

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5954979号
(P5954979)

(45) 発行日 平成28年7月20日(2016.7.20)

(24) 登録日 平成28年6月24日(2016.6.24)

(51) Int. Cl.		F I			
GO 1 B	11/00	(2006.01)	GO 1 B	11/00	G
GO 1 B	11/24	(2006.01)	GO 1 B	11/24	D
GO 1 B	9/02	(2006.01)	GO 1 B	9/02	

請求項の数 8 (全 13 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2011-275096 (P2011-275096)</p> <p>(22) 出願日 平成23年12月15日 (2011.12.15)</p> <p>(65) 公開番号 特開2013-124992 (P2013-124992A)</p> <p>(43) 公開日 平成25年6月24日 (2013.6.24)</p> <p>審査請求日 平成26年12月15日 (2014.12.15)</p>	<p>(73) 特許権者 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</p> <p>(74) 代理人 100126240 弁理士 阿部 琢磨</p> <p>(74) 代理人 100124442 弁理士 黒岩 創吾</p> <p>(72) 発明者 畑田 晃宏 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</p> <p>(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</p> <p>審査官 岸 智史</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	--

(54) 【発明の名称】 多波長干渉計を有する計測装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被検面の位置または形状を計測する計測装置であって、
波長が互いに異なる複数の光束を用いる多波長干渉計と、
前記多波長干渉計により検出された干渉光の信号を用いて前記被検面の位置または形状を求める制御部とを有し、

前記多波長干渉計は、光を被検面に入射させて前記被検面で反射された被検光と参照光とを干渉させる光学系と、

前記被検光と前記参照光との干渉光を各波長に分光する分光部と、

分光された複数の干渉光の各々に設けられた、前記干渉光を検出する検出器と、

前記分光部からの干渉光を前記検出器に導く導光部分の位置を調整可能な光学部材とを有し、

前記制御部は、前記被検面の傾きに関する情報を用いて前記複数の光束の波長間におけるスペckルパターンのシフト量を取得し、取得したシフト量に基づいて前記光学部材を制御して前記導光部分の位置を調整することを特徴とする計測装置。

【請求項 2】

前記光学部材は絞りであり、前記導光部分は前記絞りの開口であり、

前記制御部は、前記被検面の傾きに関する情報を用いて前記絞りの開口の位置を制御することを特徴とする請求項 1 記載の計測装置。

【請求項 3】

10

20

前記光学部材は複数の微小鏡面を2次元に配列した素子であり、前記導光部分は、前記複数の微小鏡面のうち前記分光部からの光を前記検出器に導くように反射する一部の微小鏡面であることを特徴とする請求項1記載の計測装置。

【請求項4】

前記被検面の傾きに関する情報は前記被検面の傾き角度であることを特徴とする請求項1乃至3の何れか1項に記載の計測装置。

【請求項5】

前記制御部は、分光された各干渉光に対して前記導光部分の位置を同じにして前記計測装置により計測された前記被検面の形状から前記被検面の傾きに関する情報を取得することを特徴とする請求項1乃至4の何れか1項に記載の計測装置。

10

【請求項6】

前記多波長干渉計はヘテロダイン干渉計であることを特徴とする請求項1乃至5の何れか1項に記載の計測装置。

【請求項7】

前記光学系は、粗面である前記被検面に光を入射させて前記被検面で反射された被検光と前記参照光とを干渉させることを特徴とする請求項1乃至6の何れか1項に記載の計測装置。

【請求項8】

前記複数の光束の波長間におけるスペckルパターンのシフト量 L は、以下の式で表される、ことを特徴とする請求項1乃至7の何れか1項に記載の計測装置。

20

【数1】

$$\Delta L = 2f \times \tan(\theta) \times \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} - 1 \right)$$

ただし、 λ_1 、 λ_2 は前記複数の光束の波長、 f は前記被検面からの反射光を受光する受光系の焦点距離、 θ は前記被検面の傾き角度である。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本発明は多波長干渉計を有する計測装置に関する。

【背景技術】

【0002】

被検面の形状等を高精度に測定する装置として一般的にヘテロダイン干渉方式が知られている。単波長干渉計（特許文献1参照）においては、被検面が粗い場合、表面粗さ起因のスペckルパターンは2より大きい標準偏差のランダム位相を有する為、計測不確かが大きくなってしまい正確な計測が困難となる。

【0003】

上記問題を解決する方法として、レーザ光を物体面に投射して反射光を撮像する装置において、結像レンズの絞り位置を変化させることによりスペckルパターンのランダムな位相のインコヒーレント平均化を行うことが記載されている（特許文献2参照）。

40

【0004】

また、別の解決手段として、複数の異なる波長の干渉計測結果から各波長の位相を合成する多波長干渉計が知られている（非特許文献1参照）。非特許文献1によると、2つの波長のスペckルに相関があるならば、その2つの波長の位相差に基づいて巨視的表面プロファイルと微視的表面粗さに関する情報が得られるとしている。

【0005】

また、2つの波長間のスペckルパターンの相関は2つの波長の合成波長に依存することが知られている（非特許文献2参照）。なお、2つのスペckルパターンが一致するほ

50

ど相関度が高いとする。非特許文献2によると合成波長 Λ が小さい程、2波長間のスペックルパターンの相関は減少し、逆に合成波長 Λ が大きい程、2波長間のスペックルパターンの相関は増加する。ここで、合成波長 Λ とは2つ波長を λ_1 、 λ_2 ($\lambda_1 > \lambda_2$) としたとき、 $\Lambda = \lambda_1 \times \lambda_2 / (\lambda_1 - \lambda_2)$ で表わされる量である。このように、単波長干渉計では困難である粗い被検面に対しても多波長干渉計では精度良く計測することが可能となる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開平10-185529号公報

10

【特許文献2】特開平5-71918号公報

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】A. F. Fercher等「Rough-surface interferometry with a two-wavelength heterodyne speckle interferometer」、Applied Optics、1985、vol. 24、issue 14、pp 2181-2188

【非特許文献2】U. Vry、F. Fercher著、「High-order statistical properties of speckle fields and their application to rough-surface interferometry」、J. Opt. Soc. Am. A、1986、vol. 3、issue 7、pp 988-1000

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

非特許文献2によると、2つの波長間のスペックルパターンの相関は合成波長の大きさと同時に、被検面の粗さ及び被検面の傾きに依存する(数式1参照)。

【0009】

【数1】

$$\mu = \exp\left(\frac{4\pi i}{\Lambda} h_0\right) \times \exp\left[-\frac{4\pi^2}{\Lambda^2} (2\sigma_h^2 + s^2 a^2)\right]$$

30

【0010】

ここで、 μ は2つの波長間の複素相関関数を表わし、 h_0 は被検面の高さ、 Λ は2波長の合成波長を表わす。 σ_h は被検面の粗さを表し、 s は被検面の傾き、 a は被検面をガウスビームで照射したときの直径を表わす。数式1によると被検面の粗さが粗くなると2波長間のスペックルの相関性は減少する。また、被検面の傾きが大きくなると2波長間のスペックル相関は減少する。特に被検面の傾きによる2つの波長間のスペックルの相関性の減少への影響が大きい。図1に被検面の傾き角度と測長誤差の関係の例を示す。図1は $R_a 0.4 \mu\text{m}$ の粗さをもつ被検面を $65 \mu\text{m}$ のスポットサイズで照明し、かつ $NA 0.02$ の範囲を受光する合成波長 $300 \mu\text{m}$ の2波長干渉計で計測したときの測長誤差シミュレーションを行った結果である。ここで測長誤差とは100サンプル被検面の測長誤差の2乗をとった値である。図1によると被検面傾きが 0° のときは $0.6 \mu\text{m}$ と測長誤差は小さいが、被検面傾きが 10° の場合、 $8.1 \mu\text{m}$ と大幅に測長誤差が悪化することがわかる。通常、粗面被検面が傾いている場合の被検面に対する瞳共役面(フーリエ変換の関係となる面)におけるスペックルパターンは、被検面が傾いていないスペックルパターンを瞳面内でシフト(横ずれ)させたようなパターンとして形成される。また、粗面被検面が傾いた場合、被検面の瞳共役面に形成される λ_1 と λ_2 の異なる波長間の瞳面内のスペ

40

50

ックルパターンのシフト量に差が生じる為、2波長間のスペックルパターンの相関が減少し測長精度が悪化してしまう。更に、被検面の傾き角度が大きくなると、波長間の瞳面内スペックルパターンのシフト量の差が大きくなる為、2波長間のスペックルパターンの相関も更に減少し、大幅な測長精度悪化を招く。このように、粗面計測に多波長干渉計を適用したとしても被検面が傾いている場合、波長間の相関性の減少により精度良い測定が困難であることがわかる。

【0011】

そこで、本発明は、被検面が傾いていても測定精度の悪化を低減する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】

10

【0012】

本発明の一側面としての計測装置は、被検面の位置または形状を計測する計測装置であって、波長が互いに異なる複数の光束を用いる多波長干渉計と、前記多波長干渉計により検出された干渉光の信号を用いて前記被検面の位置または形状を求める制御部とを有し、前記多波長干渉計は、光を被検面に入射させて前記被検面で反射された被検光と参照光とを干渉させる光学系と、前記被検光と前記参照光との干渉光を各波長に分光する分光部と、分光された複数の干渉光の各々に設けられた、前記干渉光を検出する検出器と、前記分光部からの干渉光を前記検出器に導く導光部分の位置を調整可能な光学部材とを有し、前記制御部は、前記被検面の傾きに関する情報を用いて前記複数の光束の波長間におけるスペックルパターンのシフト量を取得し、取得したシフト量に基づいて前記光学部材を制御して前記導光部分の位置を調整することを特徴とする。

20

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、被検面が傾いていても測定精度の悪化を低減する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】被検面の傾き角度と測長誤差の関係の例を示す図である。

【図2】実施形態1における計測装置の概略図である。

【図3】被検面の傾き角を説明するための図である。

30

【図4】スペックルパターンのシフト量の差を説明するための図である。

【図5】実施形態1における測長値の算出フローを示す図である。

【図6】実施形態2における計測装置の一部を示す図である。

【図7】DMDの動作を説明するための図である。

【図8】DMDの動作を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

(実施形態1)

図2は本実施形態の計測装置の概略図である。本実施形態の計測装置は、図2に示すように、複数の光源、被検光と参照光を干渉させる干渉計(光学系)、制御装置(制御部)を有する。

40

【0016】

固定波長レーザ1を射出した光はビームスプリッタ4で分割される。また、固定波長レーザ2は固定波長レーザ1が射出する光の波長とは異なる波長の光を射出する。レーザ2から射出された光はビームスプリッタ4に入射し、光線軸がレーザ1から射出された光と同軸になり、ビームスプリッタ4で分割される。ここで、レーザ1とレーザ2は同様のDFB半導体レーザを用いる。また、本実施形態ではレーザ1とレーザ2は別素子のレーザとしているが、光通信に用いられる多波長光源と同様に複数の半導体レーザを1つの素子に集積した構造としても構わない。この場合にはコストおよび寸法の観点で有利である。また、必ずしもDFBレーザに制約するものではなく、HeNeレーザ等でも構わない。

50

【 0 0 1 7 】

ビームスプリッタ 4 で分割された光は、波長の基準素子であるガスセル 3 を透過後、分光素子 5 でレーザ 1 から射出された光とレーザ 2 から射出された光のそれぞれに分離される。ガスセル 3 を透過後の光量は、レーザ 1 からの光については検出器 6 a、レーザ 2 からの光については検出器 6 b でそれぞれ検出される。レーザ制御ユニット 7 では、検出器 6 a の信号を用いてレーザ 1 の波長をガスセルの吸収線である波長 λ_1 に安定化するように制御を行う。波長の安定化は例えば検出器 6 a の透過強度が一定となるように、レーザ制御ユニット 7 によりレーザ 1 の波長を調整することにより行う。波長を調整する手段としては、例えば注入電流を変調する方法や温調による方法を用いる。同様に、レーザ制御ユニット 7 で検出器 6 b の信号を用いてレーザ 2 の波長をガスセルの吸収線である波長 λ_2 に安定化するように制御を行う。ここで、本実施形態ではガスセルのみを用いて波長精度を保証しているが、ガスセルの代わりにエタロンを用いても構わない。また、ガスセルとエタロンの両方を用いても構わない。

10

【 0 0 1 8 】

ビームスプリッタ 4 で分割されたもう一方の光は、偏光ビームスプリッタ 8 によって、更に第 1 光束と第 2 光束に分割される。第 1 光束は周波数（波長）シフタ 9 に入射する。周波数シフタ 9 ではレーザ 1 とレーザ 2 のそれぞれから出力される光について、音響光学素子により入射光の周波数に対して一定量の周波数シフトを印加する。周波数シフタ 9 から射出した光はコリメートレンズ 10 a に入射する。偏光ビームスプリッタ 8 によって分割された第 2 光束はコリメートレンズ 10 b に入射する。なお、周波数シフタを第 2 光束の光路内に配置してもよいし、シフト量が互いに異なる周波数シフタを両光束に配置してもよい。

20

【 0 0 1 9 】

コリメートレンズ 10 a に入射した第 1 光束は、コリメートレンズ 10 a で平行光束とされ、 $\lambda/2$ 板 11 a を通過後、偏光ビームスプリッタ 12 で透過光 31 及び反射光 32 に分割される。 $\lambda/2$ 板 11 a は偏光ビームスプリッタ 12 で分割される光束の光量が所望の分岐比となるように偏光方向を調整する。反射光 32 は不図示の $\lambda/2$ 板により偏光方向が 90 度回転するように調整され、偏光ビームスプリッタ 13 及び偏光子 14 を透過し、更に集光レンズ 15 で集光された後、ダイクロイックミラーなどの分光素子 23 に入射する。

30

【 0 0 2 0 】

また、コリメートレンズ 10 b に入射した第 2 光束はコリメートレンズ 10 b で平行光束とされ、 $\lambda/2$ 板 11 b を通過後、偏光ビームスプリッタ 13 で透過光 33 及び反射光 34 に分割される。 $\lambda/2$ 板 11 b は偏光ビームスプリッタ 13 で分割される光束の光量が所望の分岐比となるように偏光方向を調整する偏光ビームスプリッタ 13 で分割された反射光 34 は偏光子 14 を通過し、更に集光レンズ 15 で集光された後、分光素子 23 に入射する。

【 0 0 2 1 】

分光素子 23 は、レーザ 1 からの光を透過させ、レーザ 2 からの光を反射することによって分光する。分光素子 23 を透過した光は検出器 24 a に入射し、分光素子 23 で反射された光は検出器 24 b に入射する。検出器 24 a は、波長 λ_1 の光に周波数シフトが印加された反射光 32 と波長 λ_1 の反射光 34 との干渉光を検出し、両方の光の周波数差に相当するビート信号（干渉信号）を基準信号として制御装置（コンピュータ）26 へ出力する。また、同様に検出器 24 b は、波長 λ_2 の光に周波数シフトが印加された反射光 32 と波長 λ_2 の反射光 34 の干渉光を検出し、両方の光の周波数差に相当するビート信号を基準信号として制御装置 26 へ出力する。なお、分光素子 23 を用いて波長毎の基準信号に分離する構成を示したが、波長 λ_1 と波長 λ_2 の第 1 光束に異なる周波数シフト量を与え、検出器で検出した干渉信号を周波数分離することで波長毎の干渉信号に分離しても良い。この場合、分光素子が不要となり、検出器が 1 つになり、装置構成が単純になる。

40

【 0 0 2 2 】

50

一方、偏光ビームスプリッタ12で分割された透過光31は、ミラーで偏向され、偏光ビームスプリッタ16に入射する。偏光ビームスプリッタ16は透過光31を参照光として透過させる。また、偏光ビームスプリッタ13で分割された透過光33は偏光ビームスプリッタ16を被検光として透過させる。透過光33は偏光ビームスプリッタ16を透過後、 $\lambda/4$ 板19により円偏光とされ、集光レンズ20で収束光となって被検面に集光される。被検面で反射された後、再度 $\lambda/4$ 板19を透過することにより、前に偏光ビームスプリッタ16に入射した時とは偏波面が90度回転した直線偏光となって偏光ビームスプリッタ16に再度入射する。その後、偏光ビームスプリッタ16で反射される。偏光ビームスプリッタ16は、参照光としての透過光31と、偏光ビームスプリッタ16で反射した被検光としての透過光33とを合成して干渉させる。そして、参照光と被検光の干渉光は偏光子17を通過し、ダイクロイックミラーなどの分光素子18に入射する。

10

【0023】

分光素子18(分光部)は、レーザ1からの光を透過させ、レーザ2からの光を反射することによって分光する。分光素子18を透過した光は、被検面に対して瞳共役(瞳面)の位置(フーリエ変換の関係となる位置)またはその近傍にある絞り21aの開口を通過して、干渉光を検出する検出器25aに入射する。また、分光素子18で反射された光は、被検面に対して瞳共役の位置またはその近傍にある絞り21bの開口を通過して、干渉光を検出する検出器25bに入射する。検出器25aと25bは被検光と参照光との干渉光を検出し、両光束の周波数差に相当するビート信号を計測信号として制御装置(コンピュータ)26へ出力する。制御装置は計測信号に基づいて距離を算出する。なお、計測信号の位相は基準信号の位相と異なる。したがって、計測信号の位相の計測値として基準信号に対する位相を求めてもよい。なお、計測信号の位相は被検光と参照光の光路長差に応じて変化する。

20

【0024】

分光素子と検出器との間に配置された絞り21aおよび絞り21bの少なくとも一方は、光軸とは垂直な面内の任意の方向に移動可能に配置されている。例えば、移動ステージ上に絞りを配置して、ステージのアクチュエータや制御装置を含む駆動制御装置22a、22bによりステージを移動してもよい。つまり、絞り(光学部材)は、分光素子からの光を絞りの開口を介して検出器に導き、絞りの位置を変えることで、分光素子からの光のうち検出器に導く導光部分の位置が調整可能に設けられている。

30

【0025】

干渉計の光軸(入射光の方向)に対して垂直な面に対して被検面が傾いている場合のスペックルパターンは、被検面が傾いていない場合のスペックルパターンを瞳面内においてシフト(横ずれ)させたようなパターンとして形成される。図3にxz断面における被検面の傾き角度と干渉計の一部の構成との関係を示す。干渉計の光軸を1点鎖線で示す。干渉計の光軸は偏光ビームスプリッタ16で折れ曲がる。干渉計の光軸方向(x方向)から被検面に入射した光は、被検面で反射し、偏光ビームスプリッタ16でz方向に偏向されて、絞り21aの開口に入射する。被検光が入射する範囲において、被検面が干渉計の光軸に垂直な面(図3の点線で示すyz平面)に対して角度 α だけ傾いている場合、絞り21aのある瞳面(干渉計の光軸に垂直な面、図3に示すxy平面)において、x方向にスペックルパターンがシフトする。

40

【0026】

図4に被検面の傾き角度が15度の場合において波長 λ_1 の光によるスペックルパターンと、波長 λ_2 の光によるスペックルパターンを示す。図4に示すように、被検面が傾いた場合、被検面に対する瞳共役面(干渉計の瞳面)に形成される波長 λ_1 と λ_2 の異なる波長間のスペックルパターンのシフト量に差が生じる。そのため、2波長間のスペックルパターンの相関が減少して2波長間の計測信号の位相差に誤差が生じ、測長精度が悪化してしまう。更に、被検面の傾き角度が大きくなるほど2波長間の瞳面内におけるスペックルパターンのシフト量の差が大きくなる。

【0027】

50

被検面の傾きと2波長間のスペックルパターンのシフト量とは数式(2)に示すような関係にある。

【0028】

【数2】

$$\Delta L_x = 2f \times \tan(\theta_x) \times \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} - 1 \right)$$

$$\Delta L_y = 2f \times \tan(\theta_y) \times \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} - 1 \right)$$

10

【0029】

ここで、瞳面において干渉計の光軸に垂直な方向をx、y方向とした場合、 L_x は瞳面におけるx方向のシフト量であり、 L_y は瞳面におけるx方向に垂直なy方向のシフト量である。fは被検面から反射光を受光する受光光学系(被検面から瞳面の間の光学系)の焦点距離である。xは、第1方向(図3に示すz方向)に対する被検面の傾き角度であって、図3に示すxz断面においてz方向に対する被検面の傾き角度である。yは第1方向に対して垂直な第2方向(図3に示すy方向)に対する被検面の傾き角度であって、図3の示す座標系のxy断面においてy方向に対する被検面の傾き角度である。

20

【0030】

したがって、スペックルパターンのシフトによる測長誤差を低減するには、予め被検面の傾きの情報を取得する。そして、数式2を用いて算出された2波長間のスペックルパターンのシフト量に基づいて、分光素子18からの光のうち検出器に導く導光部分の位置(瞳面における干渉光の通過範囲)を2波長間で変えればよい。

【0031】

次に本実施形態の測長値算出方法について説明する。図5は制御装置26内での測長値算出フローを示す。S1では、制御装置26が被検面の傾き角度など傾きに関する情報を取得する。被検面の傾きの情報は、例えば、被検面の設置姿勢(被検面を保持するステージの姿勢)の情報から得ることができる。また、設置姿勢の他に被検面の形状や寸法を表す設計図等の情報を用いて得ることができる。さらに、本実施形態の計測装置とは別の計測装置を用いて被検面の傾き角度を計測することにより傾きの情報を得てもよい。また、誤差はあるが、本実施形態の計測装置で2つの絞りを基準位置に固定し、分光された各干渉光に対して導光部分の位置を同じにした状態で事前に計測して得られる被検面の形状から被検面の傾き角度を算出してもよい。制御装置26は、得られた被検面の傾きの情報を記憶する。

30

【0032】

次に、S2では、制御装置26は、記憶された被検面の傾きの情報を用いて、数式2を用いて2波長間のスペックルパターンのシフト量 L_x 、 L_y を算出する。そして、算出されたシフト量に基づいて絞り21aおよび21bの少なくとも一方を移動する(S3)。

40

【0033】

まず、干渉計の光軸に垂直な面に対して被検面が傾いていない場合の瞳面における光束の中心位置(光軸)を基準位置(原点)とする。制御装置26は絞り21aの目標位置を基準位置として、駆動制御装置22aを制御して絞り21aを基準位置に位置決めする。例えば、絞りの開口(導光部分)の中心を絞りの位置として位置決めすることができる。また、制御装置26は、絞り21bの目標位置を(L_x 、 L_y)として、駆動制御装置22bを制御して絞り21bを基準位置から(L_x 、 L_y)だけ離れた位置に移動

50

させて位置決めする。このように、分光素子からの光のうち検出器に導く導光部分の位置を2波長間でシフトさせて、2波長間のスペックルパターンのシフト量の差に起因する誤差を補正するように絞りを位置決めする。

【0034】

絞りの移動はこれに限らず、駆動制御装置22aを用いずに絞り21aを固定して配置してもよい。また、例えば、絞り21aの目標位置を $Lx/2$ 、 $Ly/2$ 、絞り21bの目標位置を $-Lx/2$ 、 $-Ly/2$ として、各目標位置に各絞りが位置するように各絞りを移動して、相対的に Lx 、 Ly だけずらすようにしてもよい。この場合、シフト量が半分で良いため計測光束を小さくでき、さらに絞りを搭載したステージの可動範囲も抑えることが可能となり、計測光学系が小型化できる利点がある。

10

【0035】

次に、各絞りの開口を通過した干渉光を検出器25a、25bが検出する(S4)。検出器25aは波長 λ_1 に関して被検光と参照光とのビート信号を検出する。また、検出器25bは波長 λ_2 に関して被検光と参照光とのビート信号を検出する。また、検出器24a、24bを用いて干渉光(基準信号)を取得する。そして、検出器により出力されたそれぞれの信号は制御装置26に入力される。

【0036】

次に、制御装置26は、検出器25aにより検出された波長 λ_1 に関するビート信号の位相 ϕ_1 と、検出器25bにより検出された波長 λ_2 に関するビート信号の位相 ϕ_2 を求める。そして、数式3により、各位相を用いて測長値Lを算出する(S5)。

20

【0037】

【数3】

$$L = \frac{\Lambda}{2} (\phi_1 - \phi_2)$$

【0038】

ここで、 Λ は λ_1 、 λ_2 の合成波長 ($\lambda_1 \lambda_2 / |\lambda_1 - \lambda_2|$) である。つまり、合成波長と2波長間の位相差を用いて測長値Lを算出する。測長値は、参照光と被検光との光路長差に相当し、被検面までの距離や被検面の位置として表現される。さらに、測長値に基づいて他の物理量を求めても良い。例えば、被検面をXY平面内に移動可能なステージに載せることで、被検面の複数の位置における上記測長値から被検面の面形状の情報を得るような形状計測にも適用可能である。また、移動ステージの代わりにガルバノミラーを干渉計と被検面の間に配置しても構わない。

30

【0039】

このように、被検面の傾きの情報を予め取得して、2波長間のスペックルパターンのシフト量の差に応じて絞りを位置決めして、2波長間で相関の高い干渉光を検出する。したがって、2波長間のスペックルパターンのシフトに起因する計測誤差を低減することができる。高精度な計測を行うことができる。

40

【0040】

なお、特許文献2に記載のインコヒーレント平均化によるスペックル影響の低減方法では、1点を測定する場合であっても多くのデータを取得し、空間的或いは時間的なスペックルパターンの変化を平均化する処理時間が必要であるため計測時間が長くなってしまふ。本実施形態によれば、インコヒーレント平均化を行わないので特許文献2に記載の発明よりも高速に計測が可能となる。なお、特許文献1に記載の発明では、絞りやピンホールを移動させ、被検面からの正反射光に相当する最大光量の位置を検出しているだけであり、波長間のスペックルパターンの相関性は改善しない。

50

【 0 0 4 1 】

(実施形態2)

本実施形態では、絞りの代わりにDMD(Digital Mirror Device)を用いる。第1実施形態と異なる構成について説明し、同じ構成の説明は省略する。図6に偏光ビームスプリッタ16を透過した後の部分の計測装置の構成を示す。

【 0 0 4 2 】

偏光ビームスプリッタ16を透過した光は偏光素子17を透過し、分光素子18に入射する。分光素子18はレーザ1からの光を透過し、レーザ2からの光を反射することによって分光する。分光素子18を透過した光は、被検面に対して瞳共役な位置またはその近傍に配置されたDMD(反射光学部材)41aに入射し、DMD41aで反射された光が検出器25aで検出される。分光素子18で反射された光は、被検面に対して瞳共役な位置またはその近傍に配置されたDMD41bに入射し、DMD41bで反射された光が検出器25bで検出される。

10

【 0 0 4 3 】

DMDは微小鏡面が2次元に配列された光学素子である。微小鏡面の単一画素の寸法は例えば十数 μm であり、数十万個の鏡面が配列されている。各画素の鏡面下部に設けられた電極を駆動することにより、「ON」「OFF」で鏡面をねじれ軸周りに $\pm 12^\circ$ の傾斜をさせることができ、各画素に対して独立して光の投射方向を制御することができる。図7に示すように「ON」状態の画素は入射光が検出器により検出されるように検出器の方向へ入射光を反射し、「OFF」状態の画素は入射光が検出器により検出されないように検出器の方向とは異なる方向へ入射光を反射するように制御されている。このようにして、分光素子からの光のうちDMDで反射して検出器に導く導光部分の位置(範囲)が定められる。

20

【 0 0 4 4 】

本実施形態では、上記数式2を用いて算出された2波長間のスペckルパターンのシフト量 L_x 、 L_y に基づいて、分光素子からの光のうちDMDで反射して検出器に導く導光部分の位置を算出し、その位置に基づいてDMD41a、41bを制御する。DMD41a、41bには駆動制御装置42a、42bが設けられ、駆動制御装置により各画素のON、OFFが制御される。

【 0 0 4 5 】

図8にDMD41a、41bのON、OFFの状態を示す。図8に示すように、実施形態1と同様に基準位置(原点)を定義し、DMD41aが分光素子から入射する入射光(実線で示す円内)を反射して検出器に導く導光部分を、基準位置を中心とする所定の径内(点線で示す円内)とする。そして、その導光部分における白色で示す画素を駆動制御装置42aによりON状態にし、その他の灰色で示す画素をOFF状態に制御する。また、DMD41bが分光素子からの光を反射して検出器に導く導光部分を、基準位置からシフト量だけずれた(L_x 、 L_y)を中心とする所定の径内とする。そして、その範囲における白色で示す画素を駆動制御装置42bによりON状態にし、その他の灰色で示す画素をOFF状態に制御する。なお、導光部分の調整はこの例に限らず、第1実施形態と同様に中心位置が相対的にシフト量だけずれていればよい。

30

40

【 0 0 4 6 】

このように、2波長間のスペckルパターンのシフト量の差に応じてDMDを制御することによって、2波長間で相関の高い干渉光を検出する。したがって、2波長間のスペckルパターンのシフトに起因する計測誤差を低減することができ、高精度な計測を行うことができる。

【 0 0 4 7 】

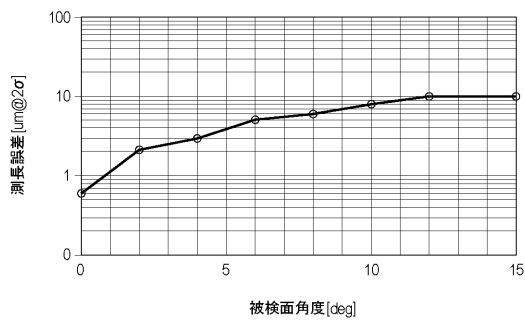
DMDはサブミリ秒でのON/OFFの切替制御が可能であることから、高速に計測が可能となる。なお、DMDに限らず、液晶シャッタや空間光変調器など、二次元的にON/OFFを切り替え可能な素子を用いてもよい。

【 0 0 4 8 】

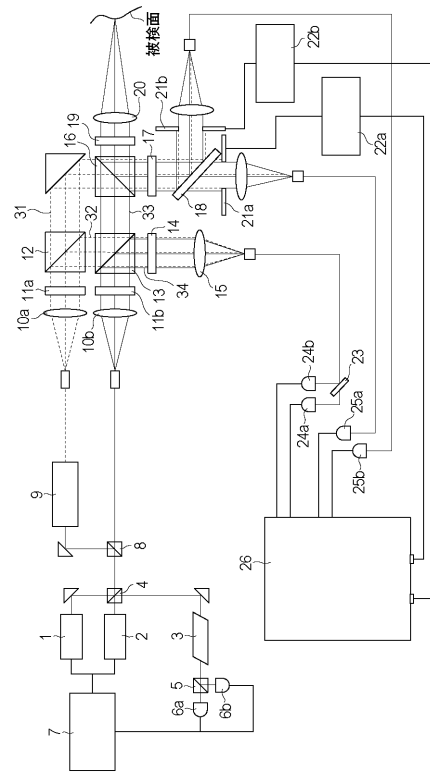
50

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ず、その要旨の範囲内で種々の変形および変更が可能である。例えば、上記実施形態ではすべてヘテロダイン干渉計について述べたが、多波長ホモダイン干渉計で粗面の計測を行う場合でも適用できる。また、本実施形態では2波長干渉計に限定して説明したが、異なる3波長以上の多波長干渉計でも構わない。又は、複数波長の一つを波長走査することで絶対測長を可能とする多波長走査干渉計に適用しても構わない。

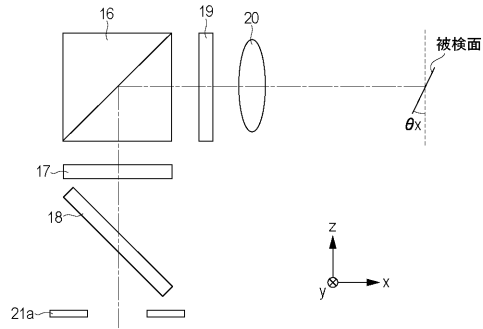
【図1】



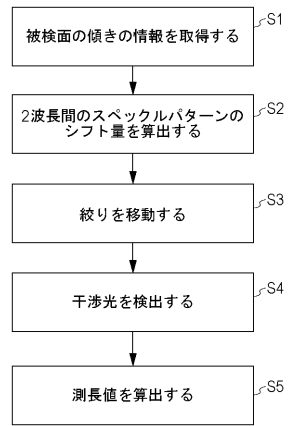
【図2】



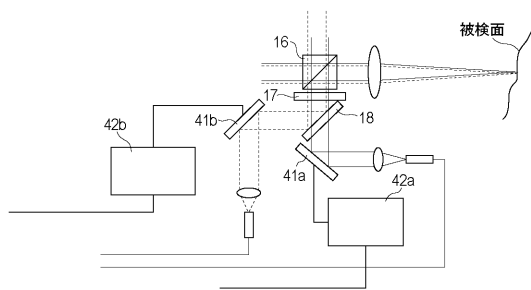
【図3】



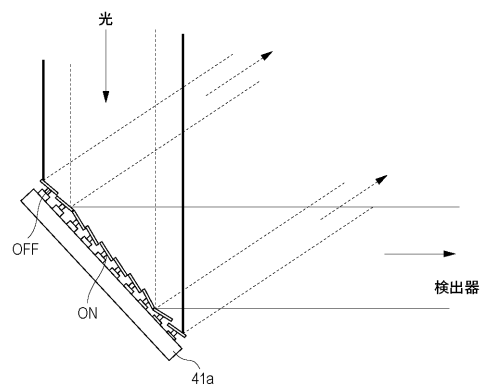
【図5】



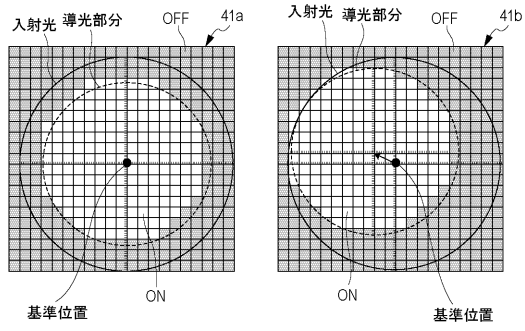
【図6】



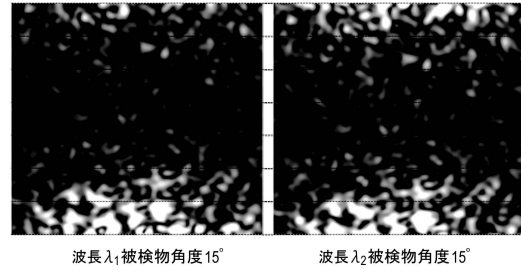
【図7】



【 図 8 】



【 図 4 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2001-264036(JP,A)
特開平04-204312(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01B 9/00-11/30