

(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2016-164557
(P2016-164557A)

(43) 公開日 平成28年9月8日(2016.9.8)

(51) Int.Cl.
G01B 11/24 (2006.01)

F I
G01B 11/24

テーマコード(参考)
2F065

審査請求 有 請求項の数 16 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2016-36289 (P2016-36289)
(22) 出願日 平成28年2月26日 (2016.2.26)
(31) 優先権主張番号 特願2015-38812 (P2015-38812)
(32) 優先日 平成27年2月27日 (2015.2.27)
(33) 優先権主張国 日本国(JP)

(71) 出願人 000151494
株式会社東京精密
東京都八王子市石川町2968-2
(74) 代理人 100083116
弁理士 松浦 憲三
(72) 発明者 沼津 匡俊
茨城県土浦市東中貫町4 株式会社東京精密内
(72) 発明者 青戸 智浩
茨城県土浦市東中貫町4 株式会社東京精密内
Fターム(参考) 2F065 AA06 AA53 BB13 DD04 FF52
GG02 GG07 GG24 JJ03 JJ26
QQ25 QQ28 QQ29 QQ31 UU01

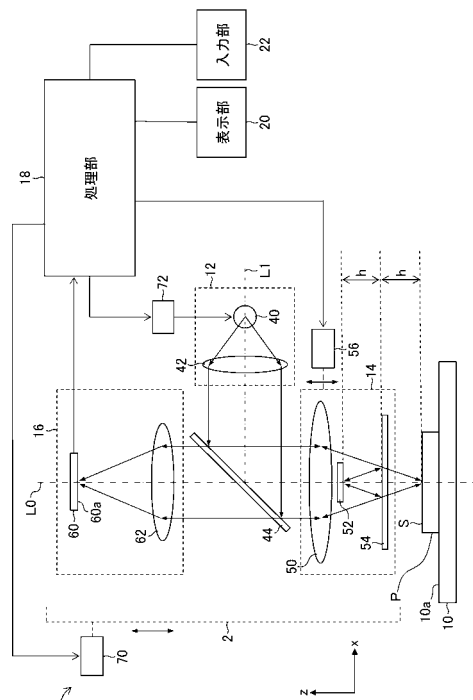
(54) 【発明の名称】 表面形状測定装置及び表面形状測定方法

(57) 【要約】

【課題】測定対象物の被測定面が複雑な形状を有する場合等のように反射率が一定でない場合でも、被測定面の表面形状(3次元形状)を高感度かつ高精度に測定することができる表面形状測定装置及び表面形状測定方法を提供する。

【解決手段】表面形状測定装置1は、光源部12の動作を制御することによって撮像部16から少なくとも相対的に光量大きい第1の干渉画像と相対的に光量小さい第2の干渉画像とをそれぞれ取得し、第1の干渉画像及び第2の干渉画像のそれぞれに基づき被測定面の各点ごとに複数のインターフェログラムを求め、複数のインターフェログラムの中から予め設定された測定レンジ内のインターフェログラムを各点ごとに選択し、選択した各点ごとのインターフェログラムに基づいて被測定面の各点の前記光軸方向の位置を検出する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

白色光を出射する光源部と、

前記光源部からの白色光を物体光と参照光とに分割して前記物体光を測定対象物の被測定面に照射し、前記被測定面から戻る前記物体光と前記参照光とを干渉させた干渉光を生成する干渉部と、

前記測定対象物に対して前記干渉部を前記物体光の光軸方向に相対的に移動する走査手段と、

前記干渉部からの前記干渉光を撮像し、前記干渉光による干渉画像を生成する撮像部と

10

、
前記走査手段により前記測定対象物に対して前記干渉部を前記光軸方向に相対的に移動させながら前記撮像部から前記干渉画像を順次取得し、取得した前記干渉画像に基づいて前記被測定面の各点ごとのインターフェログラムを求め、前記各点ごとの前記インターフェログラムに基づいて前記被測定面の各点の前記光軸方向の位置を検出する処理部と、

前記光源部又は前記撮像部の動作を制御する制御手段と、
を備え、

前記処理部は、前記制御手段により前記光源部又は前記撮像部の動作を制御することによって前記撮像部から少なくとも相対的に光量が大きい第 1 の干渉画像と相対的に光量が小さい第 2 の干渉画像とをそれぞれ取得し、前記第 1 の干渉画像及び前記第 2 の干渉画像のそれぞれに基づき前記各点ごとに複数のインターフェログラムを求め、前記複数のインターフェログラムの中から予め設定された測定レンジ内のインターフェログラムを前記各点ごとに選択し、選択した前記各点ごとのインターフェログラムに基づいて前記被測定面の各点の前記光軸方向の位置を検出する表面形状測定装置。

20

【請求項 2】

前記処理部は、前記測定レンジ内のインターフェログラムが複数ある場合には、前記測定レンジ内のインターフェログラムの中から波形振幅の最大値が最も大きいインターフェログラムを選択する、

請求項 1 に記載の表面形状測定装置。

【請求項 3】

前記処理部は、前記制御手段により前記光源部又は前記撮像部の動作を制御することによって前記測定対象物に対する測定条件を互いに異ならせて前記測定対象物に対して複数回の測定を行い、前記複数回の測定によって前記各点ごとに複数のインターフェログラムを求め、前記複数のインターフェログラムの中から予め設定された測定レンジ内のインターフェログラムを前記各点ごとに選択し、選択した前記各点ごとのインターフェログラムに基づいて前記被測定面の各点の前記光軸方向の位置を検出する、

30

請求項 1 又は 2 に記載の表面形状測定装置。

【請求項 4】

前記測定条件は、前記光源部から出射される白色光の発光量である、

請求項 3 に記載の表面形状測定装置。

【請求項 5】

前記測定条件は、前記撮像部のゲイン、露光時間、及び絞り値の少なくともいずれかである、

40

請求項 3 又は 4 に記載の表面形状測定装置。

【請求項 6】

前記光源部はパルス状の白色光を出射するパルス光源を有し、

前記制御手段は、前記パルス光源の発光と前記撮像部の画像取得とが一定の相関関係を保ちながらそれぞれ周期的に行われるように制御する、

請求項 1 又は 2 に記載の表面形状測定装置。

【請求項 7】

前記パルス光源の発光周期は前記撮像部の画像取得周期よりも長く、かつ前記パルス光

50

源の 1 周期あたりの発光時間は前記撮像部の 1 周期あたりの画像取得時間よりも長い、
請求項 6 に記載の表面形状測定装置。

【請求項 8】

前記パルス光源の発光周期は前記撮像部の画像取得周期の 2 倍である、
請求項 7 に記載の表面形状測定装置。

【請求項 9】

白色光を出射する光源部と、

前記光源部からの白色光を物体光と参照光とに分割して前記物体光を測定対象物の被測定面に照射し、前記被測定面から戻る前記物体光と前記参照光とを干渉させた干渉光を生成する干渉部と、

前記測定対象物に対して前記干渉部を前記物体光の光軸方向に相対的に移動する走査手段と、

前記干渉部からの前記干渉光を撮像し、前記干渉光による干渉画像を生成する撮像部と、

前記走査手段により前記測定対象物に対して前記干渉部を前記光軸方向に相対的に移動させながら前記撮像部から前記干渉画像を順次取得し、取得した前記干渉画像に基づいて前記被測定面の各点ごとのインターフェログラムを求め、前記各点ごとの前記インターフェログラムに基づいて前記被測定面の各点の前記光軸方向の位置を検出する処理部と、

前記光源部又は前記撮像部の動作を制御する制御手段と、

を備える表面形状測定装置における表面形状測定方法であって、

前記制御手段により前記光源部又は前記撮像部の動作を制御することによって前記撮像部から少なくとも相対的に光量が大きい第 1 の干渉画像と相対的に光量が小さい第 2 の干渉画像とをそれぞれ取得し、前記第 1 の干渉画像及び前記第 2 の干渉画像のそれぞれに基づき前記各点ごとに複数のインターフェログラムを求める取得ステップと、

前記複数のインターフェログラムの中から予め設定された測定レンジ内のインターフェログラムを前記各点ごとに選択する選択ステップと、

前記選択ステップにより選択した前記各点ごとのインターフェログラムに基づいて前記被測定面の各点の前記光軸方向の位置を検出する検出ステップと、

を備える表面形状測定方法。

【請求項 10】

前記選択ステップは、前記測定レンジ内のインターフェログラムが複数ある場合には、前記測定レンジ内のインターフェログラムの中から波形振幅の最大値が最も大きいインターフェログラムを選択する、

請求項 9 に記載の表面形状測定方法。

【請求項 11】

前記取得ステップは、前記制御手段により前記光源部又は前記撮像部の動作を制御することによって前記測定対象物に対する測定条件を互いに異ならせて前記測定対象物に対して複数回の測定を行い、前記複数回の測定によって前記各点ごとに複数のインターフェログラムを求める、

請求項 9 又は 10 に記載の表面形状測定方法。

【請求項 12】

前記測定条件は、前記光源部から出射される白色光の発光量である、請求項 11 に記載の表面形状測定方法。

【請求項 13】

前記測定条件は、前記撮像部のゲイン、露光時間、及び絞り値の少なくともいずれかである、請求項 11 又は 12 に記載の表面形状測定方法。

【請求項 14】

前記光源部は前記白色光を周期的に出射するパルス光源を有し、

前記制御手段は、前記パルス光源の発光と前記撮像部の画像取得とが一定の相関関係を保ちながらそれぞれ周期的に行われるように制御する、

10

20

30

40

50

請求項 9 又は 10 に記載の表面形状測定方法。

【請求項 15】

前記パルス光源の発光周期は前記撮像部の画像取得周期よりも長く、かつ前記パルス光源の 1 周期あたりの発光時間は前記撮像部の 1 周期あたりの画像取得時間よりも長い、請求項 14 に記載の表面形状測定方法。

【請求項 16】

前記パルス光源の発光周期は前記撮像部の画像取得周期の 2 倍である、請求項 15 に記載の表面形状測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は表面形状測定装置及び表面形状測定方法に係り、特に白色光を光源とする走査型白色干渉計を用いて測定対象物の被測定面の 3 次元形状を非接触により測定する表面形状測定装置及び表面形状測定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

表面形状測定装置は、測定対象物の被測定面の 3 次元形状を測定する装置であり、走査型白色干渉計を用いたものが知られている。

【0003】

走査型白色干渉計は、特許文献 1 に記載されているように、波長幅が広い白色光（可干渉性の少ない低コヒーレンス光）を光源として使い、マイケルソン型やミロー型などの干渉計を用いて測定対象物の被測定面の 3 次元形状を非接触により測定する。

20

【0004】

特許文献 1 に記載のように、マイケルソン型の走査型白色干渉計は、測定対象物（試料）の被測定面に対向して配置されるマイケルソン型干渉計と、被測定面を照明する白色光を出射する白色光源と、マイケルソン型干渉計により生成された干渉光を撮影する CCD カメラ等を備える。

【0005】

マイケルソン型干渉計は、光学顕微鏡の構成要素としての対物レンズと、対物レンズと被測定面との間に配置されるビームスプリッタと、参照ミラーとを有する。白色光源からマイケルソン干渉計に入射した白色光は、対物レンズを透過してビームスプリッタにより物体光と参照光とに分割され、物体光は被測定面に照射され、参照光は参照ミラーに照射される。そして、被測定面から戻る物体光と参照ミラーから戻る参照光とが重ね合わされて干渉光が生成され、その干渉光が対物レンズを通過してマイケルソン干渉計から CCD カメラへと出射される。

30

【0006】

これにより、CCD カメラの撮像面には、干渉像が結像され、その干渉像が干渉画像として CCD カメラの撮像素子により取得される。そして、マイケルソン型干渉計を被測定面に対して高さ方向に変位させながら干渉画像を順次取得し、取得した干渉画像から被測定面の各点（画素）ごとのインターフェログラム（干渉縞曲線）を求め、各点ごとのインターフェログラムに基づいて被測定面の各点の相対的な高さが測定される。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献 1】特開 2013 - 19767 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

ところで、上述のような走査型白色干渉計において、測定対象物の被測定面が、例えば平面部と斜面部を有するような複雑な形状を有する場合等のように反射率が一定でない場

50

合、反射率の大きい箇所では適正となるように白色光の発光量を調整すると、反射率の小さな箇所のインターフェログラムの波形振幅が小さく、測定が正しく行えない場合がある。逆に反射率の小さい箇所では適正となるように白色光の発光量を調整すると、反射率の大きい箇所のインターフェログラムが飽和してしまい（即ち、予め設定された測定レンジを超えてしまい）、測定が正しく行えない場合がある。

【0009】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、測定対象物の被測定面が複雑な形状を有する場合等のように反射率が一定でない場合でも、被測定面の表面形状（3次元形状）を高感度かつ高精度に測定することができる表面形状測定装置及び表面形状測定方法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】

【0010】

上記目的を達成するため、本発明の第1態様に係る表面形状測定装置は、白色光を出射する光源部と、光源部からの白色光を物体光と参照光とに分割して物体光を測定対象物の被測定面に照射し、被測定面から戻る物体光と参照光とを干渉させた干渉光を生成する干渉部と、測定対象物に対して干渉部を物体光の光軸方向に相対的に移動する走査手段と、干渉部からの干渉光を撮像し、干渉光による干渉画像を生成する撮像部と、走査手段により測定対象物に対して干渉部を光軸方向に相対的に移動させながら撮像部から干渉画像を順次取得し、取得した干渉画像に基づいて被測定面の各点ごとのインターフェログラムを求め、各点ごとのインターフェログラムに基づいて被測定面の各点の光軸方向の位置を検出する処理部と、光源部又は撮像部の動作を制御する制御手段と、を備え、処理部は、制御手段により光源部又は撮像部の動作を制御することによって撮像部から少なくとも相対的に光量が大きい第1の干渉画像と相対的に光量が小さい第2の干渉画像とをそれぞれ取得し、第1の干渉画像及び第2の干渉画像のそれぞれに基づき各点ごとに複数のインターフェログラムを求め、複数のインターフェログラムの中から予め設定された測定レンジ内のインターフェログラムを各点ごとに選択し、選択した各点ごとのインターフェログラムに基づいて被測定面の各点の光軸方向の位置を検出する。

【0011】

本発明の第2態様に係る表面形状測定装置は、第1態様において、処理部は、測定レンジ内のインターフェログラムが複数ある場合には、測定レンジ内のインターフェログラムの中から波形振幅の最大値が最も大きいインターフェログラムを選択する。

【0012】

本発明の第3態様に係る表面形状測定装置は、第1態様又は第2態様において、処理部は、制御手段により光源部又は撮像部の動作を制御することによって測定対象物に対する測定条件を互いに異ならせて測定対象物に対して複数回の測定を行い、複数回の測定によって各点ごとに複数のインターフェログラムを求め、複数のインターフェログラムの中から予め設定された測定レンジ内のインターフェログラムを各点ごとに選択し、選択した各点ごとのインターフェログラムに基づいて被測定面の各点の光軸方向の位置を検出する。

【0013】

本発明の第4態様に係る表面形状測定装置は、第3態様において、測定条件は、光源部から出射される白色光の発光量である。

【0014】

本発明の第5態様に係る表面形状測定装置は、第3態様又は第4態様において、測定条件は、撮像部のゲイン、露光時間、及び絞り値の少なくともいずれかである。

【0015】

本発明の第6態様に係る表面形状測定装置は、第1態様又は第2態様において、光源部はパルス状の白色光を出射するパルス光源を有し、制御手段は、パルス光源の発光と撮像部の画像取得とが一定の相関関係を保ちながらそれぞれ周期的に行われるように制御する。

【0016】

10

20

30

40

50

本発明の第7態様に係る表面形状測定装置は、第6態様において、パルス光源の発光周期は撮像部の画像取得周期よりも長く、かつパルス光源の1周期あたりの発光時間は撮像部の1周期あたりの画像取得時間よりも長い。

【0017】

本発明の第8態様に係る表面形状測定装置は、第7態様において、パルス光源の発光周期は撮像部の画像取得周期の2倍である。

【0018】

本発明の第9態様に係る表面形状測定方法は、白色光を出射する光源部と、光源部からの白色光を物体光と参照光とに分割して物体光を測定対象物の被測定面に照射し、被測定面から戻る物体光と参照光とを干渉させた干渉光を生成する干渉部と、測定対象物に対して干渉部を物体光の光軸方向に相対的に移動する走査手段と、干渉部からの干渉光を撮像し、干渉光による干渉画像を生成する撮像部と、走査手段により測定対象物に対して干渉部を光軸方向に相対的に移動させながら撮像部から干渉画像を順次取得し、取得した干渉画像に基づいて被測定面の各点ごとのインターフェログラムを求め、各点ごとのインターフェログラムに基づいて被測定面の各点の光軸方向の位置を検出する処理部と、光源部又は撮像部の動作を制御する制御手段と、を備える表面形状測定装置における表面形状測定方法であって、制御手段により光源部又は撮像部の動作を制御することによって撮像部から相対的に光量が大きい第1の干渉画像と相対的に光量が小さい第2の干渉画像とをそれぞれ取得し、第1の干渉画像及び第2の干渉画像のそれぞれに基づき各点ごとに複数のインターフェログラムを求める取得ステップと、複数のインターフェログラムの中から予め設定された測定レンジ内のインターフェログラムを各点ごとに選択する選択ステップと、選択ステップにより選択した各点ごとのインターフェログラムに基づいて被測定面の各点の光軸方向の位置を検出する検出ステップと、を備える。

10

20

【0019】

本発明の第10態様に係る表面形状測定装置は、第9態様において、選択ステップは、測定レンジ内のインターフェログラムが複数ある場合には、測定レンジ内のインターフェログラムの中から波形振幅の最大値が最も大きいインターフェログラムを選択する。

【0020】

本発明の第11態様に係る表面形状測定装置は、第9態様又は第10態様において、取得ステップは、制御手段により光源部又は撮像部の動作を制御することによって測定対象物に対する測定条件を互いに異ならせて測定対象物に対して複数回の測定を行い、複数回の測定によって各点ごとに複数のインターフェログラムを求める。

30

【0021】

本発明の第12態様に係る表面形状測定装置は、第11態様において、測定条件は、光源部から出射される白色光の発光量である。

【0022】

本発明の第13態様に係る表面形状測定装置は、第11態様又は第12態様において、前測定条件は、撮像部のゲイン、露光時間、及び絞り値の少なくともいずれかである。

【0023】

本発明の第14態様に係る表面形状測定装置は、第9態様又は第10態様において、光源部は白色光を周期的に出射するパルス光源を有し、制御手段は、パルス光源の発光と撮像部の画像取得とが一定の相関関係を保ちながらそれぞれ周期的に行われるように制御する。

40

【0024】

本発明の第15態様に係る表面形状測定装置は、第14態様において、パルス光源の発光周期は撮像部の画像取得周期よりも長く、かつパルス光源の1周期あたりの発光時間は撮像部の1周期あたりの画像取得時間よりも長い。

【0025】

本発明の第16態様に係る表面形状測定装置は、第15態様において、パルス光源の発光周期は撮像部の画像取得周期の2倍である。

50

【発明の効果】

【0026】

本発明によれば、測定対象物の被測定面が複雑な形状を有する場合等のように反射率が一定でない場合でも、被測定面の表面形状（3次元形状）を高感度かつ高精度に測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図1】第1の実施の形態に係る表面形状測定装置の全体構成を示した構成図

【図2】 x y 座標上に干渉画像（撮像素子の撮像面）の画素配列を示した図

【図3】干渉縞曲線を例示した図

10

【図4】被測定面の異なる点の異なる z 座標値と干渉縞曲線との関係を例示した図

【図5】第1の実施の形態に係る表面形状測定装置を用いた表面形状測定方法の一例を示したフローチャート

【図6】被測定面の任意の点に対応する複数の干渉縞曲線の一例を示した図

【図7】被測定面の任意の点に対応する複数の干渉縞曲線の一例を示した図

【図8】干渉画像の各画素（被測定面の各点に相当）に対して選択された干渉縞曲線の分布の一例を示した図

【図9】本発明の他の実施の形態に係る表面形状測定装置の全体構成を示した構成図

【図10】第2の実施の形態に係る表面形状測定装置の全体構成を示した構成図

【図11】光源の発光タイミングと撮像素子の画像取得タイミングとの関係を示したタイミングチャート図

20

【図12】第2の実施の形態に係る表面形状測定装置による表面形状測定方法の一例を示したフローチャート

【図13】第2の実施の形態の変形例を示した図

【図14】第2の実施の形態の他の変形例を示した図

【発明を実施するための形態】

【0028】

以下、添付図面に従って本発明の好ましい実施の形態について詳説する。

【0029】

（第1の実施の形態）

30

まず、本発明の第1の実施の形態について説明する。

【0030】

図1は、第1の実施の形態に係る表面形状測定装置の全体構成を示した構成図である。

【0031】

図1に示すように、第1の実施形態に係る表面形状測定装置1は、ミロー型の干渉計を用いて測定対象物の表面形状等を非接触により3次元測定する所謂、ミロー型の走査型白色干渉計（顕微鏡）であり、測定対象物Pの干渉画像を取得する光学部2と、測定対象物Pが載置されるステージ10と、光学部2の各種制御や光学部2により取得された干渉画像に基づいて各種演算処理を行うパーソナルコンピュータ等の演算処理装置からなる処理部18等を備える。

40

【0032】

なお、測定対象物Pが配置される測定空間において、互いに直交する水平方向の2つの座標軸を x 軸（紙面に平行する軸）と y 軸（紙面に直交する軸）とし、 x 軸及び y 軸に直交する鉛直方向の座標軸を z 軸とする。

【0033】

ステージ10は、 x 軸及び y 軸に略平行する平坦な上面であって測定対象物Pを載置するステージ面10aを有する。

【0034】

ステージ面10aに対向する位置、即ち、ステージ10の上側には、不図示の筐体により一体的に収容保持された光学部2が配置される。

50

【 0 0 3 5 】

光学部 2 は、 x 軸に平行な光軸 L_1 を有する光源部 1 2 と、 z 軸に平行な光軸 L_0 を有する干渉部 1 4 及び撮像部 1 6 とを有する。光源部 1 2 の光軸 L_1 は、干渉部 1 4 及び撮像部 1 6 の光軸 L_0 に対して直交し、干渉部 1 4 と撮像部 1 6 との間において光軸 L_0 と交差する。なお、光軸 L_1 は、必ずしも x 軸と平行でなくてもよい。

【 0 0 3 6 】

光源部 1 2 は、測定対象物 P を照明する照明光として波長幅が広い白色光（可干渉性の少ない低コヒーレンス光）を出射する光源 4 0 と、光源 4 0 から拡散して出射された照明光を略平行な光束に変換するコレクタレンズ 4 2 とを有する。光源 4 0 及びコレクタレンズ 4 2 の各々の中心とする軸は光源部 1 2 の光軸 L_1 として同軸上に配置される。

10

【 0 0 3 7 】

また、光源 4 0 としては、発光ダイオード、半導体レーザ、ハロゲンランプ、高輝度放電ランプなど、任意の種類が発光体を用いることができる。

【 0 0 3 8 】

この光源部 1 2 から出射された照明光は、干渉部 1 4 と撮像部 1 6 との間に配置され、光軸 L_1 と光軸 L_0 とが交差する位置に配置されたハーフミラー等のビームスプリッタ 4 4 に入射する。そして、ビームスプリッタ 4 4（ビームスプリッタ 4 4 の平坦な光分割面（反射面））で反射した照明光が光軸 L_0 に沿って進行して干渉部 1 4 に入射する。

【 0 0 3 9 】

干渉部 1 4 は、周知のミロー型干渉計により構成され、光源部 1 2 から入射した照明光を物体光と参照光とに分割し、物体光を z 軸方向（第 1 方向）を光軸として測定対象物 P に照射して測定対象物 P から戻る物体光を参照光により干渉させた干渉光を生成する。

20

【 0 0 4 0 】

干渉部 1 4 は、集光作用を有する対物レンズ 5 0 と、光を反射する平坦な反射面を有する参照ミラー 5 2 と、光を分割する平坦な光分割面を有するビームスプリッタ 5 4 を有する。対物レンズ 5 0、参照ミラー 5 2、及びビームスプリッタ 5 4 の各々の中心とする軸は干渉部 1 4 の光軸 L_0 として同軸上に配置される。参照ミラー 5 2 は例えば対物レンズ 5 0 の中心表面部分に設置される。

【 0 0 4 1 】

光源部 1 2 からこの干渉部 1 4 に入射した照明光は、対物レンズ 5 0 により集光作用を受けた後、ビームスプリッタ 5 4 に入射する。

30

【 0 0 4 2 】

ビームスプリッタ 5 4 は、例えばハーフミラーであり、ビームスプリッタ 5 4 に入射した照明光は、ビームスプリッタ 5 4 を透過する物体光と、ビームスプリッタ 5 4 の光分割面で反射する参照光とに分割される。

【 0 0 4 3 】

ビームスプリッタ 5 4 を透過した物体光は、測定対象物 P の被測定面 S に照射された後、被測定面 S から干渉部 1 4 へと戻り、再度、ビームスプリッタ 5 4 に入射する。そして、ビームスプリッタ 5 4 を透過した物体光が対物レンズ 5 0 に入射する。

【 0 0 4 4 】

一方、ビームスプリッタ 5 4 で反射した参照光は、参照ミラー 5 2 の光反射面で反射した後、再度、ビームスプリッタ 5 4 に入射する。そして、ビームスプリッタ 5 4 で反射した参照光が対物レンズ 5 0 に入射する。

40

【 0 0 4 5 】

これによって、干渉部 1 4 から被測定面 S に照射されて干渉部 1 4 に戻る物体光と、参照ミラー 5 2 で反射した参照光とが重ね合わされた干渉光が生成され、その干渉光が対物レンズ 5 0 により集光作用を受けた後、干渉部 1 4 から撮像部 1 6 に向けて出射される。

【 0 0 4 6 】

また、ビームスプリッタ 5 4（光分割面）は、対物レンズ 5 0 の焦点面（対物レンズ 5 0 の焦点を通り、光軸 L_0 に垂直な平面）に対して距離 h だけ対物レンズ 5 0 側に近くな

50

る位置、即ち、対物レンズ50の焦点面に対して距離 h だけ高い位置に配置される。

【0047】

参照ミラー52（反射面）は、ビームスプリッタ54（光分割面）に対して距離 h だけ対物レンズ50側に近くなる位置、即ち、ビームスプリッタ54に対して距離 h だけ高い位置に配置される。

【0048】

したがって、ビームスプリッタ54と参照ミラー52とは、対物レンズ50の焦点面の位置で反射した物体光の光路長と参照光の光路長とが等しくなるように配置される。

【0049】

なお、対物レンズ50の焦点距離を H_s とすると、距離 h を2倍した値 $2h$ 、即ち、対物レンズ50の焦点面から参照ミラー52までの距離 $2h$ は、対物レンズ50の焦点距離 H_s よりも小さい。

【0050】

また、照明光が物体光と参照光とに分割された後、物体光と参照光とが重ね合わされるまでの物体光と参照光の各々が通過した光路の光学的距離を、物体光の光路長及び参照光の光路長といい、それらの差を物体光と参照光の光路長差というものとする。

【0051】

また、干渉部14は、光学部2において z 軸方向に直線移動可能に設けられる。そして、干渉部アクチュエータ56の駆動により干渉部14が z 軸方向に移動する。これにより、対物レンズ50の焦点面の位置（高さ）が z 軸方向に移動すると共に、被測定面 S とビームスプリッタ54との距離が変化することで物体光の光路長が変化し、物体光と参照光との光路長差が変化する。なお、干渉部アクチュエータ56は、走査手段の一例である。

【0052】

撮像部16は、干渉部14からの干渉光を受光して干渉光による干渉画像を生成する撮像部であり、例えばCCD (Charge Coupled Device) カメラに相当し、CCD型の撮像素子60と、結像レンズ62とを有する。撮像素子60と結像レンズ62の各々の中心とする軸は撮像部16の光軸 L_0 と同軸上に配置される。なお、撮像素子60は、CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 型の撮像素子等、任意の撮像手段を用いることができる。

【0053】

干渉部14から出射された干渉光は、上述のビームスプリッタ44に入射し、ビームスプリッタ44を透過した干渉光が撮像部16に入射する。

【0054】

撮像部16に入射した干渉光は、結像レンズ62により撮像素子60の撮像面60aに干渉像を結像する。ここで、結像レンズ62は、測定対象物 P の被測定面 S の光軸 L_0 周辺の領域に対する干渉像を高倍率に拡大して撮像素子60の撮像面60aに結像する。

【0055】

また、結像レンズ62は、干渉部14の対物レンズ50の焦点面上における点を、撮像素子60の撮像面上の像点として結像する。即ち、撮像部16は、対物レンズ50の焦点面の位置にピントが合うように（合焦するように）設計されている。なお、以下において、測定対象物 P の焦点面の z 軸方向の位置を単に「ピント位置」、又は、「撮像部16のピント位置」というものとする。

【0056】

撮像素子60の撮像面60aに結像された干渉像は、撮像素子60により電気信号に変換されて干渉画像として取得される。そして、その干渉画像は、処理部18に与えられる。

【0057】

以上のように光源部12、干渉部14、及び撮像部16等により構成される光学部2は、全体が一体的として z 軸方向に直進移動可能に設けられる。例えば、光学部2は、 z 軸方向に沿って立設された不図示の z 軸ガイド部に直進移動可能に支持される。そして、 z

10

20

30

40

50

アクチュエータ 70 の駆動により光学部 2 全体が z 軸方向に直進移動する。これにより、干渉部 14 を z 軸方向に移動させる場合よりも、撮像部 16 のピント位置を z 軸方向に大きく移動させることができ、例えば、測定対象物 P の厚さ等に応じて撮像部 16 のピント位置を適切な位置に調整することができる。

【0058】

処理部 18 は、測定対象物 P の被測定面 S の表面形状を測定する際に、干渉部アクチュエータ 56 を制御して光学部 2 の干渉部 14 を z 軸方向（第 1 方向）に移動させながら撮像部 16 の撮像素子 60 から干渉画像を順次取得する。そして、取得した干渉画像に基づいて被測定面 S の各点ごとのインターフェログラム（以下、「干渉縞曲線」ともいう。）を求め、各点ごとのインターフェログラムに基づいて被測定面の各点の z 軸方向に関する位置を求め、被測定面 S の表面形状を示す 3 次元形状データを取得する。

10

【0059】

被測定面 S の 3 次元形状データを取得する処理について説明すると、撮像部 16 の撮像素子 60 は、x 軸及び y 軸からなる x y 平面（水平面）に沿って 2 次元的に配列された多数の受光素子（画素）からなり、各画素において受光される干渉像の輝度値、即ち、撮像素子 60 により取得される干渉画像の各画素の輝度値は、各画素に対応する被測定面 S の各点で反射した物体光と参照光との光路長差に応じた干渉光の強度（輝度情報）を示す。

【0060】

ここで、図 2 に示すように、干渉画像（撮像素子 60 の撮像面）の m 列目、n 行目の画素を (m, n) と表すものとする。そして、画素 (m, n) の x 軸方向に関する位置（以下、x 軸方向に関する位置を「x 位置」という）を示す x 座標値を $x(m, n)$ と表し、y 軸方向に関する位置（以下、y 軸方向に関する位置「y 位置」という）を示す y 座標値を $y(m, n)$ と表すものとする。

20

【0061】

また、画素 (m, n) に対応する測定対象物 P の被測定面 S 上の点の x 位置を示す x 座標値を $X(m, n)$ と表し、y 位置を示す y 座標値を $Y(m, n)$ と表すものとし、また、その点を x y 座標値により $(X(m, n), Y(m, n))$ と表すものとする。なお、画素 (m, n) に対応する被測定面 S 上の点とは、ピントが合っている状態において画素 (m, n) の位置に像点が結像される被測定面 S 上の点を意味する。

【0062】

このとき、撮像素子 60 により取得される干渉画像の画素 (m, n) の輝度値は、画素 (m, n) に対応する被測定面 S 上の点 $(X(m, n), Y(m, n))$ に照射された物体光と参照光との光路長差に応じた大きさを示す。そして、その光路長差が 0 となる場合に最も大きな値を示す。

30

【0063】

即ち、図 1 の干渉部アクチュエータ 56 により干渉部 14 を z 軸方向に移動させて光学部 2（撮像部 16）に対する干渉部 14 の相対的な z 軸方向の位置（以下、「z 位置」という）を変位させると、撮像部 16 のピント位置（対物レンズ 50 の焦点面）も z 軸方向に移動し、ピント位置も干渉部 14 と同じ変位量で変位する。また、ピント位置が変位すると、被測定面 S の各点に照射される物体光の光路長も変化する。

40

【0064】

そして、干渉部 14 を z 軸方向に移動させてピント位置を変位させながら、即ち、物体光の光路長を変化させながら、撮像素子 60 から干渉画像を順次取得して干渉画像の任意の画素 (m, n) の輝度値を検出すると、ピント位置の z 座標値に対して図 3 のような干渉縞曲線（インターフェログラム）Q に沿った輝度値が得られる。

【0065】

ここで、処理部 18 は、干渉部 14 の所定の基準位置からの変位量（干渉部 14 の z 位置）を、ポテンショメータやエンコーダなどの不図示の位置検出手段からの検出信号により検出することができ、または、位置検出手段を使用することなく干渉部 14 の z 位置を制御する場合、例えば、干渉部アクチュエータ 56 に与える駆動信号により一定変位量ず

50

つ干渉部 14 を移動させる場合には、その総変位量により検出することができる。そして、干渉部 14 が基準位置のときのピント位置の z 位置を測定空間における z 座標の基準位置（原点位置）として、かつ、干渉部 14 の基準位置からの変位量をピント位置の z 座標値として取得することができる。なお、 z 座標値は、原点位置よりも高い位置（撮像部 16 に近づく位置）を正側、低い位置（ステージ面 10a に近づく位置）を負側とする。また、干渉部 14 の基準位置、即ち、 z 座標の原点位置は任意の z 位置に設定、変更することができる。

【0066】

任意の画素 (m, n) における干渉縞曲線 Q は、その画素 (m, n) に対応する被測定面 S 上の点 $(X(m, n), Y(m, n))$ に照射された物体光と参照光との光路長差が所定値より大きい場合には略一定の輝度値を示し、光路長差がその所定値より小さいときには、光路長差が減少するにつれて輝度値が振動すると共にその振幅が大きくなる。

10

【0067】

したがって、干渉縞曲線 Q は、物体光と参照光との光路長が一致したときに（光路長差が 0 のときに）、最大値を示すと共に、その干渉縞曲線 Q の包絡線における最大値を示す。

【0068】

また、被測定面 S 上の点 $(X(m, n), Y(m, n))$ に照射された物体光と参照光との光路長は、撮像部 16 のピント位置が被測定面 S 上の点 $(X(m, n), Y(m, n))$ の z 位置に一致したときに一致する。

20

【0069】

したがって、干渉縞曲線 Q が最大値を示すとき（又は干渉縞曲線 Q の包絡線が最大値を示すとき）のピント位置は、被測定面 S 上の点 $(X(m, n), Y(m, n))$ の z 位置に一致しており、そのときのピント位置の z 座標値は、被測定面 S 上の点 $(X(m, n), Y(m, n))$ の z 座標値を示す。

【0070】

以上のことから、処理部 18 は、干渉部アクチュエータ 56 により干渉部 14 を z 軸方向（第 1 方向）に移動させてピント位置を z 軸方向に移動させながら（物体光の光路長を変化させながら）、撮像素子 60 から干渉画像を順次取得し、各画素 (m, n) の輝度値をピント位置の z 座標値に対応付けて取得する。即ち、ピント位置を z 軸方向に走査しながら干渉画像の各画素 (m, n) の輝度値を取得する。そして、各画素 (m, n) について、図 3 のような干渉縞曲線 Q の輝度値が最大値を示すときのピント位置の z 座標値を、各画素 (m, n) に対応する被測定面 S 上の点 $(X(m, n), Y(m, n))$ の z 座標値 $Z(m, n)$ として検出する。

30

【0071】

なお、 $Z(m, n)$ は、画素 (m, n) に対応する被測定面 S 上の点 $(X(m, n), Y(m, n))$ の z 座標値を示す。

【0072】

また、干渉縞曲線 Q の輝度値が最大値を示すときのピント位置の z 座標値を検出する方法は周知であり、どのような方法を採用してもよい。例えば、ピント位置の微小間隔ごとの z 座標値において干渉画像を取得することで、各画素 (m, n) について、図 3 のような干渉縞曲線 Q を実際に描画することができる程度に輝度値を取得することができ、取得した輝度値が最大値を示すときのピント位置の z 座標値を検出することで、干渉縞曲線 Q の輝度値が最大値を示すときのピント位置の z 座標値を検出することができる。または、ピント位置の各 z 座標値において取得した輝度値に基づいて最小二乗法等により干渉縞曲線 Q を推測し、又は、干渉縞曲線 Q の包絡線を推測し、その推測した干渉縞曲線 Q 又は包絡線に基づいて輝度値が最大値を示すときのピント位置の z 座標値を検出することで、干渉縞曲線 Q の輝度値が最大値を示すときのピント位置の z 座標値を検出することができる。

40

【0073】

50

以上のようにして、処理部 18 は、干渉画像（撮像素子 60 の撮像面 60 a）の各画素（ m, n ）に対応する被測定面 S 上の各点（ $X(m, n), Y(m, n)$ ）の z 座標値 $Z(m, n)$ を検出することで、被測定面 S 上の各点（ $X(m, n), Y(m, n)$ ）の相対的な高さを検出することができる。そして、被測定面 S 上の各点の x 座標値 $X(m, n)$ 、 y 座標値 $Y(m, n)$ 、及び z 座標値 $Z(m, n)$ を被測定面 S の 3 次元形状データ（表面形状を示すデータ）として取得することができる。例えば、図 4 に示すように x 軸方向に並ぶ 3 つの画素に対応する被測定面 S 上の 3 点における z 座標値 Z_1, Z_2, Z_3 が相違する場合に、ピント位置を z 軸方向に走査しながら干渉画像のそれらの画素の輝度値を取得すると、それらの画素の各々に関してピント位置が z 座標値 Z_1, Z_2, Z_3 のときに輝度値が最大値を示す干渉縞曲線 Q_1, Q_2, Q_3 が取得される。したがって、それらの干渉縞曲線 Q_1, Q_2, Q_3 の輝度値が最大値を示すときのピント位置の z 座標値を検出することで、それらの画素に対応する被測定面 S 上の 3 点における z 座標値 Z_1, Z_2, Z_3 を検出することができる。

10

【0074】

ところで、測定対象物 P の被測定面 S が、例えば平面部と斜面部を有するような複雑な形状を有する場合、反射率の大きい箇所では適正となるように白色光の発光量を調整すると、反射率の小さい箇所の干渉縞曲線の波形振幅が小さく、測定が正しく行えない場合がある。逆に反射率の小さい箇所では適正となるように白色光の発光量を調整すると、反射率の大きい箇所の干渉縞曲線が飽和してしまい（即ち、予め設定された測定レンジを超えてしまい）、測定が正しく行えない場合がある。

20

【0075】

これに対し、第 1 の実施の形態の表面形状測定装置 1 では、上記課題を解決するために、白色光の発光量が互いに異なる測定条件で 2 回の測定を行い、各々の測定によって第 1 干渉縞曲線及び第 2 干渉縞曲線を各点ごとに求め、第 1 干渉縞曲線及び第 2 干渉縞曲線の中から各点ごとに適した干渉縞曲線を選択し、選択した各点ごとの干渉縞曲線に基づいて被測定面の各点の相対的な高さ（ z 座標値）を検出する処理を行う。

【0076】

このような処理を実現するため、第 1 の実施の形態の表面形状測定装置 1 は、図 1 に示すように、制御手段の一例として光源制御部 72 を備えている。光源制御部 72 は、光源 40 から出射される白色光の発光量（光源光量）を制御する。具体的には、光源制御部 72 は、処理部 18 により測定対象物に対する測定条件を互いに異ならせて 2 回の測定が行われる際、1 回目の測定における発光量（第 1 発光量）と、2 回目の測定における発光量（第 2 発光量）とを決定し、それぞれの測定において決定した発光量となるように光源 40 の発光量を制御する。第 1 発光量と第 2 発光量は互いに異なる発光量である。例えば、第 1 発光量は被測定面 S の反射率が低い場合に適正な大光量であり、第 2 発光量は被測定面 S の反射率が高い場合に適正な小光量である。

30

【0077】

図 5 は、第 1 の実施の形態に係る表面形状測定装置による表面形状測定方法の一例を示したフローチャートである。

【0078】

ステージ 10 のステージ面 10 a に測定対象物 P が載置され、例えば、図 1 の入力部 22 により測定開始が指示されると、まず、図 5 のステップ S10 の工程（第 1 測定条件設定工程）として、光源制御部 72 は、光源 40 から出射される白色光の発光量が第 1 発光量（大光量）となるように制御を行う。

40

【0079】

次に、ステップ S12 の工程（第 1 インターフェログラム取得工程）として、処理部 18 は、干渉部アクチュエータ 56 を制御して光学部 2 の干渉部 14 を z 軸方向に移動させてピント位置を z 軸方向に移動させながら撮像素子 60 から干渉画像を順次取得し、取得した干渉画像に基づいて被測定面 S の各点（即ち、干渉画像の各画素）ごとに第 1 干渉縞曲線（第 1 インターフェログラム）を取得する。

50

【0080】

次に、ステップS14の工程（第2測定条件設定工程）として、光源制御部72は、光源40から出射される白色光の発光量が第2発光量（小光量）となるように制御を行う。

【0081】

次に、ステップS16の工程（第2インターフェログラム取得工程）として、ステップS12（第1インターフェログラム取得工程）の工程と同様に、処理部18は、干渉部アクチュエータ56を制御して光学部2の干渉部14をz軸方向に移動させてピント位置をz軸方向に移動させながら撮像素子60から干渉画像を順次取得し、取得した干渉画像に基づいて被測定面Sの各点（即ち、干渉画像の各画素）ごとに第2干渉縞曲線（第2インターフェログラム）を取得する。

10

【0082】

次に、ステップS18の工程（第1選択工程）として、処理部18は、第1干渉縞曲線（第1インターフェログラム）及び第2干渉縞曲線（第2インターフェログラム）の中から予め設定された測定レンジ内にある干渉縞曲線を選択し、この処理を全ての点（画素）に対して行う。

【0083】

図6は、被測定面Sの任意の点（干渉画像における任意の画素）に対する第1干渉縞曲線Qaと第2干渉縞曲線Qbの一例を示した図である。本例において、第1干渉縞曲線Qaは白色光の発光量が第1発光量（大光量）であるときに取得されたものである。そのため、被測定面Sの任意の点における反射率が高い箇所である場合には、図6の（a）に示すように第1干渉縞曲線Qaは予め設定された測定レンジを超えてしまい、第1干渉縞曲線Qaの輝度値が最大値（波形振幅の最大値）を示すときのピント位置のz座標値を検出することが困難となる場合がある。一方、第2干渉縞曲線Qbは、第1干渉縞曲線Qaを取得するときの測定条件とは異なる測定条件、即ち、第1干渉縞曲線Qaを取得するときの白色光の第1発光量（大光量）よりも少ない第2発光量（小光量）で取得されたものであるため、図6の（b）に示すように第2干渉縞曲線Qbは予め設定された測定レンジ内におさまり、第2干渉縞曲線Qbの輝度値が最大値（波形振幅の最大値）を示すときのピント位置のz座標値を安定かつ正確に検出することが可能となる。

20

【0084】

そこで、第1の実施の形態においては、被測定面Sの任意の点（干渉画像における任意の画素）に対して得られた第1干渉縞曲線及び第2干渉縞曲線の中から測定レンジ内にある干渉縞曲線を選択し、選択した干渉縞曲線（図6に示した例の場合、第2干渉縞曲線Qb）の輝度値が最大値（波形振幅の最大値）を示すときのピント位置のz座標値を被測定面の点におけるz座標値Zとして検出する。

30

【0085】

次に、ステップS20の工程（第2選択工程）として、処理部18は、上述したステップS18（第1選択工程）において被測定面Sの任意の点に対して複数の干渉縞曲線が選択された場合（即ち、第1干渉縞曲線と第2干渉縞曲線がいずれも測定レンジ内である場合）には、これらの干渉縞曲線の中から波形振幅の最大値が最も大きい干渉縞曲線を選択し、この処理を全ての点（画素）に対して行う。

40

【0086】

図7は、被測定面Sの任意の点（画素）に対する第1干渉縞曲線Qaと第2干渉縞曲線Qbがいずれも予め設定された測定レンジ内にある場合を示した図である。図7に示した例の場合、ステップS18の工程（第1選択工程）では、第1干渉縞曲線Qaと第2干渉縞曲線Qbがいずれも予め設定された測定レンジ内にあるので、第1干渉縞曲線Qaと第2干渉縞曲線Qbとの両方が選択される。このような場合、干渉縞曲線が測定レンジ内であってもその波形振幅が小さすぎると、輝度値が最大値を示すときのピント位置のz座標値を正確に検出できない場合がある。そこで、第1の実施の形態では、図7に示した例の場合には、ステップS20の工程（第2選択工程）として、測定レンジ内にある第1干渉縞曲線Qaと第2干渉縞曲線Qbの中から波形振幅の最大値が最も大きい干渉縞曲線Qa

50

を選択する。

【0087】

図8は、干渉画像の各画素（被測定面の各点に相当）に対して選択された干渉縞曲線の分布の一例を示した図である。図8に示した例において、干渉画像の中央部に対応する被測定面Sの部分は反射率の低い箇所であり、この部分に対応する各点（画素）は白色光の発光量が第1発光量（大光量）であるときに取得された第1干渉縞曲線（第1インターフェログラム）Qaが選択される。また、干渉画像の周辺部に対応する被測定面Sの部分は反射率の高い箇所であり、この部分に対応する各点（画素）は白色光の発光量が第1発光量よりも小さい第2発光量（小光量）であるときに取得された第2干渉縞曲線（第2インターフェログラム）Qbが選択される。

10

【0088】

次に、ステップS22の工程（検出工程）として、処理部18は、被測定面Sの各点ごとに選択した干渉縞曲線に基づき、被測定面Sの表面形状を示す3次元形状データを取得する。即ち、被測定面S上の各点のx座標値X(m, n)、y座標値Y(m, n)、及びz座標値Z(m, n)を被測定面Sの3次元形状データとして取得する。被測定面Sの3次元形状データを取得する処理については上述のとおりである。

【0089】

以上の処理が終了すると、測定対象物Pの表面形状の測定が終了となる。

【0090】

なお、図5に示したステップS10（第1測定条件設定工程）、ステップS12（第1インターフェログラム取得工程）、ステップS14（第2測定条件設定工程）、及びステップS16（第2インターフェログラム取得工程）が本発明の「取得ステップ」に相当する。また、ステップS18（第1選択工程）及びステップS20（第2選択工程）が本発明の「選択ステップ」に相当する。また、ステップS22（検出工程）が本発明の「検出ステップ」に相当する。

20

【0091】

このように第1の実施の形態においては、被測定面Sの各点（画素）ごとに、第1干渉縞曲線と第2干渉縞曲線の中から予め設定された測定レンジ内であり、かつ波形振幅の最大値が最も大きい干渉縞曲線が選択される。即ち、被測定面Sの形状、材質などによる反射率の違いに応じて適正な干渉縞曲線が被測定面の各点ごとに選択されるので、被測定面Sが複雑な形状を有する場合等のように反射率が一定でない場合でも、被測定面Sの表面形状（3次元形状）を高感度かつ高精度に測定することが可能となる。

30

【0092】

なお、第1の実施の形態では、制御手段の一例として光源制御部72を備える態様を示したが、これに限らず、例えば、図9に示すように、撮像制御部74を備えていてもよい。撮像制御部74は、撮像部16における撮像素子60のゲイン、露光時間、図示しない絞り手段の絞り値などを制御する。この態様においても、第1の実施の形態における態様と同様に、互いに異なる測定条件（即ち、撮像部16のゲイン、露光時間、絞り値など）で取得された第1干渉縞曲線と第2干渉縞曲線の中から被測定面Sの形状、材質などによる反射率の違いに応じて適正な干渉縞曲線を被測定面Sの各点ごとに選択することにより、被測定面Sが複雑な形状を有する場合でも、被測定面Sの表面形状（3次元形状）を高感度かつ高精度に測定することが可能となる。

40

【0093】

また、図示は省略するが、制御手段の一例として図1の光源制御部72と図9の撮像制御部74の両方を備える態様であってもよい。この場合、測定対象物Pに対する測定条件として、光源40から出射される白色光の発光量、撮像部16におけるゲイン、露光時間、絞り値などを組み合わせて測定条件を設定することにより、測定対象物Pの被測定面Sの形状、材質などによる反射率の違いに応じて最適化を図ることが可能となる。

【0094】

また、第1の実施の形態では、測定対象物Pに対する測定条件を変更して2回の測定を

50

行い、測定条件が互いに異なる第1干渉縞曲線と第2干渉縞曲線を各点ごとに取得しているが、測定対象物Pに対する測定回数は3回以上であってもよい。この場合、測定条件が高い異なる複数（即ち、3つ以上）の干渉縞曲線が取得されるが、複数の干渉縞曲線の中から測定レンジ内であり、かつ波形振幅の最大値が最も大きい干渉縞曲線を選択すればよい。これにより、被測定面Sがより複雑な形状を有する場合でも、被測定面Sの表面形状（3次元形状）を安定かつ確実に測定することが可能となる。

【0095】

（第2の実施形態）

第1の実施形態では、測定対象物Pの被測定面Sが複雑な形状を有する場合等のように反射率が一定でない場合でも、被測定面Sの表面形状（3次元形状）を高感度かつ高精度に測定できるようにしたものであるが、測定対象物Pに対する測定条件（例えば、白色光の発光量）が互いに異なる測定条件で複数回（少なくとも2回）測定する必要があるため、測定時間がかかるといった新たな問題が生ずる。また、複数回測定を行うためには、干渉部14をz軸方向に移動させる走査処理を繰り返し行わなければならない、この走査処理の繰り返しによる誤差が大きくなると測定精度に悪影響を及ぼす可能性がある。

10

【0096】

第2の実施形態は、第1の実施の形態における課題を解決すべく、測定対象物Pに対して複数回測定を行わなくても一度の測定だけで、第1の実施の形態と同様な効果を得ることができ、さらに、第1の実施の形態に比べて測定時間の短縮化を図ることができるとともに、走査処理の繰り返しによる誤差の影響をなくして測定精度を向上させたものである。以下、第2の実施形態について詳細を説明する。なお、第1の実施の形態と共通する部分については説明を省略し、第2の実施の形態の特徴的部分を中心に説明する。

20

【0097】

図10は、第2の実施の形態に係る表面形状測定装置の全体構成を示した構成図である。図10中、図1又は図9と共通又は類似する構成要素には同一の符号を付し、その説明を省略する。

【0098】

図10に示すように、第2の実施の形態に係る表面形状測定装置1Aの光源部12には、パルス状の白色光（パルス光）を周期的に出射するパルス光源からなる光源40を備えている。

30

【0099】

また、この表面形状測定装置1Aは、光源制御部72及び撮像制御部74を有するとともに、処理部18には、同期信号生成部80と、発光タイミング信号生成部82と、画像取得タイミング信号生成部84とが設けられている。なお、図10では、同期信号生成部80、発光タイミング信号生成部82、及び画像取得タイミング信号生成部84が処理部18の構成要素の一部である場合を一例として示したが、これに限らず、これらの一部又は全部が処理部18とは別に構成されていてもよい。

【0100】

同期信号生成部80は、図示しないクロック信号生成部から出力されたクロック信号に基づいて同期信号TG0を生成する。同期信号生成部80で生成された同期信号TG0は、発光タイミング信号生成部82、及び画像取得タイミング信号生成部84に対して出力される。

40

【0101】

発光タイミング信号生成部82は、同期信号生成部80から出力された同期信号TG0に同期して所定時間の間（走査処理が行われている間）一定の周期で光源40への発光タイミング信号TG1を出力する。

【0102】

画像取得タイミング信号生成部84は、同期信号生成部80から出力された同期信号に同期して所定時間の間（走査処理が行われている間）一定の周期で撮像素子60への画像取得タイミング信号TG2を出力する。

50

【 0 1 0 3 】

光源制御部 7 2 は、発光タイミング信号生成部 8 2 から出力された発光タイミング信号 T G 1 に基づいて光源 4 0 の駆動を制御する。すなわち、光源制御部 7 2 は、発光タイミング信号 T G 1 がオンのときに光源 4 0 を発光させ、発光タイミング信号 T G 1 がオフのときに光源 4 0 の発光を停止させる。これにより、光源 4 0 は、同期信号 T G 0 に同期した所定周期（後述する発光周期 T 1）でパルス光を発光する。

【 0 1 0 4 】

撮像制御部 7 4 は、画像取得タイミング信号生成部 8 4 から出力された画像取得タイミング信号 T G 2 に基づいて撮像素子 6 0 の駆動を制御する。すなわち、撮像制御部 7 4 は、画像取得タイミング信号 T G 2 がオンのときに撮像素子 6 0 による画像取得（画像読み出し）を実行し、画像取得タイミング信号 T G 2 がオフのときに撮像素子 6 0 による画像読み出しを停止する。これにより、撮像素子 6 0 は、同期信号 T G 0 に同期した所定周期（後述する画像取得周期 T 2）で画像取得を行う。

【 0 1 0 5 】

ここで、光源 4 0 の発光タイミングと撮像素子 6 0 の画像取得タイミングとの関係について図 1 1 を参照して説明する。図 1 1 は、光源 4 0 の発光タイミングと撮像素子 6 0 の画像取得タイミングとの関係を示したタイミングチャート図である。図 1 1 において、(a) は発光タイミング信号 T G 1、(b) は画像取得タイミング信号 T G 2、(c) は 1 周期あたりの画像取得で得られた干渉画像（1 フレームあたりの画像）の露光量をそれぞれ示したものである。なお、図 1 1 の (b) においてドットハッチングで示した発光対応領域は光源 4 0 が発光しているときに画像取得が行われる領域（時間帯）を表したものである。

【 0 1 0 6 】

第 2 の実施の形態においては、図 1 1 の (a)、(b) に示すように、光源 4 0 の発光周期（発光間隔）T 1 が撮像素子 6 0 の画像取得周期（画像読み出し間隔）T 2 に対して 2 倍となるように設定されている。また、光源 4 0 の 1 周期あたりの発光時間 T a が撮像素子 6 0 の 1 周期あたりの画像取得時間 T b よりも長くなるように設定されている。この関係により、図 1 1 の (c) に示すように、相対的に露光量が大きい干渉画像（大光量画像、第 1 の干渉画像の一例）と、相対的に露光量が小さい干渉画像（小光量画像、第 2 の干渉画像の一例）とが交互に得られる。すなわち、フレーム番号が 0, 2, 4, 6, … である偶数フレーム画像は大光量画像となり、フレーム番号が 1, 3, 5, 7, … である奇数フレーム画像は小光量画像となる。

【 0 1 0 7 】

このように第 2 の実施の形態では、撮像素子 6 0 における画像取得タイミングとの間に一定の相関関係を保って、一定間隔で光源 4 0 が発光するようになっている。すなわち、光源 4 0 の発光と撮像素子 6 0 の画像取得とが一定の相関関係を保ちながらそれぞれ周期的に行われるように制御される。これによって、干渉部 1 4 を z 軸方向に移動させてピント位置を変位させながら、撮像素子 6 0 から干渉画像を順次取得する際、相対的に露光量が大きい（すなわち、画像取得時間に対して光照射時間が相対的に大きい）干渉画像（大光量画像）と、相対的に露光量が小さい（すなわち、画像取得時間に対して光照射時間が相対的に小さい）干渉画像（低光量画像）を交互に取得することが可能となる。したがって、1 回の測定で、光量が互いに異なる干渉画像（大光量画像及び小光量画像）を順次取得することができ、各干渉画像から第 1 干渉縞曲線（第 1 インターフェログラム）及び第 2 干渉縞曲線（第 2 インターフェログラム）を取得することが可能となる。その結果、第 1 の実施の形態と同様に、測定対象物 P の被測定面 S が複雑な形状を有する場合等のように反射率が一定でない場合でも、被測定面 S の表面形状（3 次元形状）を高感度かつ高精度に測定できる。

【 0 1 0 8 】

次に、第 2 の実施の形態に係る表面形状測定装置 1 A による表面形状測定方法について図 1 2 を参照して説明する。図 1 2 は、第 2 の実施の形態に係る表面形状測定装置による

表面形状測定方法の一例を示したフローチャートである。なお、図12において、図5に示した処理と共通する処理には同一の符号を付し、その説明を簡略化または省略する。

【0109】

第2の実施の形態では、第1の実施の形態と同様にして測定開始が指示されると、まず、図12のステップS30の工程（制御工程）として、光源40の発光と撮像素子60の画像取得とが同期するように制御を行う。具体的には、光源制御部72は、発光タイミング信号生成部82から出力された発光タイミング信号TG1に基づいて光源40の駆動を制御する。これにより、光源40は同期信号TG0に同期した発光周期T1でパルス光を発光する。また、撮像制御部74は、画像取得タイミング信号生成部84から出力された画像取得タイミング信号TG2に基づいて撮像素子60の駆動を制御する。これにより、撮像素子60は同期信号TG0に同期した画像取得周期T2で画像取得を行う。なお、発光周期T1は画像取得周期T2の2倍となるように設定されている。

10

【0110】

次に、ステップS32の工程（画像取得工程）として、処理部18は、干渉部アクチュエータ56を制御して光学部2の干渉部14をz軸方向に移動させてピント位置をz軸方向に移動させながら撮像素子60から干渉画像を順次取得する。これにより、相対的に露光量大きい（すなわち、画像取得時間に対して光照射時間が相対的に大きい）干渉画像（大光量画像）と、相対的に露光量小さい（すなわち、画像取得時間に対して光照射時間が相対的に小さい）干渉画像（低光量画像）とが交互に取得される。なお、取得した干渉画像は、大光量画像（偶数フレーム画像）と小光量画像（奇数フレーム画像）とに分けて画像メモリ（不図示）に保存される。

20

【0111】

次に、ステップS34の工程（第1インターフェログラム取得工程）として、処理部18は、メモリに保存された複数の大光量画像（偶数フレーム画像）に基づいて被測定面Sの各点（即ち、干渉画像の各画素）ごとに第1干渉縞曲線（第1インターフェログラム）を取得する。

【0112】

次に、ステップS36の工程（第2インターフェログラム取得工程）として、処理部18は、メモリに保存された複数の小光量画像（奇数フレーム画像）に基づいて被測定面Sの各点（即ち、干渉画像の各画素）ごとに第2干渉縞曲線（第2インターフェログラム）を取得する。その後の処理は第1の実施の形態と同様である。

30

【0113】

このように第2の実施の形態によれば、第1の実施の形態において複数回測定が必要だった測定対象物Pに対して、1回の測定（走査処理）で大光量画像と小光量画像が交互に取得されるので、これらの画像から被測定面Sの各点（画素）ごとに第1干渉縞曲線と第2干渉縞曲線を取得することができ、第1の実施の形態と同様な効果を得ることが可能となり、さらに第1の実施の形態よりも測定時間の短縮化を図ることができるとともに、複数回の測定による走査処理の繰り返しによる誤差も生じないので測定精度を向上させることができる。

【0114】

なお、第2の実施の形態では、好ましい態様の一例として、光源40の発光周期T1が撮像素子60の画像取得周期T2よりも長く、かつ光源40の1周期あたりの発光時間Taが撮像素子60の画像取得時間Tbよりも長く設定された構成を示したが、本発明の実施に際しては、1回の測定（走査処理）で光量が互いに異なる複数種類の干渉画像が交互に繰り返し取得できるように、光源40の発光と撮像素子60の画像取得とが一定の相関関係を保ちながらそれぞれ周期的に行われるものであればよい。

40

【0115】

図13は、第2の実施の形態の変形例を示した図であり、光源40の発光タイミングと撮像素子60の画像取得タイミングとの関係を示したタイミングチャート図である。

【0116】

50

図13に示した変形例では、光源40の発光周期 T_1 が撮像素子60の画像取得周期 T_2 の3倍となるように設定されている。また、光源40の1周期あたりの発光時間 T_a が撮像素子60の1周期あたりの画像取得時間 T_b よりも長くなるように設定されている。この関係により、図13の(c)に示すように、相対的に露光量が大きい干渉画像(大光量画像)と、相対的に露光量が小さい干渉画像(小光量画像)とが交互に得られる。すなわち、フレーム番号が0, 1, 3, 4, 6, 7...であるフレーム画像は大光量画像となり、フレーム番号が2, 5, ...であるフレーム画像は小光量画像となる。

【0117】

したがって、干渉部14をz軸方向に移動させてピント位置を変位させながら、撮像素子60から干渉画像を順次取得する際、大光量画像、大光量画像、小光量画像の順で、各画像が周期的に取得される。すなわち、1回の測定で、光量が互いに異なる干渉画像(大光量画像及び小光量画像)を取得することができ、各干渉画像から第1干渉縞曲線(第1インターフェログラム)及び第2干渉縞曲線(第2インターフェログラム)を取得することが可能となり、これらの干渉縞曲線の中から予め設定された測定レンジ内であり、かつ波形振幅の最大値が最も大きい干渉縞曲線を選択することにより、上述した第2の実施の形態と同様な効果を得ることができる。

【0118】

また、第2の実施の形態では、発光タイミング信号 T_{G1} と画像取得タイミング信号 T_{G2} との位相が一致している場合を示したが、本発明はこれに限らない。すなわち、本発明においては、1回の測定で少なくとも大光量画像と小光量画像が周期的に取得できるように、撮像素子60における画像取得タイミングとの間に一定の相関関係を保って、一定間隔で光源40が発光するようになっていけばよく、例えば、図示しない位相調整回路により、発光タイミング信号 T_{G1} と画像取得タイミング信号 T_{G2} との位相がずれるように調整されていてもよい。

【0119】

図14は、第2の実施の形態の他の変形例を示した図であり、光源40の発光タイミングと撮像素子60の画像取得タイミングとの関係を示したタイミングチャート図である。

【0120】

図14に示した変形例では、光源40の発光周期 T_1 が撮像素子60の画像取得周期 T_2 の1.5倍となるように設定されている。また、光源40の1周期あたりの発光時間 T_a が撮像素子60の1周期あたりの画像取得時間 T_b よりも長くなるように設定されている。さらに、発光タイミング信号 T_{G1} に対して画像取得タイミング信号 T_{G2} が遅延時間 T_c だけ位相がずれるように設定されている。この関係により、図14の(c)に示すように、相対的に露光量が大きい干渉画像(大光量画像)と、相対的に露光量が小さい干渉画像(小光量画像)と、相対的に露光量が中くらいの干渉画像(中光量画像)とが交互に得られる。すなわち、フレーム番号が0, 3, ...であるフレーム画像は大光量画像となり、フレーム番号が2, 5, ...であるフレーム画像は中光量画像となり、フレーム番号が1, 4, ...であるフレーム画像は小光量画像となる。

【0121】

したがって、干渉部14をz軸方向に移動させてピント位置を変位させながら、撮像素子60から干渉画像を順次取得する際、大光量画像、小光量画像、中光量画像の順で、各画像が周期的に取得される。すなわち、1回の測定で、光量が互いに異なる干渉画像(大光量画像、中光量画像、及び小光量画像)を取得することができ、各干渉画像から第1干渉縞曲線(第1インターフェログラム)、第2干渉縞曲線(第2インターフェログラム)、及び第3干渉縞曲線(第3インターフェログラム)を取得することが可能となり、これらの干渉縞曲線の中から予め設定された測定レンジ内であり、かつ波形振幅の最大値が最も大きい干渉縞曲線を選択することにより、上述した第2の実施の形態と同様な効果を得ることができる。

【0122】

(その他)

上記各実施の形態では、ミロー型の干渉計を用いて測定対象物の被測定面の3次元形状を非接触による構成を一例として示したが、本発明はこれに限らず、例えば、マイケルソン型の干渉計などを採用することも可能である。

【0123】

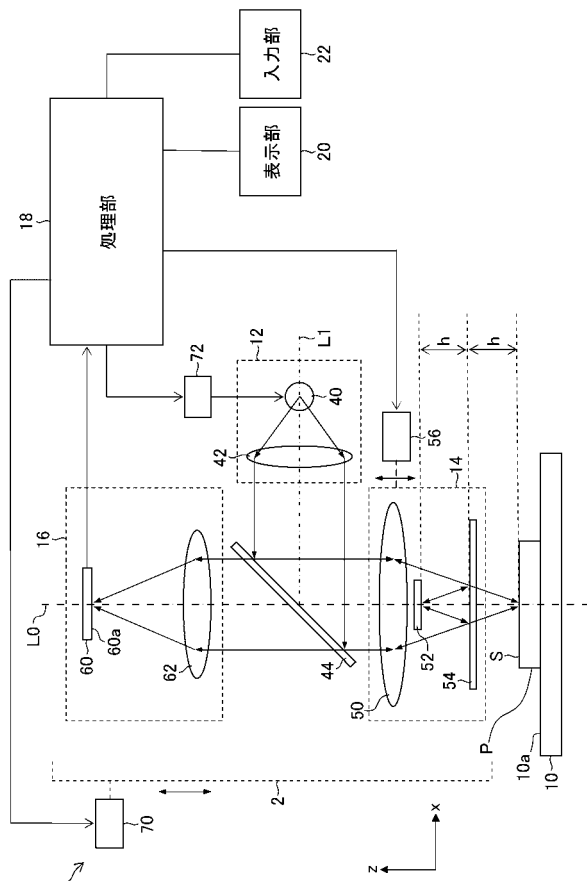
また、上記各実施の形態では、測定対象物Pの被測定面Sの反射率が一定でない場合の一例として被測定面Sが複雑な形状を有する場合を示したが、これに限らず、例えば、測定対象物Pからの反射率の変化が激しい光沢部や傾斜部を有する場合、異種材料で構成される場合、あるいはこれらの組み合わせからなる場合に対しても本発明は効果的に用いることができる。

【符号の説明】

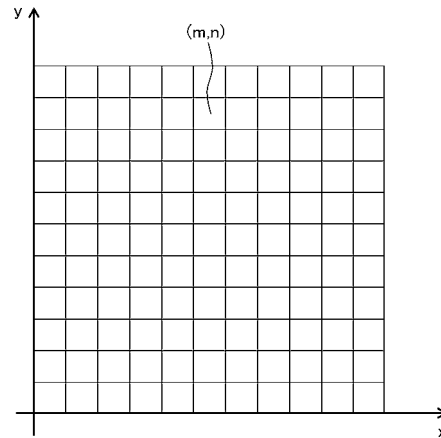
【0124】

P...測定対象物、O...中心軸、Q、Q1、Q2、Q3、Qa、Qb...干渉縞曲線、S...被測定面、L0、L1...光軸、1...表面形状測定装置、2...光学部、10...ステージ、10a...ステージ面、12...光源部、14...干渉部、16...撮像部、18...処理部、20...表示部、22...入力部、40...光源、42...コレクタレンズ、44、54...ビームスプリッタ、50...対物レンズ、52...参照ミラー、56...干渉部アクチュエータ、60...撮像素子、60a...撮像面、62...結像レンズ、70...zアクチュエータ、72...光源制御部、74...撮像制御部、80...同期信号生成部、82...発光タイミング信号生成部、84...画像取得タイミング信号生成部

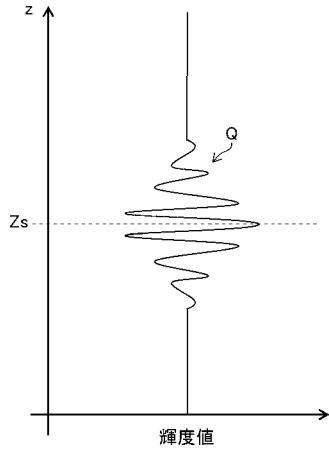
【図1】



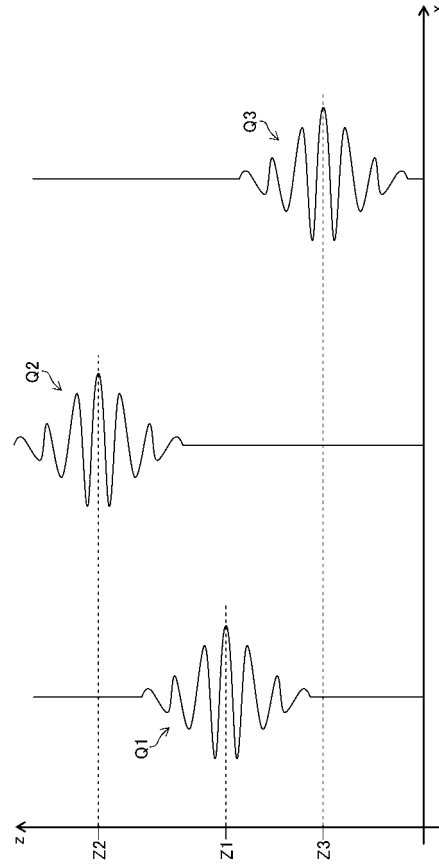
【図2】



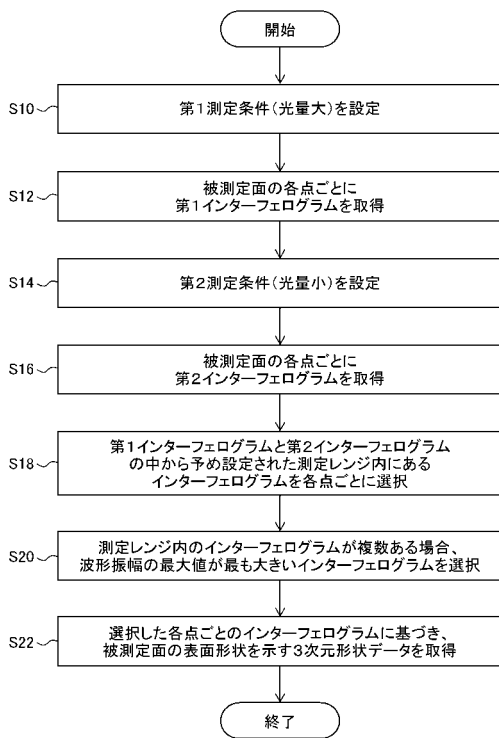
【 図 3 】



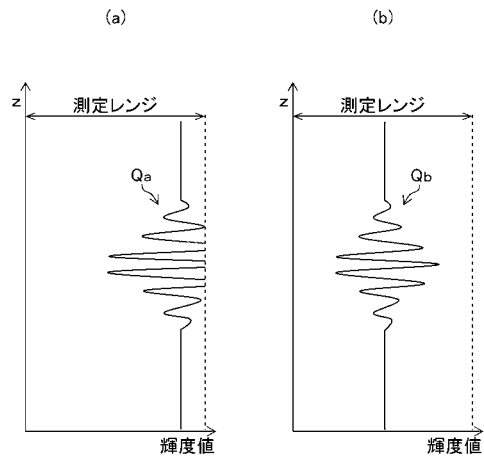
【 図 4 】



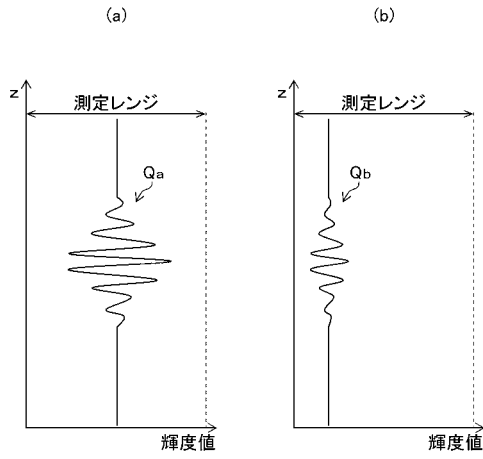
【 図 5 】



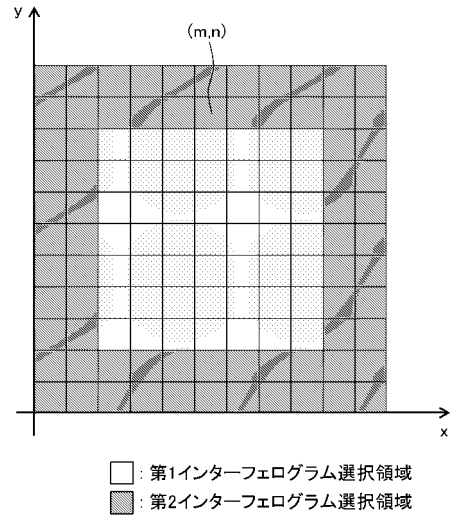
【 図 6 】



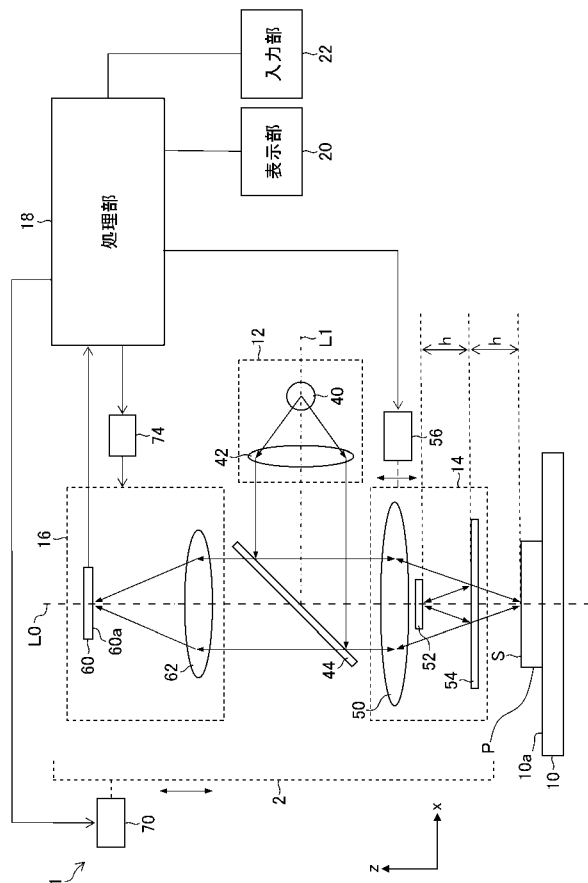
【 図 7 】



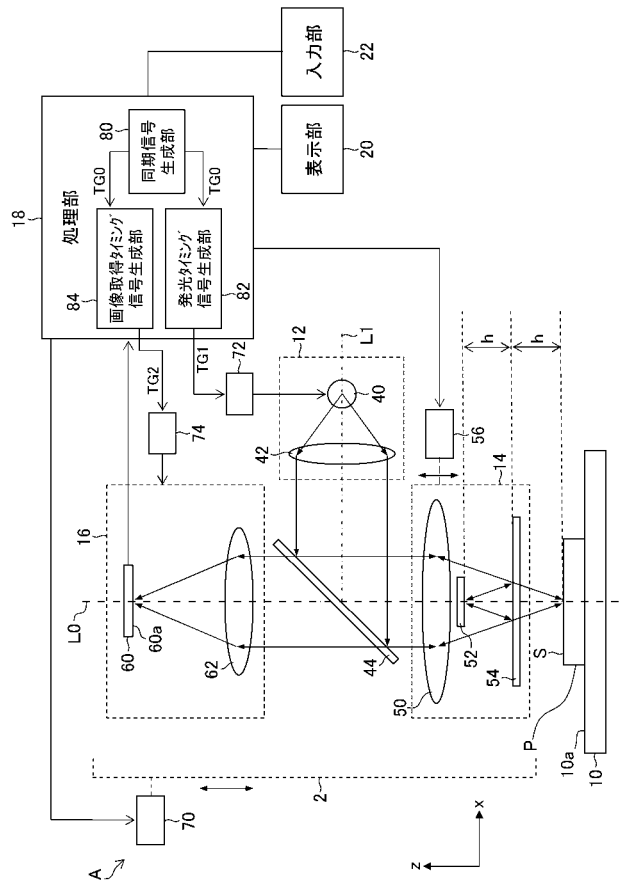
【 図 8 】



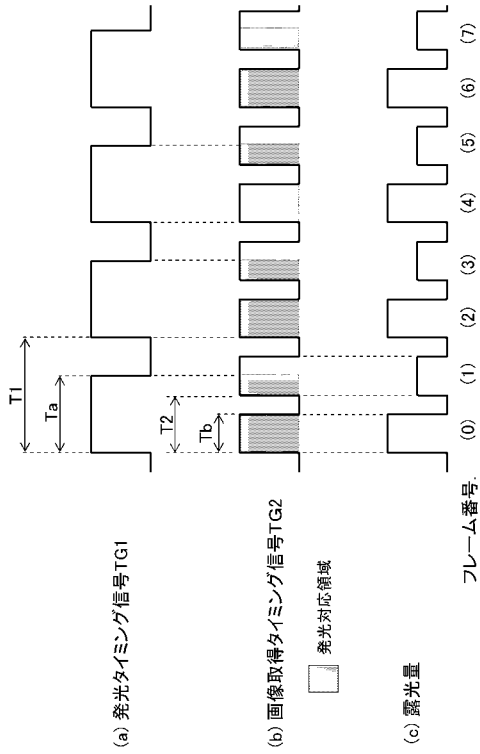
【 図 9 】



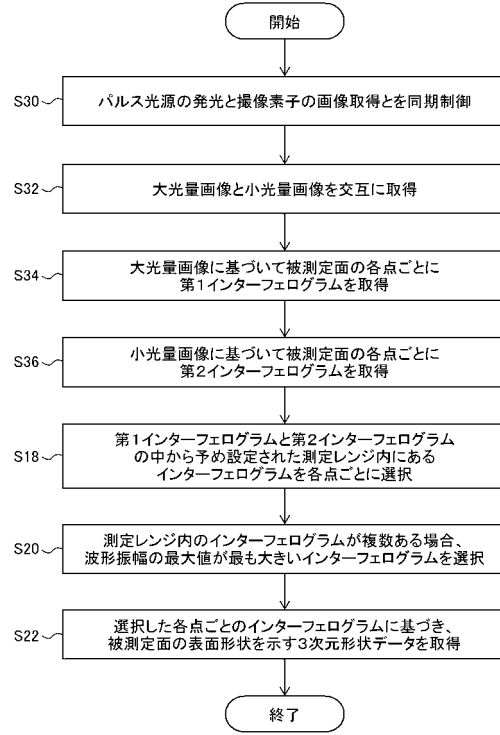
【 図 10 】



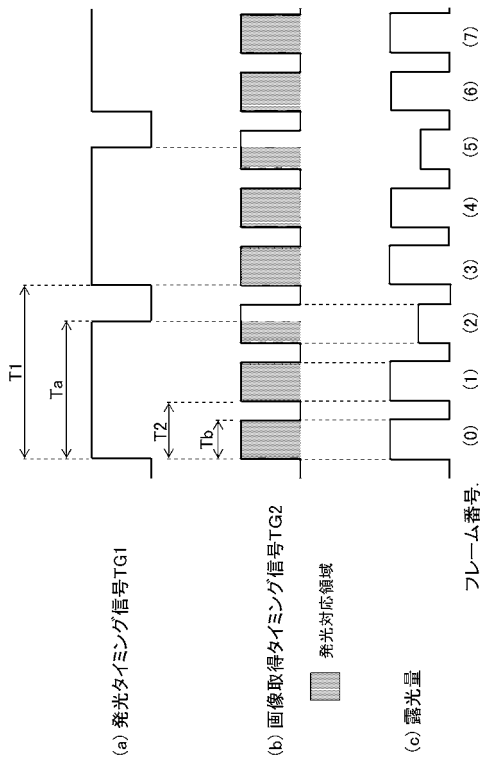
【図 1 1】



【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】

