

明 細 書

発明の名称：立体形状計測装置

技術分野

[0001] 本発明は、共焦点光学系を用いて物体の立体形状を計測する立体形状計測装置に関する。

背景技術

[0002] 物体の表面形状などの立体形状を計測する方法の1つに、共焦点光学系を用いて物体表面上の各点の高さの情報を取得することにより物体の表面形状を計測する方法がある。共焦点光学系による計測は、原理的に「点」単位の計測であるため、面領域を計測するためには特別な工夫が必要となる。

[0003] この種の共焦点光学系を用いて物体の表面などの面領域を計測するための技術に、特開平9-329748号公報（特許文献1）に開示された技術がある。

[0004] 特許文献1には、光源と、複数の開口部が形成されたニポウディスク（Nipkow Disk）と、を備えた共焦点顕微鏡が開示されている。各開口部は、点光源として機能するとともに検出器として機能する。各開口部を通過した複数の光は、対物レンズによりそれぞれ対応する被計測体側の集光位置に集束される。このため、ニポウディスクを回転させることにより、複数の開口部を通過して被計測体側の複数の集光位置で集束された光（以下、スポットという）のそれぞれを被計測体表面上で容易かつ高速に走査することができるようになっている。

[0005] また、ニポウディスクを用いてスポットを被計測体の表面上で走査する方法では、ニポウディスクの回転に起因する弊害を防ぐことが難しい。ニポウディスクの回転に起因する弊害としては、たとえば、ニポウディスクの回転に伴う開口部（つまり、ピンホール）の軌跡が描く曲線の曲率がディスクの中心からの距離に応じて異なることなどが挙げられる。開口部ごとに軌跡の曲率が異なるため、開口部ごとに走査速度が異なるなどのバラつきが生じて

しまう。また、ディスクの偏心による回転ぶれをはじめ、連続回転により生じる振動が避けられない。このような課題を解決するために、特開平9-329748号公報（特許文献2）に複数のスポットを被計測体の表面上で直線走査することができる立体形状計測装置が開示されている。

先行技術文献

特許文献

- [0006] 特許文献1：特開平9-329748号公報
特許文献2：特開2013-160612号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0007] 開口板に複数の開口部が設けられたピンホールアレイ型の立体形状計測装置の共焦点光学系を用いたピンホールアレイスキャンにおいて、画素ごとに光が通過するタイミングが異なってしまう。そのため、振動などにより被計測体が動いてしまうと走査の均一性が悪くなる。また、開口板の製造は難易度が高く、開口部の径に個体差が出てしまう場合がある。その結果として、こちらでも走査の均一性が悪くなり、結果として正確な計測が困難となる場合がある。
- [0008] 本発明は、上述した事情を考慮してなされたもので、共焦点光学系を用いたピンホールアレイスキャンにおいて正確な計測を行うことができる立体形状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

- [0009] 本発明の一実施形態に係る立体形状計測装置は、上述した課題を解決するために、共焦点光学系を用いた立体形状計測装置であって、光源の光を通過する複数の共焦点開口部が、所定の配列周期を持つよう2次元に配置されて設けられた開口板と、前記複数の共焦点開口部を通過したそれぞれの光を物体側集光点に集光するとともに、この集光した光の被計測体による反射光をそれぞれ対応する共焦点開口部に再度集光する対物レンズと、屈折率および

厚さの少なくとも一方が互いに異なる複数の平行平板形の部材が前記対物レンズの光軸と交差するよう回転方向に沿って配設された回転体と、前記回転体を所定の速度で連続回転させる駆動部と、を有し、光軸と交わる前記平行平板形の部材が前記回転体の回転にともない変わるとに前記物体側集光点の位置を光軸方向に離散的に変更する焦点位置変更部と、前記共焦点開口部を再度通過した前記反射光の強度に応じた信号を出力する光検出器を複数有する光検出器群と、前記物体側集光点の位置と前記被計測体の位置との光軸方向に垂直な方向の相対的な位置関係を変更するよう前記開口板を光軸方向に垂直な所定の方向に等速に変位させる開口板変位部と、前記開口板変位部により前記開口板が光軸方向に垂直な前記所定の方向に等速に変位している期間において前記光検出器群に複数回の露光を行わせるとともに、前記平行平板形の部材内に撮像対象領域が含まれる期間ごとに前記光検出器群の各露光を行わせ、かつ前記光検出器群の露光時間が前記所定の配列周期に2以上の整数 n を乗じた距離だけ前記開口板が移動する時間と一致するよう、前記開口板の移動速度、前記回転体の回転速度および前記光検出器群の前記露光時間および露光タイミングを制御する撮像制御部と、光軸方向に離散的に変更された前記物体側集光点の位置ごとの前記光検出器の信号にもとづいて、前記光検出器ごとに前記光検出器に入射する前記反射光の強度が最大となる前記被計測体の光軸方向の位置を推定する高さ決定部と、前記開口板に設けられて前記開口板変位部により前記開口板と一体的に変位し、前記光源の光を透過して前記複数の共焦点開口部に照射させる透明体を有し、前記複数の共焦点開口部を防塵するカバー部材と、前記カバー部材の前記透明体を含む光学系全体の光学特性を考慮して設計され、前記共焦点開口部を再度通過した前記反射光を前記光検出器に導く結像光学系と、を備えたものである。

当該立体形状計測装置において、前記撮像制御部は、前記光検出器群の露光時間が前記所定の配列周期に2以上の整数 n を乗じた距離だけ前記開口板が移動する時間と一致するような制御と、前記光検出器群の露光時間が前記所定の配列周期に1を乗じた距離だけ前記開口板が移動する時間と一致する

ような制御とを切り替えることが好適である。

さらに、当該立体形状計測装置において、前記撮像制御部は、前記光検出器群の露光時間が前記所定の配列周期に2以上の整数 n を乗じた距離だけ前記開口板が移動する時間を、前記光検出器群の露光時間が前記所定の配列周期に1を乗じた距離だけ前記開口板が移動する時間に一致させることが好適である。

発明の効果

[0010] 本発明に係る立体形状計測装置によれば、共焦点光学系を用いたピンホールアレイスキャンにおいて計測誤差を軽減させて正確な計測を行うことができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]本発明の第1実施形態に係る立体形状計測装置の一構成例を示す概略的な全体図。

[図2]本発明の第1実施形態に係る立体形状計測装置を構成する開口板の一構成例を示す平面図。

[図3]本発明の第1実施形態に係る立体形状計測装置を構成する開口板の第1制御例を示す平面図。

[図4]本発明の第1実施形態に係る立体形状計測装置を構成する開口板の第2制御例を示す平面図。

[図5]本発明の第1実施形態に係る立体形状計測装置を構成する開口板の第2制御例を説明するための図。

[図6]焦点位置変更部の一構成例を示す斜視図。

[図7]画像処理装置の内部構成例を概略的に示すブロック図。

[図8] (a) は図1に示す一例に係るカバー部材が設けられた開口板の側面図、(b) はその斜視図。

[図9]鮮明な画像を得るためのタイミングチャートの一例を示す説明図。

[図10]反力機構の一構成例を示す斜視図。

[図11]本発明の第2実施形態に係る立体形状計測装置の一構成例を示す概略

的な全体図。

発明を実施するための形態

[0012] 本発明に係る立体形状計測装置の実施の形態について、添付図面を参照して説明する。

[0013] 本発明の一実施形態に係る立体形状計測装置は、ピンホールアレイ（P H A）型の立体形状計測装置である。当該立体形状計測装置は、２次元配列型の共焦点開口アレイを有する共焦点光学系を用いて被計測体の形状を計測するものである。共焦点開口アレイは、所定の配列周期を持つよう開口板に２次元に配置されて設けられる。被計測体としては、たとえばＩＣパッケージのような大量生産部品の電極端子（たとえば大きさ数十ミクロン～数百ミクロン）などが挙げられる。

[0014] （第１の実施形態）

図１は、本発明の第１実施形態に係る立体形状計測装置の一構成例を示す概略的な全体図である。なお、以下の説明では、光軸方向をＺ軸、光軸方向に垂直な方向をＸ軸およびＹ軸とする場合の例について示す。

[0015] 立体形状計測装置１０は、光源１１ａを有する照明光学系１１と、主面が光軸方向に垂直となるよう配置された開口板（ピンホールアレイ）１２と、対物レンズ１３と、焦点位置変更部１４と、被計測体１５を載置するための載物台１６と、被計測体１５からの反射光を入射する光検出器１７ａを複数有する光検出器群１７と、載物台１６をＸＹＺ各方向に移動させるための載物台駆動部１８と、載物台１６および載物台駆動部１８を支持する支持基台１９と、画像処理装置２０とを有する。載物台駆動部１８は、載物台Ｚ変位部２１および載物台ＸＹ変位部２２を有する。

[0016] 光源１１ａとしては、たとえばハロゲンランプやレーザなどを用いることができる。光源１１ａから出射された光は、照明レンズ２３を介して面状の照明光束となる。この光は、偏光ビームスプリッタ２４を介して開口板１２を照明する。

[0017] 図２は、開口板１２の一構成例を示す平面図である。図２の上段は、開口

板 1 2 の平面図であり、下段は、上段の一部領域 W の拡大平面図である。開口板 1 2 は、複数の共焦点開口部（以下、開口部という）2 5 が、2 次元に配置されて設けられる。複数の開口部 2 5 は、（１） X 軸に沿う複数の開口部 2 5 の列に対して、 Y 軸の正方向で隣の開口部 2 5 の列が、 X 軸の正方向に規則的にずれるように配置され、かつ、（２） X 軸に沿う複数の開口部 2 5 の列に対して、 Y 軸の正方向に所定の距離 Δd だけ離れた列が、 X 軸方向にずれないように配置される。つまり、開口板 1 2 は、複数の開口部 2 5 が所定の配列周期 Δd を持つよう 2 次元に配置されてなる。この開口板 1 2 は、開口板変位部 2 6（図 1 に図示）により駆動されて、光軸方向に垂直な所定の方向の 1 つである Y 軸方向に変位する。以下の説明では、所定の距離 Δd が Y 軸方向の距離であり、開口板 1 2 が Y 軸方向の正方向および負方向に変位する場合の例について示す。

[0018] 一般に、複数の開口部 2 5 が 2 次元に配置されてなる 2 次元配列型の開口アレイである開口板 1 2 の隣り合う開口部 2 5 同士は、ビーム間のクロストークを小さくするために所定の離間距離をあけて設けられる必要がある。このため、2 次元配列型の開口アレイを有する共焦点光学系では、この離間距離のために光軸に垂直な面内方向の分解能が制約されてしまう。一方、近年、固体撮像素子を用いた 2 次元イメージセンサは、非常に高画素（たとえば、 5000×5000 など）のものが開発されてきている。

[0019] そこで、光検出器群 1 7 を露光させつつ開口板 1 2 を直線的に走査することにより、1 つの開口部 2 5 で複数の画素に対応させる。

[0020] 図 2 の下段に一部拡大して示すように、開口板 1 2 の走査により所定の配列周期（周期間隔） Δd だけ開口板 1 2 が変位すると、開口部 2 5 によって撮像対象領域 2 7 の内部を一様に一回走査することができる。図 2 の下段には、光検出器群 1 7 を構成する光検出器（画素）1 7 a の仮想的な位置を仮想光検出器 1 7 a' として破線で示した。

[0021] 光検出器 1 7 a の露光時間を、配列周期 Δd に正の整数 m を乗じた距離だけ開口板 1 2 が移動する時間と一致するように制御すれば、各光検出器 1 7

a に対して開口部 25 を介して光が照射される時間を均一にすることができる。この制御は、画像処理装置 20 によって実行される。

[0022] 開口板 12 の開口部 25 は、それぞれ点光源として機能する。各開口部 25 を通過した光は、対物レンズ 13 により、焦点位置変更部 14 を介して被計測体 15 に投光されつつ点光源と共役なスポット（物体側集光点）に集光される。各物体側集光点は、Z 軸方向の所定の位置の光軸方向に垂直な面（以下、物体側集光面という）上に位置する。なお、対物レンズ 13 は、たとえば複数のレンズおよび絞りにより構成されて両側テレセントリック光学系を構成されてもよい。

[0023] 開口板変位部 26 は、開口板 12 を光軸方向に垂直な方向に変位させる。ただし、開口板 12 の定速性が悪いと、画像にランダムにムラが発生し、形状計測精度が悪化する。そこで、開口板変位部 26 は、制御性の高いダイレクトドライブが可能なリニアモータあるいはボイスコイルモータを使用し、クローズドループ制御を行うことが望ましい。

[0024] 載物台 Z 変位部 21 は、ステッピングモータやサーボモータ、あるいはピエゾモータなどの一般的な駆動装置により構成され、載物台 16 を光軸方向に変位させる。この変位の量、方向およびタイミングは、画像処理装置 20 により Z 軸ドライバ 30 を介して制御される。載物台 Z 変位部 21 は、たとえば測定開始前に載物台 16 を光軸方向に大まかに変位させる。

[0025] ここで、上述したように、光検出器 17a の露光時間を、配列周期 Δd に正の整数 m を乗じた距離だけ開口板 12 が移動する時間と一致するように制御すれば、各光検出器 17a に対して開口部 25 を介して光が照射される時間を均一にすることができる。他方、光検出器 17a の露光時間を、配列周期 Δd に 1 ($m = 1$) を乗じた距離だけ開口板 12 が移動する時間と一致するように制御すると、画素ごとに光が通過するタイミングが異なってしまう。そのため、振動などにより被計測体 15 が動いてしまうと走査の均一性が悪くなる。また、開口板 12 の製造は難易度が高く、複数の開口部 25 の径に個体差が出てしまう場合がある。その結果として、走査の均一性が悪くな

り、結果として正確な計測が困難となる場合がある。

[0026] そこで、図2に示す開口板12の制御方法を変更し、1枚の画像取得に複数周期分走査することで、計測タイミングのずれと開口部25の径の個体差による計測誤差を軽減することができる。具体的には、画像処理装置20は、光検出器17aの露光時間を、配列周期 Δd に、正の整数 m のうち2以上の整数 n を乗じた距離だけ開口板12が移動する時間と一致するように制御する。なお、 n の値は、開口部25の径に応じて決定される。

[0027] 図3および図4は、開口板12の制御方法を説明するための図である。図3は、光検出器17aの露光時間が、配列周期 Δd に1を乗じた距離だけ開口板12が移動する時間と一致する場合の制御例を示す図である。図4は、光検出器17aの露光時間が、配列周期 Δd に n （たとえば、 $n=2$ ）を乗じた距離だけ開口板12が移動する時間と一致する場合の制御例を示す図である。

[0028] 図3の左側は、図2の上段に示す一部領域Wに対して所定位置に存在する撮像対象領域27を示す、図3の左側に示す状態から、配列周期 Δd に1（ $m=1$ ）を乗じた距離だけ開口板12が移動する時間と一致するように光検出器17aの露光時間を制御すると、図3の右側に示すような状態となる。この制御の場合に露光中に1画素の中心が通過した範囲Aを示す。

[0029] 図4の左側は、図3の左側と同様に、一部領域Wに対して所定位置に存在する撮像対象領域27を示す。図4の左側に示す状態から、配列周期 Δd に2（ $n=2$ ）を乗じた距離だけ開口板12が移動する時間と一致するように光検出器17aの露光時間を制御すると、図4の右側に示すような状態となる。この制御の場合に露光中に1画素の中心が通過した範囲Bを示す。

[0030] 1枚の画像取得に n 回の複数周期分スキャンすることで、計測タイミングのずれと開口部25の径の個体差による計測誤差を軽減することができる。複数周期分スキャンは、次のいずれかの制御方法によって実現することができる。

（1）スキャン速度（つまり、開口板12の移動速度）は変えずに、露光時

間を n 倍にして計測する

(2) 露光時間は変えずにスキャン速度を n 倍にして計測する

[0031] これにより、ある画素において n 倍の開口部 25 が通過することとなり実質計測タイミングは n 回の平均となる。その結果、取得される画像の中での計測タイミング差は 1 周期スキャンと比較して $1/n$ となる。また、開口板 12 の移動により n 倍の個数の開口部 25 を通過するため、開口部 25 の製造誤差を平滑化することも同時に可能となる。また、スキャン時間は増加するが、複数周期スキャンだけでなく露光時間を n 倍にすることで開口部 25 の製造誤差を平滑化しても良い。

[0032] 図 5 は、1 周期分スキャンと 2 周期分スキャンにおける計測タイミングのずれ量を説明するための図である。図 5 は、上記制御方法 (1), (2) のうち (2) の場合を例にとって説明したものである。

[0033] 1 周期分スキャンにおいては、第 1 画素で露光開始のタイミング (黒丸) で光が通過し、開口板 12 の移動に伴って、第 1 画素の隣の第 2 画素で露光終了のタイミングの直前のタイミング (白丸) で光が通過する。他方、2 周期分スキャンにおいては、第 1 画素で露光開始のタイミング (黒丸) で光が通過し、開口板 12 の移動に伴って、第 1 画素で次のタイミング (黒丸) で光が通過する。2 周期分スキャンにおいて、第 1 画素の隣の第 2 画素については、第 1 画素で光が通過するタイミング (黒丸) の直前のタイミング (白丸) で光が通過し、開口板 12 の移動に伴って、その隣の第 2 画素で露光終了のタイミングの直前のタイミング (白丸) で光が通過する。

[0034] 以上のような場合に、2 周期分スキャンにおける計測タイミングのずれ量は、1 周期分スキャンにおける計測タイミングのずれ量の $1/2$ (n の場合は $1/n$) となる。計測タイミングのずれが軽減されることで被計測体 15 の高さの差が小さくなるため、開口部 25 の計測誤差が軽減される。他方、上記制御方法 (2) による 2 周期分スキャンの場合は、開口板 12 の移動速度が 2 倍となるので、露光時間は、ほぼ同一で足りる。

[0035] なお、後述する撮像制御部 541 による制御により、1 周期分スキャンと

、複数周期分スキャンとを切り替えることができる。たとえば、入力部 5 1 を介して操作者から入力された指示に基づいて、撮像制御部 5 4 1 は、1 周期分スキャンと上記制御方法（1）による複数周期分スキャンとを切り替えたり、1 周期分スキャンと上記制御方法（2）による複数周期分スキャンとを切り替えたり、1 周期分スキャンと上記制御方法（1）による複数周期分スキャンと上記制御方法（2）による複数周期分スキャンとを切り替えたり、上記制御方法（1）による複数周期分スキャンと上記制御方法（2）による複数周期分スキャンとを切り替えたりすることができる。

[0036] 図 6 は、焦点位置変更部 1 4 の一構成例を示す斜視図である。

[0037] 対物レンズ 1 3 の光路中に平行平板形の透明部材 3 1 を配置すると、対物レンズ 1 3 の物体側集光面の位置が Z 方向に移動する。この移動幅は、透明部材 3 1 の屈折率および厚さによって制御することができる。

[0038] このため、図 6 に示すように、回転体 3 2 に対して回転方向に沿って等間隔に互いに移動幅が異なる透明部材 3 1 を配設する。この回転体 3 2 をモータなどの駆動部 3 3 により所定の速度で連続回転させることにより、透明部材 3 1 のそれぞれが対物レンズ 1 3 の光軸と交わるとに離散的に（ステップ的に）対物レンズ 1 3 の物体側集光面の位置を Z 方向に移動させることができる。

[0039] 回転体 3 2 の回転状態はタイミングセンサ 3 4 により検知される。タイミングセンサ 3 4 の出力は画像処理装置 2 0 に与えられる。画像処理装置 2 0 は、あらかじめ各透明部材 3 1 と物体側集光点の Z 軸座標とを関連付けた情報を保持している。画像処理装置 2 0 がタイミングセンサ 3 4 の出力にもとづいて各透明部材 3 1 と光軸とが交わるタイミングで光検出器群 1 7 を露光させることを繰り返すことにより、離散的な複数の物体側集光点の位置のそれぞれで、容易かつ高速に撮像を行うことができる。

[0040] なお、駆動部 3 3 は、画像処理装置 2 0 により制御可能に構成されてもよい。この場合、画像処理装置 2 0 は回転体 3 2 の回転速度を制御することができる。

- [0041] 被計測体 15 による反射光のうち特に物体側集光点における反射光は、対物レンズ 13 により、物体側集光点と光学的共役関係にある点（以下、像側集光点という）に集光される。点光源としての開口部 25 と物体側集光点とは、1 対 1 に対応する。
- [0042] 本実施形態では、像側集光点が点光源としての開口部 25 に一致する場合の例について説明する。この場合、開口部 25 を通過した光は物体側集光点に集光されるとともに、この物体側集光点で反射されて開口部 25 に再度入射することになる。
- [0043] 開口部 25 に再度入射した光は、偏光ビームスプリッタ 24 により偏向されて結像光学系 35 に入射し、光検出器群 17 を構成する光検出器 17a に入射する。ここで、結像光学系 35 は、開口部 25 の像を光検出器群 17 の光電変換面に結ぶように構成される。開口部 25（像側集光点）とこの開口部 25 に対応する位置に配設された光検出器 17a とは、偏光ビームスプリッタ 24 および結像光学系 35 により互いに共役関係となる。
- [0044] 光検出器群 17 は、いわゆる 2 次元イメージセンサであり、光検出器群 17 を構成する光検出器 17a は、CCD (Charge Coupled Device) イメージセンサや CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) イメージセンサにより構成されて、照射された光の強度に応じた信号を画像処理装置 20 に出力する。また、光検出器群 17 は、画像処理装置 20 により光検出のタイミングを制御される。
- [0045] 画像処理装置 20 は、この光検出器群 17 から受けた信号を、画像（以下、共焦点画像という）を生成するための画像データ（以下、共焦点画像データという）として用いることができる。また、画像処理装置 20 は、たとえば共焦点画像データにもとづく共焦点画像を露光ごとに生成してもよい。本実施形態では、画像処理装置 20 が光検出器群 17 の露光ごとに共焦点画像を生成する場合の例について説明する。なお、画像処理装置 20 は、露光ごとに光検出器群 17 の出力信号を得ることができれば、この出力信号にもとづいて立体形状計測を行うことが可能であり、共焦点画像は必ずしも生成せ

ずともよい。

[0046] 載物台駆動部 1 8 の載物台 X Y 変位部 2 2 は、載物台 1 6 を光軸方向に垂直な方向に変位させる。たとえば、載物台 X Y 変位部 2 2 は、測定の合間に測定対象領域を X Y 面内で移動させるために用いられる。

[0047] この載物台 X Y 変位部 2 2 は、載物台 1 6 の X 軸方向および Y 軸方向の位置決めを行う X 軸変位機構 4 1 および Y 軸変位機構 4 2 を有する。X 軸変位機構 4 1 および Y 軸変位機構 4 2 は、たとえばサーボモータにより構成され、変位の量、方向およびタイミングは、画像処理装置 2 0 により X Y 軸ドライバ 4 5 を介して制御される。

[0048] 図 7 は、画像処理装置 2 0 の内部構成例を概略的に示すブロック図である。画像処理装置 2 0 は、たとえばデスクトップ型やノートブック型のパーソナルコンピュータなどにより構成することができる。画像処理装置 2 0 は、入力部 5 1、表示部 5 2、記憶部 5 3 および制御回路 5 4 を有する。

[0049] 入力部 5 1 は、操作者によって操作が可能な入力デバイスと、入力デバイスからの信号を入力する入力回路とを含む。入力デバイスは、トラックボール、スイッチ、マウス、キーボード、操作面に触れることで入力操作を行うタッチパッド、表示画面とタッチパッドとが一体化されたタッチスクリーン、光学センサを用いた非接触入力デバイス、および音声入力デバイス等によって実現される。操作者により入力デバイスが操作されると、入力回路はその操作に応じた信号を生成して制御回路 5 4 に出力する。

[0050] 表示部 5 2 は、たとえば液晶ディスプレイや O L E D (Organic Light Emitting Diode) ディスプレイなどの一般的な表示出力装置により構成され、制御回路 5 4 の制御に従って各種情報を表示する。

[0051] 記憶部 5 3 は、R A M (Random Access Memory)、フラッシュメモリ (Flash Memory) 等の半導体メモリ素子、ハードディスク、光ディスク等を備える。記憶部 5 3 は、U S B (Universal Serial Bus) メモリ及び D V D (Digital Video Disk) 等の可搬型メディアを備えてもよい。記憶部 5 3 は、制御回路 5 4 において用いられる各種処理プログラム (アプリケーションプログラ

ムの他、OS (Operating System) 等も含まれる) や、プログラムの実行に必要なデータを記憶する。また、OSに、操作者に対する表示部52への情報の表示にグラフィックを多用し、基礎的な操作を入力部51によって行うことができるGUI (Graphical User Interface) を含めることもできる。記憶部53は、あらかじめ平行平板形の各透明部材31と物体側集光点のZ軸座標とを関連付けた情報を保持している。

[0052] 制御回路54は、CPU、RAMおよびROMをはじめとする記憶媒体などにより構成される。制御回路54は、記憶部53に記憶された直線走査プログラムおよびこのプログラムの実行のために必要なデータをRAMへロードし、このプログラムに従って、被計測体表面上を直線走査する処理を実行する。

[0053] なお、記憶部53は、プログラムおよびデータの一部または全部は電子ネットワークを介してダウンロードされるように構成してもよい。ここで電子ネットワークとは、電気通信技術を利用した情報通信網全般を意味し、無線／有線LAN (Local Area Network) やインターネット網のほか、電話通信回線網、光ファイバ通信ネットワーク、ケーブル通信ネットワークおよび衛星通信ネットワークなどを含む。

[0054] 制御回路54は、直線走査プログラムによって、少なくとも撮像制御部541、高さ決定部542、および画像生成部543として機能する。この各部541～543は、RAMの所要のワークエリアをデータの一時的な格納場所として利用する。なお、各部541～543は、ASIC (Integrated Circuit) またはFPGA (Field Programmable Gate Array) などのハードウェアロジックによって構成されてもよい。

[0055] 撮像制御部541は、焦点位置変更部14、光検出器群17および開口板変位部26を制御することにより、開口板変位部26により開口板12がY軸方向に等速に変位している期間において、平行平板形の透明部材31内に撮像対象領域27が含まれる期間ごとに光検出器群17による露光(撮像)を行わせる。このとき、撮像制御部541は、光検出器群17の露光時間が

配列周期 Δd に n (n は2以上の整数)を乗じた距離だけ開口板12が移動する時間と一致するよう、開口板12の移動速度、回転体32の回転速度および光検出器群17の露光時間および露光タイミングを制御する。

[0056] 高さ決定部542は、撮像制御部541から現在の物体側集光点のZ軸座標(現在光軸と交わっている透明部材31の情報)を取得するとともに光検出器群17の出力を取得し、光軸方向に離散的に変更された物体側集光点の位置ごとの光検出器17aの信号にもとづいて、光検出器17aごとに光検出器17aに入射する反射光の強度が最大となる被計測体15の光軸方向の位置を算出する。

[0057] ここで、たとえば載物台16の中心を原点とする座標系(載物台座標系)を考えると、この載物台座標系における測定対象領域(撮像対象領域27)のXY座標は、載物台XY変位部22の現在の位置から一意に求めることができる。このため、載物台XY変位部22の現在の位置に応じて、各光検出器17aに対応する載物台座標系のXY座標は一意に定まる。

[0058] 共焦点光学系を用いた形状計測技術において光検出器17aの出力から離散的に取得した複数の信号の強度にもとづいて反射光の強度が最大となる被計測体15のZ軸座標を算出する方法は、従来各種の方法が知られており、これらのうち任意のものを使用することが可能である。

[0059] 画像生成部543は、高さ決定部542により算出された光検出器17aごとの被計測体15の光軸方向の位置にもとづいて、被計測体15の形状画像を生成し、この形状画像を表示部52に表示させる。

[0060] なお、1回の計測(1枚の形状画像を生成する処理)に必要な、光軸方向に離散的に変更された物体側集光点の位置(光軸方向測定位置)の数は、回転体32の透明部材31の枚数の正整数分の1(たとえば $1/2$ や $1/3$ など)としてもよい。たとえば、光軸方向測定位置の数が回転体32の透明部材31の枚数と一致する場合、回転体32が1回転すると1回の計測を行うことができる。また、開口板12に設けられる開口部25の周期の数は、開口板12がY軸方向の所定の向き(正の向きおよび負の向きの一方)に等速

移動している間に少なくとも 1 回の計測を行うことができる数とするといよい。

[0061] また、開口板 1 2 が Y 軸方向の所定の向き（正の向きおよび負の向きの一方）に等速移動している間に少なくとも 1 回の計測を行い、開口板 1 2 の移動向きを反転させて等速状態になってから次の計測を行ってもよい。また、このとき、開口板 1 2 の移動向きの反転などに伴う開口板 1 2 の加減速期間に、被計測体 1 5 を X Y 移動させて計測対象領域を変更してもよい。この場合、複数回の測定全体にかかる時間を短縮することができる。

[0062] なお、共焦点「顕微鏡」では、観察が主目的であるため、とぎれることのない撮像が求められる。この点、ニポウディスクを用いた共焦点顕微鏡は、ニポウディスクが回転している限り、共焦点画像がとぎれることなく得られるため便利であるといえる。しかしながら、表面形状計測においては、1 回（1 視野）の計測という区切りがあることから、とぎれのない撮像は必要不可欠ではなく、ニポウディスクの回転のような終端のないスキャンでなく、本実施形態に係る開口板 1 2 の移動を用いる方法のように終端のあるスキャンであっても、開口板 1 2 の等速移動中に一回の計測が終了してしまえば問題は無い。

[0063] 本実施形態に係る立体形状計測装置 1 0 は、開口板 1 2 を直線走査することができる。このため、光検出器群 1 7 を露光させつつ開口板 1 2 を直線的に走査することにより、1 つの開口部 2 5 で複数の画素に対応させることができ、高分解能を実現することができる。また、物体側集光点の走査軌跡を厳密な直線とすることができるため、被計測体 1 5 の表面上の走査領域（計測対象領域）を矩形とすることができるため、ニポウディスクを用いる場合に比べ、二次元イメージセンサとの相性を向上させることができる。

[0064] なお、本実施形態では開口板 1 2 が複数の開口部 2 5 が設けられたピンホールアレイ型である場合の例について示したが、所定の配列周期 Δd を持つように開口していればよく、たとえばスリットアレイ型であってもよい。開口板 1 2 をスリットアレイ型とする場合は、開口板 1 2 の移動方向に直交す

る方向に長辺を持つスリットが、移動方向にスリット中心間隔が Δd の正整数分の1となるように複数並べて設けると、所定の配列周期を Δd として扱うことが可能である。

[0065] このようなスリットを持つ開口板12を用いる場合には、共焦点画像を得るのに必要な最低限のスキャン幅はスリット中心間隔（ピッチ） Δd に等しい。つまり、スリットのピッチ分だけ開口板12が移動すれば、光検出器群17を構成する全ての光検出器17aで共焦点データが得られることになる。このため、スリットアレイ型の開口板12を用いる場合、ピンホールアレイ型の開口板12を用いる場合に比べて1枚の共焦点画像を得るために必要な開口板12の移動距離は少なくすることが可能である。

[0066] 次に、開口板12の詳細な構成および開口板12の防塵方法について説明する。

[0067] 開口部25は、直径1～数 μm のサイズで開口板12に設けられる。このため、開口板12のうち、少なくとも複数の開口部25が設けられた領域（以下、開口領域という）は、防塵対策を施されることが好ましい。開口領域の防塵方法として、立体形状計測装置10の光学系全体を筐体で密閉する方法や、開口板12および開口板変位部26を筐体で密閉する方法を採用する場合、いずれも大掛かりになってしまうほか、開口板変位部26などの駆動部より塵が発生し開口アレイ領域に付着してしまう可能性がある。

[0068] そこで、本実施形態に係る立体形状計測装置10は、開口板12を防塵するためのカバー部材60を備える。カバー部材60は、開口板12の開口領域を両側から防塵するために用いられる。図1には、カバー部材60の構成の一例を概略的に示してある。また、図8（a）は、図1に示す一例に係るカバー部材60が設けられた開口板12の側面図であり、（b）はその斜視図である。

[0069] 図1および図8に示すカバー部材60の一構成例は、開口板12が透明基板12aで構成され、この透明基板12aの光源側の側面がクロムエッチングされて開口部25が形成される場合に好適である。この場合、開口領域の

対物レンズ側の側面は透明基板 1 2 a で防塵される。このため、カバー部材 6 0 は、開口領域の光源側の側面を防塵すればよい。したがって、図 1 および図 8 に示すように、カバー部材 6 0 は、開口板 1 2 の光源側（開口部 2 5 が形成された側面）に開口部 2 5 を覆うように着脱自在に設けられて、開口領域の光源側の側面を防塵すればよい。この場合の開口板 1 2 およびカバー部材 6 0 の構成の詳細について、以下さらに説明する。

[0070] カバー部材 6 0 は、透明体 6 1、透明体 6 1 の支持部材 6 2 および中間板 6 3 を有する。一方、開口板 1 2 は、透明基板 1 2 a の光源側の側面に複数の開口部 2 5 が形成された開口領域を有する。

[0071] 支持部材 6 2 および中間板 6 3 には、光源 1 1 a の光を透過するための開口が設けられる。透明体 6 1 は、支持部材 6 2 の開口の内側または外側に全周接着される。支持部材 6 2 は、支持部材 6 2 の開口中心と中間板 6 3 の開口中心とがほぼ一致するように中間板 6 3 にネジ止めされる。なお、支持部材 6 2 と中間板 6 3 の接触面には、中間板 6 3 の開口を囲むように O リングなどのパッキン 6 4 を入れておくと、防塵効果をより高めることができる。

[0072] また、中間板 6 3 の支持部材 6 2 固着側の反対側の側面には、開口部 2 5 の形成面 6 5 と中間板 6 3 の開口とが対向するよう、開口板 1 2 が全周接着される。この結果、開口板 1 2 と透明体 6 1 と支持部材 6 2 と中間板 6 3 とで形成される密閉空間内に、複数の開口部 2 5 が形成された開口領域を収めることができる。また、開口板 1 2 とカバー部材 6 0 とは開口板変位部 2 6 により一体的に Y 軸方向に変位することになる。

[0073] なお、開口板 1 2 は、中間板 6 3 に対して全周接着されずともよく、たとえば中間板 6 3 に対して着脱自在となるよう O リングなどのパッキンを介してネジ止めされてもよい。この場合、カバー部材 6 0 は開口板 1 2 に対して着脱自在となる。開口板 1 2 がカバー部材 6 0 に対して着脱自在に圧着される場合、開口板 1 2 の交換やメンテナンスを容易に行うことができる。

[0074] 中間板 6 3 は、L 字治具 6 6 の開口に開口板 1 2 が収まるように、L 字治具 6 6 の縦部にネジ止めされる。L 字治具 6 6 の横部は、開口板載置部 6 7

にネジ止めされる。開口板載置部 6 7 は、撮像制御部 5 4 1 を介してリニアモータ 6 8 によりリニアガイド 6 8 a に沿って Y 軸方向に変位する。リニアモータ 6 8 による駆動制御は、リニアガイド 6 8 a の近傍に設けられた各種のセンサ群 6 9 の出力信号を利用して行われる。センサ群 6 9 には、原点センサやリミットセンサなどが含まれる。

[0075] カバー部材 6 0 は、開口板 1 2 の光源側の開口部 2 5 の形成面 6 5 に、開口領域を覆うように設けられて開口領域の光源側を防塵する。このため、開口板変位部 2 6 ごと覆う場合や立体形状計測装置 1 0 の光学系全体を覆う場合に比べ、非常に軽量かつ簡単な構成で防塵することができるとともに、モータの発塵による弊害を未然に防ぐことができる。

[0076] 透明体 6 1 あるいは透明基板 1 2 a は開口板 1 2 の開口領域に塵埃が付着することを防ぐ機能を有するが、透明体 6 1 あるいは透明基板 1 2 a それ自身に付着する塵埃は防ぐことはできない。しかし、透明体 6 1 あるいは透明基板 1 2 a の厚さが十分厚ければ、透明体 6 1 あるいは透明基板 1 2 a の表面に付着する塵埃は、結像光学系 3 5 あるいは対物レンズ 1 3 の結像位置である開口板 1 2 の位置から離れることになり、結像光束が太い位置であるため結像光束を完全に塞いでしまうことは無くなるため計測への影響は小さくてすむ。

[0077] しかし、光路中に厚い透明体 6 1 を挿入すると結像光学系 3 5 の結像性能への影響を無視できなくなる。そのため、結像光学系 3 5 はこの透明体 6 1 の厚みを考慮して設計されるべきである。もちろん、透明体 6 1 は、脈理がなく面精度および平行度が十分高い光学ガラスを用いる必要がある。

[0078] なお、図 1 および図 8 には、透明基板 1 2 a の光源側に開口部 2 5 が形成されるとともにカバー部材 6 0 が開口領域の光源側を防塵する場合の例について示したが、開口板 1 2 およびカバー部材 6 0 は光路上で全体として反転して配置されてもよい。すなわち、透明基板 1 2 a の対物レンズ側に開口部 2 5 が形成されるとともにカバー部材 6 0 が開口領域の対物レンズ側を防塵してもよい。

[0079] また、カバー部材60は、開口板12の開口領域が両側から防塵されるために必要な構成を有すればよく、図1および図8に示すような構成に限られない。図1および図8に示した構成例では、開口板12の開口領域の一側面が透明基板12aで防塵されるため、カバー部材60は、開口領域の他の側面を防塵可能に構成されればよい。一方、たとえば開口板12が、遮光性の高い板（金属板のほか、遮光性塗料を塗布されたプラスチック板等を含む）により構成され、この板に孔を設けることにより開口部25が形成されている場合は、カバー部材60は、開口板12の開口領域を光源側および対物レンズ側の両側から覆うよう構成されるとよい。このとき、たとえばカバー部材60は図1に示す透明体61および支持部材62からなる組を2組有し、各組を遮光性の高い板により構成された開口板12の開口領域の光源側および対物レンズ側にそれぞれ着脱自在に設けるとよい。

[0080] 次に、撮像制御部541による撮像制御方法について説明する。

[0081] 撮像制御部541は、焦点位置変更部14、光検出器群17および開口板変位部26を制御することにより、光検出器群17の露光時間が配列周期 Δd に n （ n は2以上の整数）を乗じた距離だけ開口板12が移動する時間と一致するよう、開口板12の移動速度、回転体32の回転速度および光検出器群17の露光時間および露光タイミングを制御する。

[0082] たとえば、配列周期 Δd に1を乗じた距離だけ開口板12が移動する時間と一致するような制御の場合（図3に図示）に、開口部25の配列周期 Δd が $100\mu\text{m}$ であり、開口板12の定速移動の速度 v が 10mm/s であり、配列周期 Δd の移動に要する時間 Δt は 10ms であるとする。配列周期 Δd に n を乗じた距離だけ開口板12が移動する時間と一致するような制御の場合（図4に図示）であって、上記制御方法（1）を採用するときは、開口板12の定速移動の速度 v を 10mm/s としたままで、配列周期 Δd に n を乗じた距離の移動に要する時間 Δt を $(10 \times n)\text{ms}$ とする。この制御方法（1）の場合、光検出器群17の露光時間 Δt_1 は、正確に $\Delta t = 10\text{ms}$ に n を乗じた時間に一致するように制御される。または、配列周期 Δ

dにnを乗じた距離だけ開口板12が移動する時間と一致するような制御の場合（図4に図示）であって、上記制御方法（2）を採用するときは、配列周期 Δd にnを乗じた距離の移動に要する時間 Δt を10msとしたままで、開口板12の定速移動の速度vを $(10 \times n)$ mm/sとする。この制御方法（2）の場合、光検出器群17の露光時間 Δt_1 は、正確に $\Delta t = 10$ msの時間に一致するように制御される。上記制御方法（2）を採用する場合、開口部25が直径1～数 μ mのサイズであれば、nが2～4である、つまり、開口板12の定速移動の速度vが20～40 mm/s程度であることが好適である。

[0083] しかし、たとえ露光時間 Δt_1 が正確に $\Delta t \cdot n$ （上記制御方法（1））や Δt （上記制御方法（2））に一致していても、露光時間 Δt_1 に微妙な誤差があると、画像にパターンが発生することになる。そのパターンは、露光開始時における開口部25の位置によって決まる。つまり、露光開始時の開口部25の位置付近の画素に露光不足もしくは露光過剰が発生し、パターンとなって表れることになる。他にも、開口部25の配列方向と開口板12の移動方向とが正確に一致せず互いに傾いている場合、傾きが微小であっても同じようなパターンが表れることになる。これらのパターンもまた露光の開始時の開口部25の位置で決まる。したがって、露光の開始時の開口部25の位置がランダムであると、パターンもランダムに変動することになる。

[0084] 一方、露光の開始タイミングは、焦点位置変更部14のタイミングセンサ34のトリガのタイミングに応じて決定されることになる。このため、たとえば開口板変位部26とは全く独立で回転体32の回転数を決定している場合、取込画像毎に上記パターンはほぼランダムに変動し、計測演算に用いる軸上応答曲線にノイズ成分として反映されてしまうため、計測精度が低下することになる。

[0085] これを回避するためには、ランダムなタイミングで露光を開始するのを禁止し、開口板12がn個の配列周期 $\Delta d \cdot n$ 分移動する時間（上記の例では $(10 \times n)$ msまたは10ms）の倍数のインターバルでしか露光開始を

認めないことで、パターンのランダム発生を防ぎ、より鮮明な画像を得ることができる。

[0086] 図9は、鮮明な画像を得るためのタイミングチャートの一例を示す説明図である。図9は、上記制御方法(1)、(2)のうち(1)の場合を例にとって説明したものである。なお、上記制御方法(2)の場合、図9において、 $\Delta t \cdot n$ を Δt に置き換えて読めばよい。

[0087] 図9に示すように、撮像制御部541は、回転体32の透明部材31が光軸と交差するごとに光検出器群17を露光させる。このとき、撮像制御部541は、光検出器群17の露光時間 Δt_1 が n (n は2以上の整数)個の配列周期 $\Delta d \cdot n$ の移動に要する時間 $\Delta t \cdot n$ だけに一致させる。このとき、撮像制御部541は、開口板12の移動速度 v を $v = \Delta d / \Delta t$ となるように制御する。また、撮像制御部541は、隣り合う露光の開始時刻どうしの間隔を Δt に n より大きい整数 k を乗じた時間 $\Delta t \cdot k$ に一致させる。

[0088] 次に、開口板12の加減速にともない生じる力の影響を低減させる方法について説明する。

[0089] 開口板12は、できるだけ素早く等速状態まで加速されることが好ましい。しかし、強い加減速を行うと、加減速にともなう力の発生により振動が発生し精度を低下させる可能性が考えられる。このような加減速にともない生じる力の影響低減させるため、反力機構を設けるとよい。

[0090] 図10は、反力機構70の一構成例を示す斜視図である。反力機構70は、リニアモータ68によりリニアガイド68aに沿ってY軸方向に変位する移動体71と、移動体71に設けられ移動体71と一体的に変位する調整部材72とを有する。

[0091] 移動体71は、開口板12の加減速にともない生じる力の影響を低減させる(打ち消す)ように、撮像制御部541を介してリニアモータ68により駆動される。たとえば、開口板載置部67を含む開口板載置部67の載置物の重量と反力機構70の重量とが一致するよう調整部材72の重さを選択した場合、これらの重心は開口板載置部67と移動体71の中間に存在する。

この場合、移動体 7 1 は、たとえば開口板載置部 6 7 と重心対称に、反対方向に同じ大きさで加減速運動させることにより開口板 1 2 の加減速にともない生じる力の影響を低減させることができる。

[0092] (第 2 の実施形態)

次に、本発明に係る立体形状計測装置の第 2 実施形態について説明する。

[0093] 図 1 1 は、本発明の第 2 実施形態に係る立体形状計測装置 1 0 A の一構成例を示す概略的な全体図である。

[0094] この第 2 実施形態に示す立体形状計測装置 1 0 A は、焦点位置変更部 1 4 が対物レンズ 1 3 の開口板 1 2 側に設けられる点で第 1 実施形態に示す立体形状計測装置 1 0 と異なる。他の構成および作用については図 1 に示す立体形状計測装置 1 0 と実質的に異ならないため、同じ構成には同一符号を付して説明を省略する。

[0095] 顕微鏡では対物レンズを交換することでより拡大して（観察）精度を上げたり、逆に精度は低い広い視野で全体を観察したりと、目的に応じて最適な拡大倍率を選ぶことができるため汎用性が高い。

[0096] 計測でも同様な汎用性を持つことが望まれるが、第 1 実施形態に係る立体形状計測装置 1 0 のように回転体 3 2 を含む焦点位置変更部 1 4 が被計測体 1 5 側（被計測体 1 5 と対物レンズ 1 3 との間）に挿入されると、このような汎用性は得られない。これは、回転体 3 2 上の透明部材 3 1 の厚さピッチは、共焦点の軸上応答曲線（Z 移動した場合の検出器変化の曲線）の中央の山内で 3 点以上の値をサンプリングできるように決定される一方、対物レンズ 1 3 を交換するということは、対物レンズ 1 3 の被計測体 1 5 側の NA（開口数）が変化することになるためである。

[0097] 中央の山の幅は、被計測体 1 5 側の NA によって決定される。このため、対物レンズ 1 3 が交換されると、回転体 3 2 の透明部材 3 1 のピッチも変えなければならない。つまり、対物レンズ 1 3 だけでなく回転体 3 2 自体も交換する必要が生じてしまう。

[0098] したがって、図 1 1 に示すように回転体 3 2 が像側（開口板 1 2 側）空間

にある場合には、透明部材 31 の厚さピッチで決まる像側空間でのサンプリングピッチは、被計測体 15 側の空間ではレンズ縦倍率（横倍率の二乗）に反比例することになる。このため、対物レンズ 13 を交換して倍率を変えても、中央の山の幅だけでなく、被計測体 15 側のサンプリングピッチも横倍率の二乗に反比例して同じように自動的に変化することになる。したがって、図 11 に示すように回転体 32 が像側（開口板 12 側）空間にある場合には、対物レンズ 13 を交換しても回転体 32 を交換する必要はないことになる。もちろん実際に計測できる光軸方向の物体空間（Z 計測レンジ）も横倍率の二乗に反比例して変化するが、通常高倍率であるほど、より小さいものを観察することになるから合理的である。

[0099] したがって、第 2 実施形態に係る立体形状計測装置 10A によれば、対物レンズ 13 の倍率変更を容易に行うことができる。また、焦点位置変更部 14 を被計測体 15 側に設ける場合に比べ、被計測体 15 側の空間のワーキングディスタンスを十分に確保することができ、作業性を向上させることができるとともに、斜入射照明のような付属の照明を容易に設けることができる。

[0100] 本発明に係る立体形状計測装置 10、10A の上記制御方法（1）及び（2）によれば、共焦点光学系を用いたピンホールアレイスキャンにおいて計測誤差を軽減させて正確な計測を行うことができる。具体的には、上記制御方法（1）及び（2）によれば、振動などによる走査の均一性が悪化を低減することができるし、開口部 25 の径の個体差によらずに正確な計測を実現することができる。特に、上記制御方法（2）によれば、露光時間を延長せずに上述の効果を奏することができる。被計測体 15 の種類は特に限定されるものではないが、上記制御方法（2）の場合は、計測レンジを絞ることが好適であるため、被計測体 15 を、半導体チップ又は配線用リードに形成された突起状の接続電極（バンプ）などにすることが好適である。

[0101] なお、本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない

。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

[0102] たとえば、焦点位置変更部 1 4 は、対物レンズ 1 3 の物体側集光点の位置を Z 方向に移動させることができれば図 6 に示した構成に限られず、たとえば所定の屈折率を有する透明体により形成されるとともに透明体の光軸方向の厚さが可変な光路長調節部材と、透明体の光軸方向の厚さを変更する調節部材駆動部と、により構成されてもよい。この場合、焦点位置変更部 1 4 は、光軸と交わる透明体の光軸方向の厚さを変更して光路長調節部材を光線が貫く光路長を変更することにより、物体側集光点の位置を光軸方向に変更することができる。光路長調節部材は、たとえば互いに平行に設置された 2 枚の平行平板ガラスと、これらのガラスの間に充填された液体とにより構成することができる。この場合、調節部材駆動部は、この液体の体積を変更することで光路長を変更することが可能である。

符号の説明

[0103] 1 0、1 0 A 立体形状計測装置

1 1 照明光学系

1 1 a 光源

1 2 開口板

1 3 対物レンズ

1 4 焦点位置変更部

1 5 被計測体

1 6 載物台

1 7 光検出器群

1 8 載物台駆動部

2 0 画像処理装置

2 1 載物台 Z 変位部

- 2 2 載物台 X Y 変位部
- 2 5 開口部
- 2 6 開口板変位部
- 2 7 撮像対象領域
- 3 1 透明部材
- 3 2 回転体
- 3 4 タイミングセンサ
- 3 5 結像光学系
- 5 4 1 撮像制御部
- 5 4 2 高さ決定部
- 6 0 カバー部材
- 6 1 透明体
- 6 2 支持部材
- 6 3 中間板
- 6 4 パッキン
- 6 7 開口板載置部
- 6 8 リニアモータ
- 7 0 反力機構

請求の範囲

[請求項1]

共焦点光学系を用いた立体形状計測装置であって、

平板状の透明基板を有し、前記透明基板の一方の面に光源の光を通過する複数の共焦点開口部が、所定の配列周期を持つよう2次元に配置されて設けられた開口板と、

前記複数の共焦点開口部を通過したそれぞれの光を物体側集光点に集光するとともに、この集光した光の被計測体による反射光をそれぞれ対応する共焦点開口部に再度集光する対物レンズと、

屈折率および厚さの少なくとも一方が互いに異なる複数の平行平板形の部材が前記対物レンズの光軸と交差するよう回転方向に沿って配設された回転体と、前記回転体を所定の速度で連続回転させる駆動部と、を有し、光軸と交わる前記平行平板形の部材が前記回転体の回転にともない変わるとともに前記物体側集光点の位置を光軸方向に離散的に変更する焦点位置変更部と、

前記共焦点開口部を再度通過した前記反射光の強度に応じた信号を出力する光検出器を複数有する光検出器群と、

前記物体側集光点の位置と前記被計測体の位置との光軸方向に垂直な方向の相対的な位置関係を変更するよう前記開口板を光軸方向に垂直な所定の方向に等速に変位させる開口板変位部と、

前記開口板変位部により前記開口板が光軸方向に垂直な前記所定の方向に等速に変位している期間において前記光検出器群に複数回の露光を行わせるとともに、前記平行平板形の部材内に撮像対象領域が含まれる期間ごとに前記光検出器群の各露光を行わせ、かつ前記光検出器群の露光時間が前記所定の配列周期に2以上の整数 n を乗じた距離だけ前記開口板が移動する時間と一致するよう、前記開口板の移動速度、前記回転体の回転速度および前記光検出器群の前記露光時間および露光タイミングを制御する撮像制御部と、

光軸方向に離散的に変更された前記物体側集光点の位置ごとの前記

光検出器の信号にもとづいて、前記光検出器ごとに前記光検出器に入射する前記反射光の強度が最大となる前記被計測体の光軸方向の位置を推定する高さ決定部と、

前記開口板の前記透明基板の前記一方の面に設けられて前記開口板変位部により前記開口板と一体的に変位するカバー部材であって、前記光源の光を透過して前記複数の共焦点開口部に照射させる透明体と、前記透明体の周縁部を全周にわたって支持するとともに前記複数の共焦点開口部を囲うように前記開口板の前記透明基板の前記一方の面に設けられた支持体と、を有するカバー部材と、

前記カバー部材の前記透明体を含む光学系全体の光学特性を考慮して設計され、前記共焦点開口部を再度通過した前記反射光を前記光検出器に導く結像光学系と、

を備え、

前記カバー部材は、

前記カバー部材の前記透明体および前記支持体と、前記開口板の前記透明基板と、により形成された密閉空間内に前記複数の共焦点開口部が前記透明体と離間して位置するように、かつ、前記透明体が前記光源と前記開口板との間に位置するように、前記支持体を介して前記開口板の前記一方の面に設けられる、

立体形状計測装置。

[請求項2] 前記撮像制御部は、前記光検出器群の露光時間が前記所定の配列周期に2以上の整数 n を乗じた距離だけ前記開口板が移動する時間と一致するような制御と、前記光検出器群の露光時間が前記所定の配列周期に1を乗じた距離だけ前記開口板が移動する時間と一致するような制御とを切り替える、請求項1に記載の立体形状計測装置。

[請求項3] 前記撮像制御部は、前記光検出器群の露光時間が前記所定の配列周期に2以上の整数 n を乗じた距離だけ前記開口板が移動する時間を、前記光検出器群の露光時間が前記所定の配列周期に1を乗じた距離だけ

前記開口板が移動する時間に一致させる、請求項 2 に記載の立体形状計測装置。

[請求項 4] 前記カバー部材は、前記開口板に対して着脱自在である、請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の立体形状計測装置。

[請求項 5] 前記撮像制御部は、さらに、
前記複数回の露光のうち任意の露光の開始時刻から次の露光の開始時刻までの期間が、前記所定の配列周期に前記 2 以上の整数 n よりも大きい整数 k を乗じた距離だけ前記開口板が移動する時間と一致するように、前記開口板の移動速度、前記回転体の回転速度および前記光検出器群の前記露光時間および前記露光タイミングを制御する、
請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の立体形状計測装置。

[請求項 6] 前記焦点位置変更部は、
前記複数の平行平板形の部材が前記対物レンズの前記開口板側の光軸と交差するように、前記開口板と前記対物レンズとの間に配設された、
請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の立体形状計測装置。

[請求項 7] 前記被計測体を載置する載物台と、
前記物体側集光点の位置と前記被計測体の位置との光軸方向に垂直な方向の相対的な位置関係を変更するよう前記載物台を光軸方向に垂直な方向に変位させる載物台変位部と、
をさらに備え、
前記載物台変位部は、
前記開口板が光軸方向に垂直な前記所定の方向に等速で変位している期間を除く期間において前記物体側集光点の位置と前記被計測体の位置との光軸方向に垂直な方向の相対的な位置関係を変更し、
前記開口板が光軸方向に垂直な前記所定の方向に等速で変位している期間を除く期間は、
前記開口板変位部により前記開口板が前記所定の方向に加速および

減速される期間ならびに前記開口板変位部により前記開口板の移動向きが前記所定の方内方向で反転する時または期間である、

請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の立体形状計測装置。

[請求項 8]

前記開口板変位部は、

前記開口板を載置する開口板載置部と、

前記撮像制御部により制御され、前記開口板載置部を光軸方向に垂直な前記所定の方内方向に変位させるリニアモータと、

を有する請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の立体形状計測装置。

[請求項 9]

前記開口板変位部は、

光軸方向に垂直な前記所定の方内方向に変位する反力機構、

をさらに備え、

前記撮像制御部は、

前記リニアモータによる前記開口板載置部の加減速にともない生じる力の影響を低減するように前記反力機構を動作させる、

請求項 8 に記載の立体形状計測装置。

[請求項 10]

前記焦点位置変更部は、前記回転体および前記駆動部にかえて、

前記対物レンズの光軸と交差する位置に設けられ、所定の屈折率を有する透明部材により形成されるとともに前記透明部材の光軸方向の厚さが可変な光路長調節部材と、

前記透明部材の光軸方向の厚さを変更する調節部材駆動部と、

により構成され、光軸と交わる前記透明部材の光軸方向の厚さを変更して光路長を変更することにより前記物体側集光点の位置を光軸方向に変更する、

請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の立体形状計測装置。