることができる。式（９）に従って計算される絶対距離L_{13}は、絶対距離L_{12}の１／５０、絶対距離L_1の１／２５００の精度に向上している。即ち、ＩＬ１またはＩＬ２による波数走査範囲とＩＬ３による波数走査範囲の離散間隔は、ＩＬ１による波数走査範囲とＩＬ２による波数走査範囲の離散間隔よりも大きくすることができ、波数走査範囲の数によって指数関数的に精度を向上させることが可能となる。なお、従来の技術を用いて絶対距離を求める場合、例えば平均化などで精度向上を試みた場合も、再現性の向上による効果が得られるのみである。波数走査範囲がＮ個（ここでは、Ｎは３以上の整数）である場合において、第（ｉ－１）の波長走査範囲と第ｉの波長走査範囲との離散間隔は、第（ｉ－２）の波長走査範囲と前記第（ｉ－１）の波長走査範囲との離散間隔よりも大きいことが好ましい。

【００４５】

以上のように、第１実施形態の計測装置１００によれば、簡易な構成でありながら、参照面１０１と被検面１０２との間の絶対距離を得ることができる。このとき、それぞれの波長走査範囲を大きくする必要がないため、ＶＣＳＥＬの電流変調による波長走査を用いて、高速かつ高精度に絶対距離を得ることができる。

【００４６】

第１実施形態では３つの光源（Ｎ＝３）を用いたが、必要な精度に応じて、光源を増加または減少させても構わない。また、位相計測精度は２π／１００程度であるとしたが、装置構成によって２π／１００以上に位相計測精度が悪化する場合も、それぞれの光源による波長走査範囲の離散間隔を小さくして、干渉次数差決定が可能な程度まで近づけることができる。この場合、例えば（$k_{21}-k_{11}$）／（$k_{12}-k_{11}$）は５０未満となるが、十分な計測精度向上効果を得ることができる。

【００４７】

ここで、複数の波長走査範囲の個数が４以上である場合、即ち、Ｎが４以上の整数である場合について説明する。処理部１０７は、第ｉの波長走査範囲について干渉計ユニット３００によって検出された第ｉの干渉信号に基づいて、第ｉの波長走査範囲に含まれる任意の波数における第ｉの干渉信号の位相である第iの位相の端数成分を決定する。処理部１０７はまた、第（ｉ－１）の位相の傾きに基づいて、第１の位相と第ｉの位相との間の干渉次数差である第（ｉ－１）の干渉次数差を決定する。処理部１０７はまた、第（ｉ－１）の干渉次数差と、第１の位相の端数成分と、第ｉの位相の端数成分とに基づいて、光束の波数に対する第１の干渉信号から第ｉの干渉信号までを含む干渉信号の位相の傾きである第ｉの位相の傾きを決定する。処理部１０７は、以上の処理をｉ＝３からｉ＝Ｎとなるまでｉを１ずつ増加させながら繰り返すことによって第Ｎの位相の傾きを決定し、第Ｎの位相の傾きから絶対距離を決定する。

【００４８】

第１実施形態では波数計測ユニットにおける波数計測誤差を無視できるものとして扱ったが、無視できない波長計測誤差がある場合は、同様に干渉次数差決定ができる程度に離散間隔を小さくすればよい。また、被検物や計測環境によって各波長走査範囲の離散間隔を調整することもできる。この場合、高速な調整は必要ではないと考えられるため、例えば各ＶＣＳＥＬの温度を変更して波長走査範囲を調整すればよい。

【００４９】

第１実施形態では、光源の波数を計測するユニットとしてファブリペローエタロンを含む波数計測ユニット２００が使用される。しかし、波数計測精度が許容できる場合は、光源に印加する電流と波数の関係を事前に計測し、電流値から波数を求める波数計測手段を用いることもできる。

【００５０】

第１実施形態では、干渉信号の位相の傾きおよび端数位相を決定するためにＦＦＴ及びＤＦＴを用いたが、他の公知の方法で決定しても構わない。例えば、それぞれ異なる偏光状態を持つ参照光束と被検光束に周波数差を与えるヘテロダイン位相検出法や、既知の位相差を与えた複数の干渉信号を用いたホモダイン検出法を用いても構わない。ただし、こ

の場合は、検出部の個数を増加させる必要がある等、装置構成がやや複雑になる。また、偏光状態や位相差を保持するために、特定の光路に光ファイバーを用いることができなくなる等の装置構成上の制約が新たに加わる。
第１実施形態では、干渉位相の傾きを決定するためにＦＦＴを用いたが、最大エントロピー法などの他の公知の周波数解析方法を用いても構わない。

【００５１】

第１実施形態では、各波長走査範囲における波長走査を同時に行い、波長フィルタ１０５ａ、１０５ｂ、１０５ｃ、１０５ｄにより分光した後に検出部にて受光する構成を採ったが、各波長走査範囲における波長走査を逐次的に行ってもよい。その場合には、計測速度は落ちるが、分光素子は不要となり、検出部も各波長走査範囲の光束に対して共通化でき、より簡易な構成にすることができる。

【００５２】

図７を参照しながら本発明の第２実施形態の計測装置（波長走査干渉計）４００の構成を説明する。計測装置４００は、基本的には計測装置１００と同様な構成を有する。但し、計測装置４００は、更に高精度で大レンジの絶対距離計測を行うため以下のような構成をとっている。まず、計測装置４００では、光源としてＶＣＳＥＬの代わりにＤＦＢレーザが用いられる。一般的なＤＦＢレーザはＶＣＳＥＬよりもコヒーレンス長が長いため、１ｍを超え、例えば、５ｍ以下の大きなレンジを計測する場合でも十分な干渉信号が得られる。また、計測装置４００では、検出部１０６ａ、１０６ｂ、１０６ｃが波数計測ユニット２００の匡体の外部に配置されている。そして、該匡体と検出部１０６ａ、１０６ｂ、１０６ｃとが光ファイバー１０９ａ、１０９ｂ、１０９ｃによって接続されている。また、計測装置４００では、干渉信号Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３を検出する検出部１０６ｄ、１０６ｅ、１０６ｆが干渉計ユニット３００の匡体の外部に配置されている。そして、該匡体と検出部１０６ｄ、１０６ｅ、１０６ｆとが光ファイバー１０９ｄ、１０９ｅ、１０９ｆによって接続されている。これにより、それぞれの検出部の動作時の発熱によって波数計測ユニット２００と干渉計ユニット３００の温度環境が不安定になることが抑制されている。

【００５３】

波数計測ユニット２００は、第１実施形態では走査する波数の相対値を計測するが、第２実施形態では波長の絶対値を計測する。波数計測ユニット２００は、更に高精度な波数計測値を得るために、エタロンとガスセルとを組み合わせてもよい。第２実施形態では波数計測ユニット２００によって波数の絶対値を計測することで、後述の工程Ｆ２００により、第１実施形態よりも高精度に絶対距離を決定することができる。

【００５４】

第２実施形態の計測装置４００では、被検面１０８を鏡面とすることが好適である。後方散乱光を発生させる被検面と比較して、鏡面の絶対距離計測にはより高い計測精度が求められる場合が多い。加えて、大レンジの絶対距離計測を考えたとき、後方散乱光を用いる場合は被検光束の光量が小さくなりうるが、鏡面からの正反射光を被検光束として用いることで、被検光束の光量を十分確保することが可能である。

【００５５】

図８には、計測装置４００において、干渉信号Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３から絶対距離を決定する処理（工程Ｆ２００）の手順が概略的に示されている。干渉信号Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３から絶対距離を決定する処理の手順が概略的に示されている。工程Ｆ２００は、第１実施形態における工程Ｆ１００と、それに続く工程Ｆ２０１とを含む。工程Ｆ２０１では、工程Ｆ１００で決定した位相の傾き$2L_{13}$と、複数の波数走査範囲のいずれかの波数走査範囲に含まれる任意の波数（ここではk_{11}とする）と、波数k_{11}における端数位相φ_{11}とに基づいて位相φ_{11}'の干渉次数M_{01}を決定する。更に、工程Ｆ２０１では、決定した干渉次数M_{01}と端数位相φ_{11}とに基づいて絶対距離L_{01}を決定する。

【００５６】

以下、図９を参照しながら工程Ｆ２０１を説明する。図９には、工程Ｆ１００で決定さ

れた直線ＬＮ１、ＬＮ２、ＬＮ３に加えて直線ＬＮ０が示されている。第１実施形態において、φ’は端数位相ϕ_{11}を基準としてそれぞれの端数位相φを接続したが、第２実施形態では、k_{11}における干渉次数M_{01}を用いて、$\phi_{11}' = 2\pi M_{01} + \phi_{11}$として位相φ’を接続する。これは、波数$k_0 = 0$における位相$\phi_0 = 0$を基準として位相φ’を接続することと同義である。また、干渉次数M_{01}は、k_0での干渉次数は０であることを考慮すれば、k_{11}における干渉信号とk_0における干渉信号との間の干渉次数差であるとも理解することができる。したがって、工程Ｆ２０１では、工程Ｆ１０６と同様に、式（１０）に従って波数k_{11}における干渉次数M_{01}を決定することができる。このとき、干渉次数M_{01}を正しく決定するためには、式（１１）の不等式を満たす必要がある。加えて、波数k_{11}の絶対値を得ていなければならない。また、干渉次数M_{01}を決定することで、図９に示す直線ＬＮ０を決定することができるので、式（１２）に従って絶対距離L_{01}を得ることができる。

【００５７】

【数１０】

$$M_{01} = \mathrm{round}\left\{\frac{2L_{13}k_{11} + \phi_{11}}{2\pi}\right\}$$

・・・式（１０）

【数１１】

$$\frac{\delta\phi k_{11}}{(k_{31} - k_{11})} < \pi$$

・・・式（１１）

【数１２】

$$L_{01} = \frac{1}{2}\frac{\phi_{11}'}{k_{11}} = \frac{1}{2}\frac{2\pi M_{01} + \phi_{11}}{k_{11}}$$

・・・式（１２）

【００５８】

ここで、式（１２）に従って計算された絶対距離L_{01}は、第１実施形態における絶対距離に対して｛（$k_{31} - k_{11}$）／k_{11}｝の精度に向上している。絶対距離L_{01}の精度は、１／２・δφ／ｋ１１であり、例えば、１．５μｍ帯の通信機器用に用いられる安価なＤＦＢレーザを用いて、波数$k_{11} = 4.2\,\mu m^{-1}$とすると、７．５ｎｍの精度が得られる。

【００５９】

以上に説明したように、第２実施形態の工程Ｆ２００により、干渉信号Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３から絶対距離を高精度に得ることができる。工程Ｆ２００では、工程Ｆ１００に加えて、絶対波数を得て干渉次数を決定することにより、より高精度に絶対距離を計測することができる。

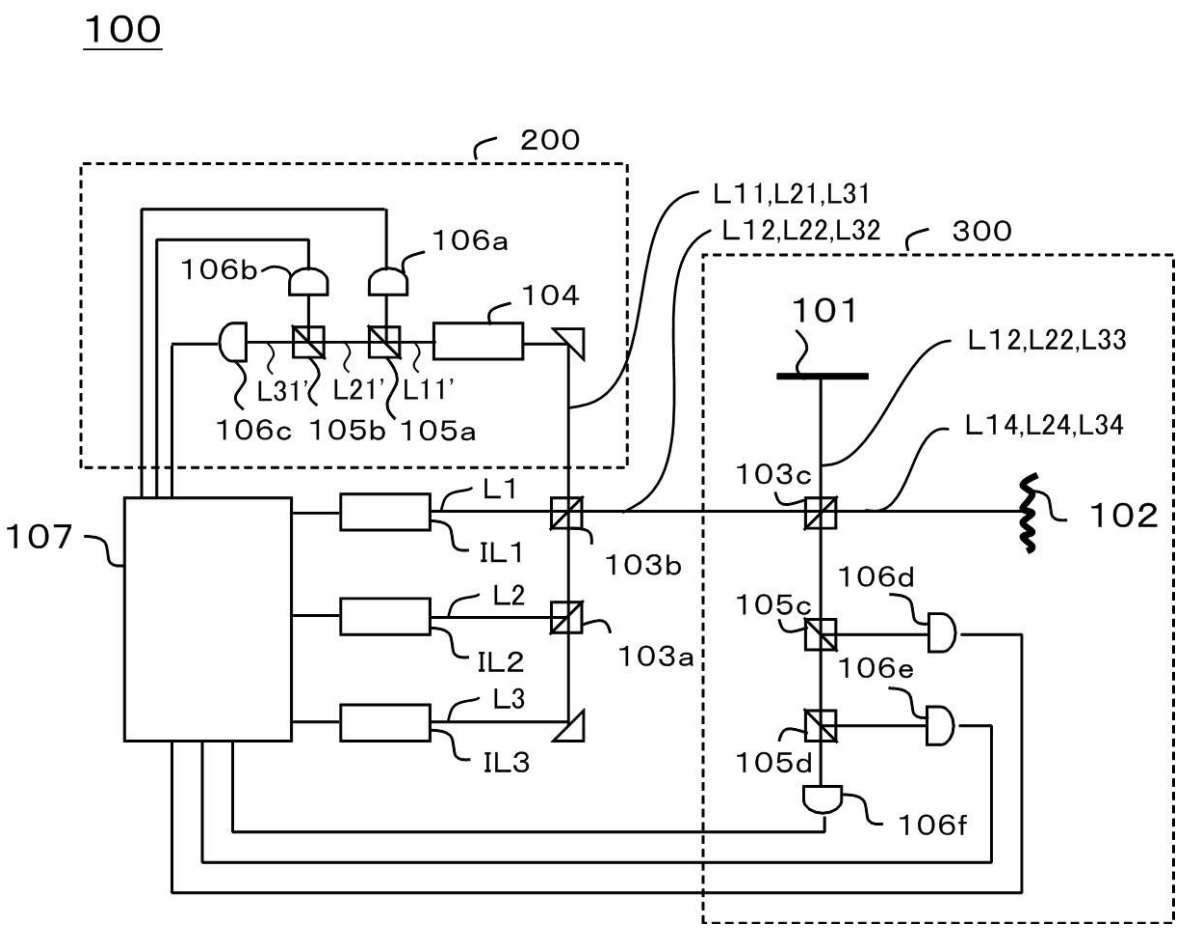
【００６０】

第２実施形態の計測装置４００は、第１実施形態の計測装置１００と同様に、被検物や計測環境によって各波長走査範囲の離散間隔を調整することもできる。この場合、高速な調整は必要ではないと考えられるため、例えば各ＤＦＢレーザの温度を変更して波長走査範囲を調整すればよい。

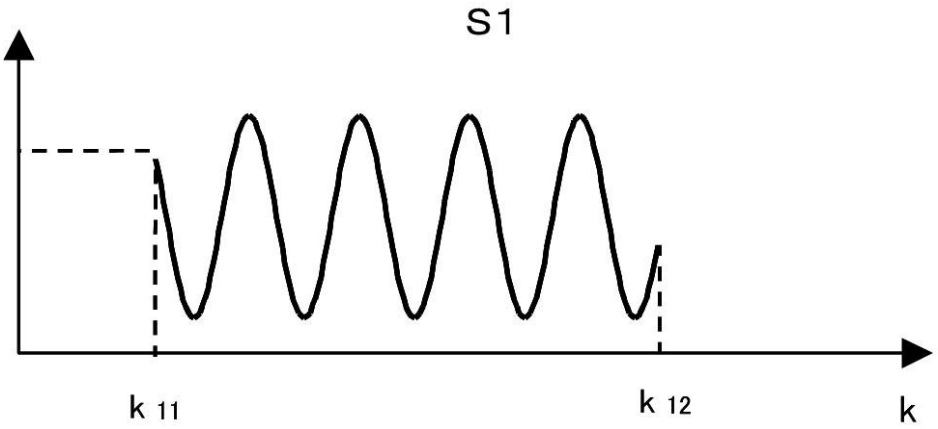
【００６１】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

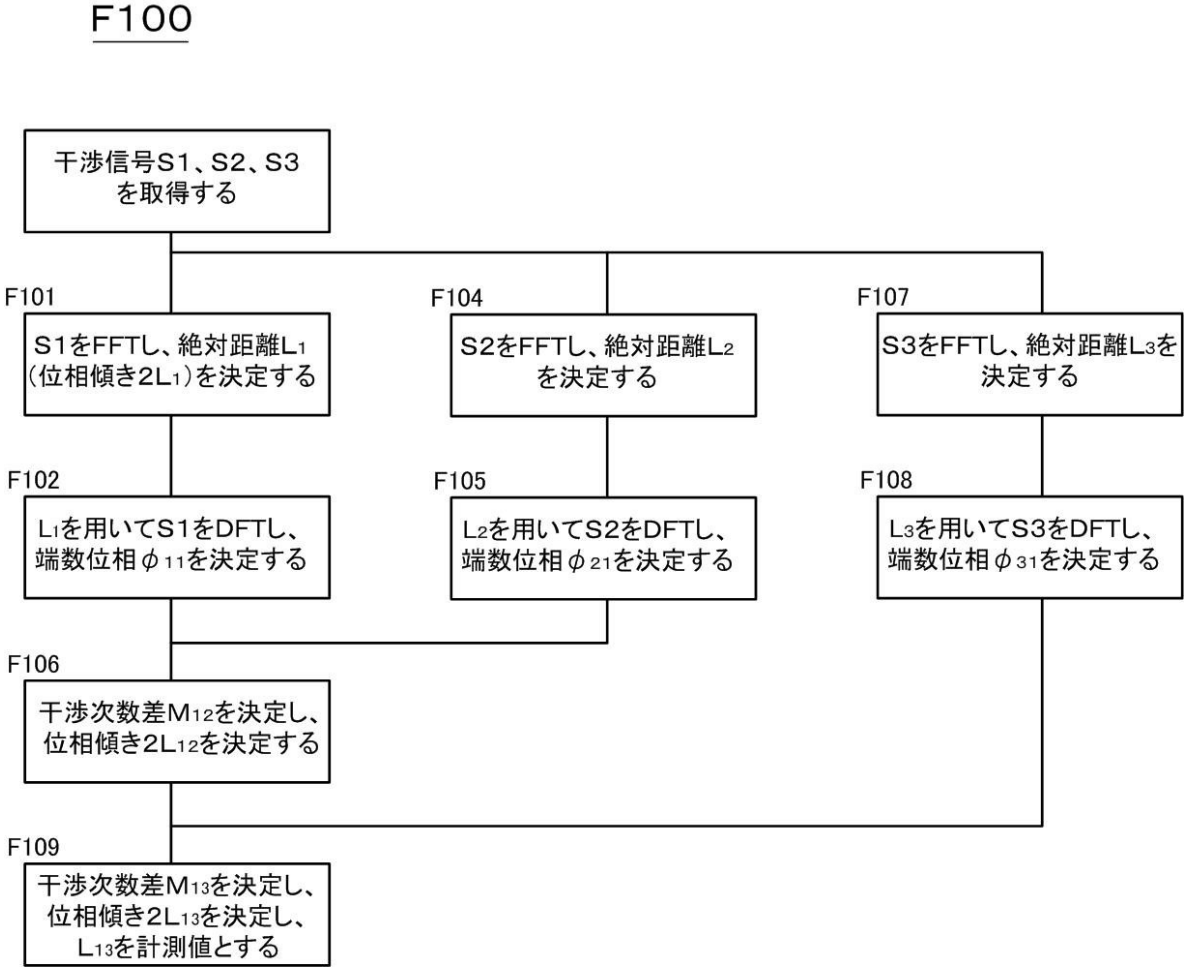
【図１】


100
200
L11,L21,L31
L12,L22,L32
300
106a
106b
104
101
L12,L22,L33
L31'
L21'
L11'
106c 105b 105a
L14,L24,L34
103c
L1
102
107
IL1
103b
106d
L2
105c
IL2
103a
106e
L3
105d
IL3
106f

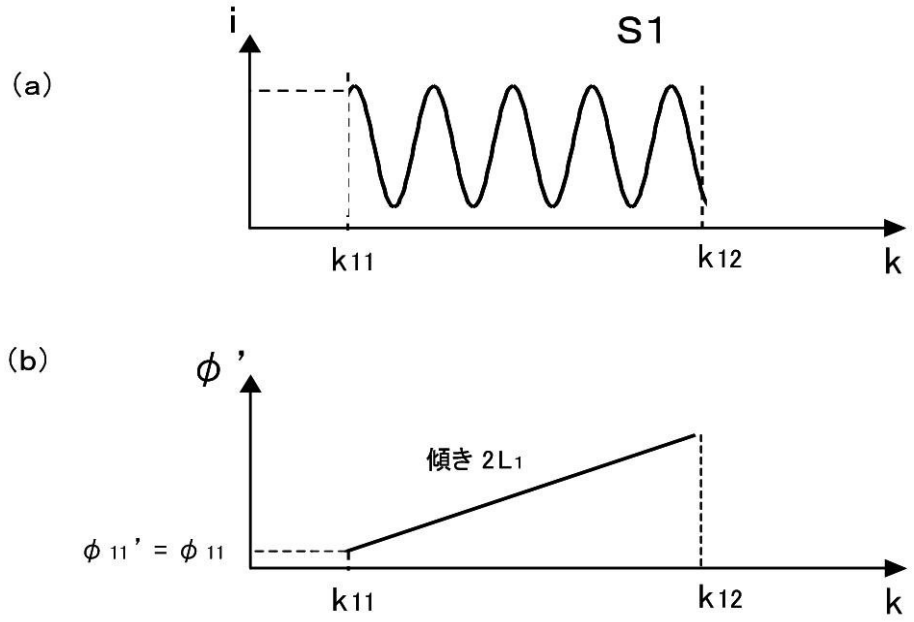
【図２】


S1
k 11
k 12
k

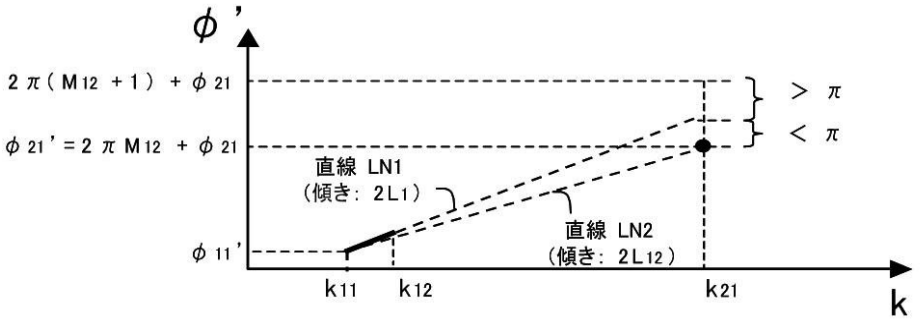
【図３】


F100
干渉信号S1、S2、S3を取得する
F101
S1をFFTし、絶対距離L1(位相傾き2L1)を決定する
F104
S2をFFTし、絶対距離L2を決定する
F107
S3をFFTし、絶対距離L3を決定する
F102
L1を用いてS1をDFTし、端数位相φ11を決定する
F105
L2を用いてS2をDFTし、端数位相φ21を決定する
F108
L3を用いてS3をDFTし、端数位相φ31を決定する
F106
干渉次数差M12を決定し、位相傾き2L12を決定する
F109
干渉次数差M13を決定し、位相傾き2L13を決定し、L13を計測値とする

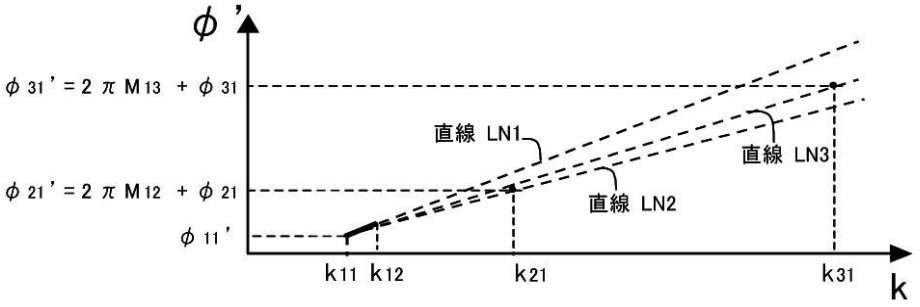
【図４】


(a)
i
S1
k11
k12
k
(b)
φ'
傾き 2L1
φ11' = φ11
k11
k12
k

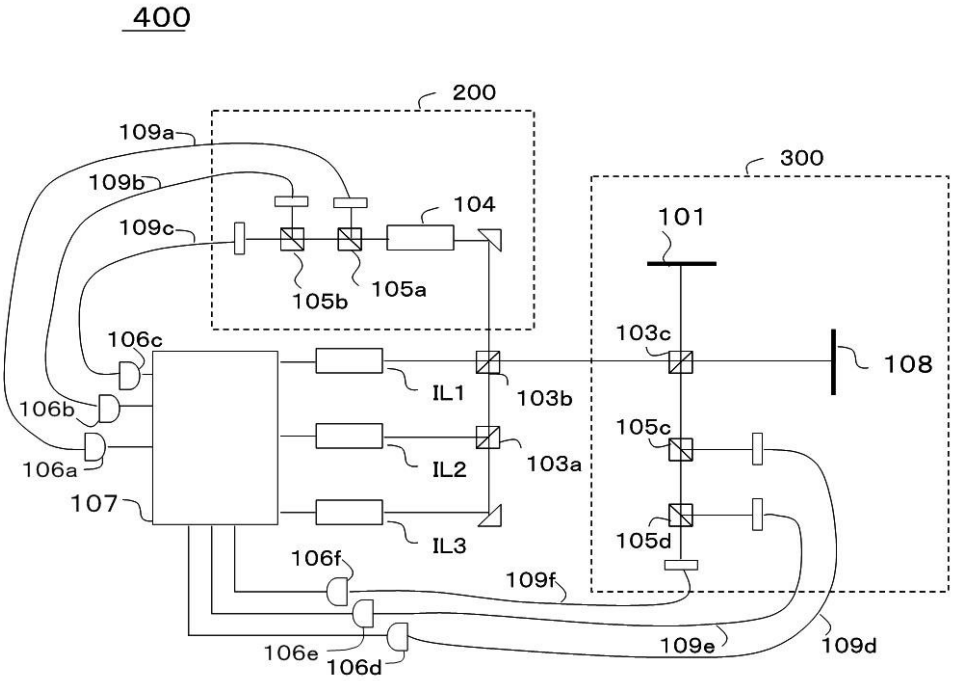
【図５】


φ'
2π(M12 +1) + φ21
φ21' = 2πM12 + φ21
> π
< π
直線 LN1
(傾き: 2L1)
直線 LN2
(傾き: 2L12)
φ11'
k11
k12
k21
k

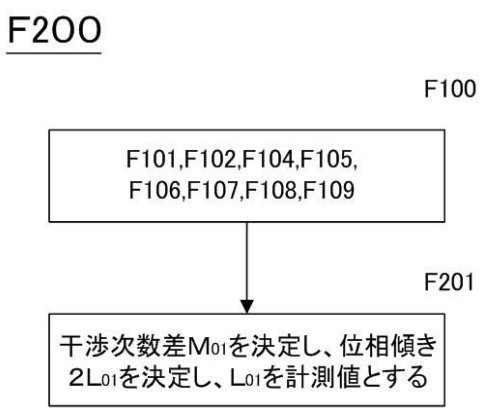
【図６】


φ'
φ31' = 2πM13 + φ31
φ21' = 2πM12 + φ21
φ11'
直線 LN1
直線 LN2
直線 LN3
k11
k12
k21
k31
k

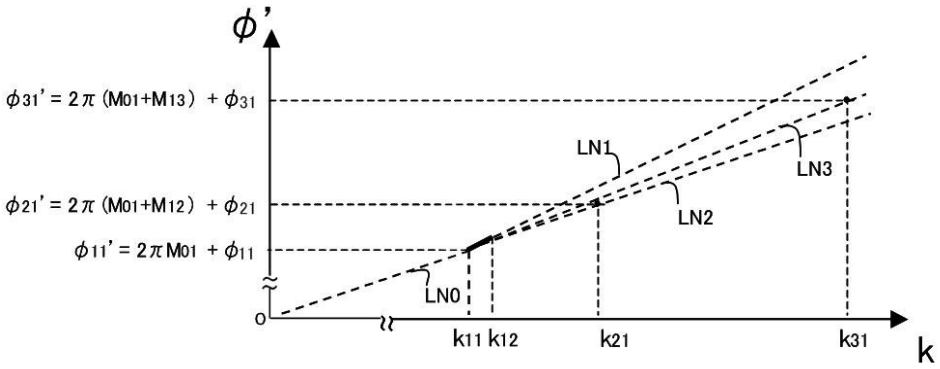
【図７】


400
200
300
109a
109b
109c
104
101
105b
105a
106c
103c
108
IL1
103b
106b
105c
IL2
103a
106a
107
IL3
105d
106f
109f
106e
106d
109e
109d

【図８】



【図９】



【手続補正書】
【提出日】平成23年10月28日(2011.10.28)
【手続補正１】
【補正対象書類名】特許請求の範囲
【補正対象項目名】全文
【補正方法】変更
【補正の内容】
【特許請求の範囲】
【請求項１】
参照面と被検面との間の絶対距離を計測する計測装置であって、
互いに離散した複数の波長走査範囲にそれぞれ対応する複数の光源を有し、各光源が前記複数の波長走査範囲のうち対応する波長走査範囲において発生する光束の波長を連続的に走査する光源部と、
前記複数の波長走査範囲のそれぞれについて、前記複数の光源のうち対応する光源から射出される光束を参照光束と被検光束とに分割し、前記参照面で反射された前記参照光束と前記被検面で反射された前記被検光束とによって形成される干渉縞を干渉信号として検出する干渉計ユニットと、
前記複数の波長走査範囲のそれぞれについて前記干渉計ユニットによって検出された干渉信号に基づいて、前記光束の波数に対する前記干渉信号の位相の傾きを決定し、前記位相の傾きから前記絶対距離を決定する処理部とを備え、
前記光源部は、前記複数の波長走査範囲において波長を同時に走査し、
前記干渉計ユニットは、前記複数の光源からの複数の光束によってそれぞれ形成される複数の干渉縞を同時に検出し、
前記処理部は、
前記複数の波長走査範囲の１つである第１の波長走査範囲について前記干渉計ユニットによって検出された第１の干渉信号に基づいて、前記第１の波長走査範囲内の波数に対する前記第１の干渉信号の位相の傾きである第１の位相の傾きと、前記第１の波長走査範囲に

含まれる任意の波数における前記第１の干渉信号の位相である第１の位相の端数成分とを決定し、
前記複数の波長走査範囲の他の１つである第２の波長走査範囲について前記干渉計ユニットによって検出された第２の干渉信号に基づいて、前記第２の波長走査範囲に含まれる任意の波数における前記第２の干渉信号の位相である第２の位相の端数成分を決定し、
前記第１の位相の傾きと、前記第１の位相の端数成分と、前記第２の位相の端数成分とに基づいて、前記第１の位相と前記第２の位相との間の干渉次数差である第１の干渉次数差を決定し、
前記第１の干渉次数差と、前記第１の位相の端数成分と、前記第２の位相の端数成分とに基づいて、前記絶対距離を決定するための更新された位相の傾きとして、波数に対する前記第１の干渉信号および前記第２の干渉信号を含む干渉信号の位相の傾きである第２の位相の傾きを決定する、
ことを特徴とする計測装置。
【請求項２】
前記処理部は、前記第１の干渉信号を周波数解析することによって前記第１の干渉信号の位相の傾きを求め、前記第１の干渉信号の位相の傾きを使って前記第１の干渉信号を離散フーリエ変換することによって前記第１の位相を求める、
ことを特徴とする請求項１に記載の計測装置。
【請求項３】
前記複数の波長走査範囲の個数は３個であり、
前記処理部は、更に、
第３の波長走査範囲について前記干渉計ユニットによって検出された第３の干渉信号に基づいて、前記第３の波長走査範囲に含まれる任意の波数における前記第３の干渉信号の位相である第３の位相の端数成分を決定し、
前記第２の位相の傾きに基づいて、前記第１の位相と前記第３の位相との間の干渉次数差である第２の干渉次数差を決定し、
前記第２の干渉次数差と、前記第１の位相の端数成分と、前記第３の位相の端数成分とに基づいて、波数に対する前記第１の干渉信号から前記第３の干渉信号までを含む干渉信号の位相の傾きである第３の位相の傾きを決定し、
前記第３の位相の傾きから前記絶対距離を決定する、
ことを特徴とする請求項１又は２に記載の計測装置。
【請求項４】
前記複数の波長走査範囲の個数はＮ個（Ｎは４以上の整数）であり、
前記処理部は、
第ｉの波長走査範囲について前記干渉計ユニットによって検出された第（ｉ－１）の干渉信号に基づいて、前記第ｉの波長走査範囲に含まれる任意の波数における前記第ｉの干渉信号の位相である第iの位相の端数成分を決定し、
第（ｉ－１）の位相の傾きに基づいて、前記第１の位相と前記第ｉの位相との間の干渉次数差である第（ｉ－１）の干渉次数差を決定し、
前記第（ｉ－１）の干渉次数差と、前記第１の位相の端数成分と、前記第ｉの位相の端数成分とに基づいて、波数に対する前記第１の干渉信号から前記第ｉの干渉信号までを含む干渉信号の位相の傾きである第ｉの位相の傾きを決定する、
という処理をｉ＝３からｉ＝Ｎとなるまでｉを１ずつ増加させながら繰り返すことによって第Ｎの位相の傾きを決定し、前記第Ｎの位相の傾きから前記絶対距離を決定する、ことを特徴とする請求項１又は２に記載の計測装置。
【請求項５】
第（ｉ－１）の波長走査範囲と前記第ｉの波長走査範囲との離散間隔は、第（ｉ－２）の波長走査範囲と前記第（ｉ－１）の波長走査範囲との離散間隔よりも大きい、
ことを特徴とする請求項４に記載の計測装置。
【請求項６】

前記処理部は、前記複数の波長走査範囲のいずれかの波長走査範囲に含まれる任意の波数における干渉信号の干渉次数および位相の端数成分に基づいて前記絶対距離を決定する、ことを特徴とする請求項１乃至５のいずれか１項に記載の計測装置。
【請求項７】
前記干渉計ユニットは、前記複数の光源からの複数の光束によってそれぞれ形成される複数の干渉縞を同時に検出する複数の検出部を含む、
ことを特徴とする請求項１乃至６のいずれか１項に記載の計測装置。
【手続補正２】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００１２
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００１２】
本発明の１つの側面は、参照面と被検面との間の絶対距離を計測する計測装置に係り、互いに離散した複数の波長走査範囲にそれぞれ対応する複数の光源を有し、各光源が前記複数の波長走査範囲のうち対応する波長走査範囲において発生する光束の波長を連続的に走査する光源部と、前記複数の波長走査範囲のそれぞれについて、前記複数の光源のうち対応する光源から射出される光束を参照光束と被検光束とに分割し、前記参照面で反射された前記参照光束と前記被検面で反射された前記被検光束とによって形成される干渉縞を干渉信号として検出する干渉計ユニットと、前記複数の波長走査範囲のそれぞれについて前記干渉計ユニットによって検出された干渉信号に基づいて、前記光束の波数に対する前記干渉信号の位相の傾きを決定し、前記位相の傾きから前記絶対距離を決定する処理部とを備え、前記光源部は、前記複数の波長走査範囲において波長を同時に走査し、前記干渉計ユニットは、前記複数の光源からの複数の光束によってそれぞれ形成される複数の干渉縞を同時に検出し、前記処理部は、前記複数の波長走査範囲の１つである第１の波長走査範囲について前記干渉計ユニットによって検出された第１の干渉信号に基づいて、前記第１の波長走査範囲内の波数に対する前記第１の干渉信号の位相の傾きである第１の位相の傾きと、前記第１の波長走査範囲に含まれる任意の波数における前記第１の干渉信号の位相である第１の位相の端数成分とを決定し、前記複数の波長走査範囲の他の１つである第２の波長走査範囲について前記干渉計ユニットによって検出された第２の干渉信号に基づいて、前記第２の波長走査範囲に含まれる任意の波数における前記第２の干渉信号の位相である第２の位相の端数成分を決定し、前記第１の位相の傾きと、前記第１の位相の端数成分と、前記第２の位相の端数成分とに基づいて、前記第１の位相と前記第２の位相との間の干渉次数差である第１の干渉次数差を決定し、前記第１の干渉次数差と、前記第１の位相の端数成分と、前記第２の位相の端数成分とに基づいて、前記絶対距離を決定するための更新された位相の傾きとして、波数に対する前記第１の干渉信号および前記第２の干渉信号を含む干渉信号の位相の傾きである第２の位相の傾きを決定する。

フロントページの続き

(72)発明者　時光　拓海
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号　キヤノン株式会社内
(72)発明者　蔵本　福之
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号　キヤノン株式会社内

Ｆターム(参考) 2F064 AA01 EE01 EE10 FF08 GG12 GG22 GG42 GG55 HH01 HH06
JJ01
2F065 AA01 FF52 GG23 GG25 JJ01 JJ05 LL12 LL22 LL46 QQ28
UU05