

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号  
特許第6193218号  
(P6193218)

(45) 発行日 平成29年9月6日(2017.9.6)

(24) 登録日 平成29年8月18日(2017.8.18)

(51) Int.Cl.  
G O 1 B 11/24 (2006.01)

F I  
G O 1 B 11/24 A

請求項の数 19 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2014-510672 (P2014-510672)	(73) 特許権者	506173271
(86) (22) 出願日	平成23年5月20日 (2011.5.20)		ユニベルシタート ポリテクニカ デ カ
(65) 公表番号	特表2014-515471 (P2014-515471A)		タルーニャ
(43) 公表日	平成26年6月30日 (2014.6.30)		スペイン国 イー-8034 バルセロナ
(86) 国際出願番号	PCT/EP2011/058281		, 31, ホルディ ジロナ
(87) 国際公開番号	W02012/159651	(74) 代理人	110002077
(87) 国際公開日	平成24年11月29日 (2012.11.29)		園田・小林特許業務法人
審査請求日	平成26年5月15日 (2014.5.15)	(72) 発明者	ラガルタ ベルトラン, フェラン
審判番号	不服2016-5192 (P2016-5192/J1)		スペイン国 エー08241 マンレザ,
審判請求日	平成28年4月8日 (2016.4.8)		カラ ロシニョル, 5, バリ ペラ
		(72) 発明者	ヴィスタ
			ピント ヴィラ, アグステイ
			スペイン国 エー08254 エル ポン
			ト デ ビロマラ, カレル ジェズス,
			74-78, 2オー 1アー
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 表面を非接触にて測定するための方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

対象物の表面 (300) の非接触測定のための方法であって、  
第2の軸 (z) に沿って前記対象物の位置を調節することにより投影された光のパターン (m) の合焦点 (P) が基準点 (X<sub>1</sub>) にできるだけ近くに配置されるように、光のパターン (m) を前記対象物の表面 (300) の少なくとも第1の軸 (x) における前記基準点 (X<sub>1</sub>) がある前記対象物の表面 (300) の対象領域へ投影するステップと、  
前記投影された光のパターン (m) の、前記基準点 (X<sub>1</sub>) を含む前記対象物の表面 (300) による反射後の視野領域 (F) の1つの画像を取得するステップと、  
前記第2の軸 (z) における前記対象物 (300) の位置 (Z<sub>1</sub>) を割り出すステップと、  
前記第1の軸 (x) における前記対象物の表面 (300) の他の基準点 (X<sub>2</sub>、X<sub>3</sub>、  
・・・、X<sub>n</sub>) が存在する一連の対象領域に、光のパターン (m) を前記対象物の表面 (300) へ投影するステップと、  
前記投影された光のパターン (m) の合焦点 (P) と前記他の基準点 (X<sub>2</sub>、X<sub>3</sub>、  
・・・、X<sub>n</sub>) を被写界深度の範囲内に維持するために前記第1の軸 (x) と前記第2の軸 (z) に沿って前記対象物の位置を同時に変化させることによって、前記投影された光のパターン (m) の、前記他の基準点 (X<sub>2</sub>、X<sub>3</sub>、  
・・・、X<sub>n</sub>) を含む前記対象物の表面 (300) による反射後のそれぞれの視野領域 (F) のいくつかの画像を取得するステップと、

10

20

前記他の基準点 ( $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ ) がある対応する前記対象領域に対する前記対象物の位置 ( $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $\dots$ 、 $Z_n$ ) を割り出すステップとを含み、

前記光のパターン ( $m$ ) が前記第 1 の軸 ( $x$ ) に沿った光の分布を有し、当該方法がさらに、

前記取得された画像の各々について、前記第 1 の軸 ( $x$ ) に沿った前記合焦点 ( $P$ ) の位置を割り出すステップと、

対応する補正差 ( $\delta_1$ 、 $\delta_2$ 、 $\dots$ 、 $\delta_n$ ) を、前記合焦点 ( $P$ ) と前記基準点及び前記他の基準点 ( $X_1$ 、 $X_2$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ ) との間の前記第 1 の軸 ( $x$ ) に沿った距離として算出するステップと、

前記補正差 ( $\delta_1$ 、 $\delta_2$ 、 $\dots$ 、 $\delta_n$ ) を含む前記第 1 の軸 ( $x$ ) における前記基準点及び前記他の基準点 ( $X_1$ 、 $X_2$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ ) に関するパラメータと前記第 2 の軸 ( $z$ ) における前記対象物の位置 ( $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $\dots$ 、 $Z_n$ ) に関するパラメータとを少なくとも含む前記対象物の表面 ( $300$ ) の表現を得るステップとを含むことを特徴とする方法。

#### 【請求項 2】

前記対象物の表面へ投影される前記光のパターンが、前記第 1 の軸 ( $x$ ) に沿って顕微鏡対物レンズ ( $150$ ) の焦点面に投影される測定スリット ( $m$ ) である、請求項 1 に記載の方法。

#### 【請求項 3】

前記対象物の表面の表現を得るステップが、測定対象の前記対象物の表面の輪郭を与える曲線が決定されるように、前記補正差 ( $\delta_1$ 、 $\delta_2$ 、 $\dots$ 、 $\delta_n$ ) を含む前記第 1 の軸 ( $x$ ) における前記基準点及び前記他の基準点 ( $X_1$ 、 $X_2$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ ) に関するパラメータと、前記第 2 の軸 ( $z$ ) における前記対象物の位置 ( $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $\dots$ 、 $Z_n$ ) に関するパラメータとを含む曲線 [ $(X_1 + \delta_1, Z_1)$ 、 $(X_2 + \delta_2, Z_2)$ 、 $\dots$ 、 $(X_n + \delta_n, Z_n)$ ] を形成するステップを含む、請求項 2 に記載の方法。

#### 【請求項 4】

前記対象物の表面の表現を得るステップが、測定される前記対象物の表面の三次元マップ [ $(X_{i1} + \delta_{i1}, Y_i, Z_{i1})$ 、 $(X_{i2} + \delta_{i2}, Y_i, Z_{i2})$ 、 $\dots$ 、 $(X_{in} + \delta_{in}, Y_i, Z_{in})$ ] ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) を得るために、前記測定スリット ( $m$ ) を第 3 の軸 ( $y$ ) の種々の位置 ( $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $\dots$ 、 $Y_m$ ) に投影することからなるラスタ走査を実行するステップを含み、前記マップが、前記第 3 の軸 ( $y$ ) の種々の位置 ( $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $\dots$ 、 $Y_m$ ) における前記補正差 ( $\delta_{i1}$ 、 $\delta_{i2}$ 、 $\dots$ 、 $\delta_{in}$ ) を含む前記第 1 の軸 ( $x$ ) における前記基準点及び前記他の基準点 ( $X_{i1}$ 、 $X_{i2}$ 、 $\dots$ 、 $X_{in}$ ) に関するパラメータと前記第 2 の軸 ( $z$ ) における前記対象物の位置 ( $Z_1$ 、 $Z_{i2}$ 、 $\dots$ 、 $Z_{in}$ ) に関するパラメータとを含む、請求項 3 に記載の方法。

#### 【請求項 5】

前記測定スリット ( $m$ ) が前記対象物 ( $300$ ) の頂点位置へと投影されるようなやり方で、測定される前記対象物 ( $300$ ) を配置するための中心合わせステップをさらに含み、前記中心合わせステップが、

前記測定スリット ( $m$ ) に実質的に平行であり、前記測定スリット ( $m$ ) を間に挟むようにして前記測定スリット ( $m$ ) から第 3 の軸 ( $y$ ) に沿って所与の距離だけ離れている少なくとも 2 つの横スリットを、前記顕微鏡対物レンズ ( $150$ ) の焦点面へと投影するステップと、

前記測定スリット ( $m$ ) の両側に位置しており、前記測定スリット ( $m$ ) から両側に同じ距離だけ離れている 2 つの横スリットに沿った前記合焦点 ( $P$ ) が、前記第 1 の軸 ( $x$ ) において同じ座標にあることが明らかになるまで、前記第 3 の軸 ( $y$ ) に沿って前記対象物 ( $300$ ) の位置を変化させるステップとを含む、請求項 4 に記載の方法。

10

20

30

40

50

## 【請求項 6】

前記合焦点 (P) を前記他の基準点 ( $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ ) のできるだけ近くに維持するために前記第 2 の軸 (z) を同時に移動させることが、構造化された照明にもとづく焦点深度アルゴリズムを使用することによって実行される、請求項 5 に記載の方法。

## 【請求項 7】

視野領域 (F) の各々について、該視野領域 (F) 内の同じ所定の位置に位置する前記基準点及び前記他の基準点 ( $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ ) を決定するステップをさらに含む、請求項 6 に記載の方法。

## 【請求項 8】

前記合焦点 (P) が正面感度の最大値を有する視野内の点として決定され、前記正面感度が構造化された照明にもとづく焦点深度アルゴリズムの信号が前記第 1 の軸 (x) に沿っていかに変化するかを表す、請求項 7 に記載の方法。

## 【請求項 9】

前記補正差 ( $\delta_1$ 、 $\delta_2$ 、 $\dots$ 、 $\delta_n$ ) を画素単位から長さ単位へと変換するステップをさらに含む、請求項 8 に記載の方法。

## 【請求項 10】

前記補正差 ( $\delta_1$ 、 $\delta_2$ 、 $\dots$ 、 $\delta_n$ ) が  $1\ \mu\text{m}$  以下である、請求項 9 に記載の方法。

## 【請求項 11】

請求項 1 ~ 10 のいずれか一項に記載の方法によって前記対象物 (300) の表面を非接触で測定するための装置 (100) であって、

対象物の表面の第 1 の軸 (x) における基準点 ( $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ ) が前記合焦点 (P) に最も近くなるように、光を前記対象物の表面の対象領域へ投影する投光手段 (110) と、

前記投影された光の、前記対象物の表面による反射後の前記基準点 ( $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ ) を含む視野領域 (F) の 1 つの画像を取得するための撮像手段 (120) と、

第 2 の軸 (z) におけるそれぞれの前記基準点 ( $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ ) の位置 ( $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $\dots$ 、 $Z_n$ ) を割り出すための手段と、

前記第 1 の軸 (x) に沿って前記対象物 (300) の位置を変化させるための手段と、  
前記合焦点 (P) が前記基準点 ( $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ ) のできるだけ近くに維持されるように、第 2 の軸 (z) に沿って前記対象物 (300) の位置を同時に変化させるための手段と  
を備え、

前記投光手段 (110) が、前記第 1 の軸 (x) に沿った光の分布を有する光のパターンを投影するために適していることを特徴とする装置。

## 【請求項 12】

前記対象物の表面へ投影される前記光のパターンが、前記第 1 の軸 (x) に沿って顕微鏡対物レンズ (150) の焦点面に投影される測定スリット (m) である、請求項 11 に記載の装置 (100)。

## 【請求項 13】

前記投光手段 (110) と前記撮像手段 (120) とを含む測定ヘッド (160) をさらに備える、請求項 11 または 12 に記載の装置 (100)。

## 【請求項 14】

前記投光手段 (110) が、少なくとも 1 つの LED (111) と、ダイアフラム (112) と、コリメーション光学系 (113) と、ミラー (114) と、光学レンズ (115) と、ビームスプリッタ (116) と、顕微鏡対物レンズ (150) とを備える、請求項 13 に記載の装置 (100)。

## 【請求項 15】

前記測定スリット (m) が前記対象物 (300) の頂点位置へと投影されるようなやり

10

20

30

40

50

方で、前記測定される対象物(300)を配置するための中心合わせ手段をさらに備え、前記中心合わせ手段が、

少なくとも2つの横スリットを、それぞれの側方軸( $x'$ )に沿って前記顕微鏡対物レンズ(150)の焦点面へ投影するための手段であって、前記側方軸( $x'$ )は、前記測定スリット( $m$ )が横スリットの間位置するように、前記第1の軸( $x$ )に実質的に平行でありかつ第3の軸( $y$ )に沿って所与の距離だけ前記第1の軸( $x$ )から離れている、投影するための手段と、

前記測定スリット( $m$ )の両側で、前記測定スリット( $m$ )から両側に同じ距離だけ離れている2つの横スリットに沿った前記合焦点( $P$ )が、前記第1の軸において同じ座標にあることが明らかになるまで、前記第3の軸( $y$ )に沿って前記対象物の位置を変化させるための手段と

を備える、請求項12に記載の装置(100)。

【請求項16】

前記対象物の表面の表現を得るために、ラスタ走査を実行すべく前記第3の軸( $y$ )に沿って前記対象物の位置を変化させるための手段をさらに備える、請求項15に記載の装置(100)。

【請求項17】

前記対象物の表面の表現を得るために、角度走査を実行すべく前記対象物(300)の一点を通る第4の軸( $z$ )を中心にして前記対象物の角度位置を変化させるための手段をさらに備える、請求項16に記載の装置(100)。

【請求項18】

前記第2の軸( $z$ )における前記対象物の位置( $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $\dots$ 、 $Z_n$ )を割り出すための手段が、高精度の位置センサ手段(170)を備える、請求項17に記載の装置(100)。

【請求項19】

前記撮像手段(120)が、顕微鏡対物レンズおよびカメラ(121)を含む、請求項18に記載の装置(100)。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

非接触での表面計測方法が、本明細書において開示される。より詳しくは、表面を非接触にて測定するための請求項1の前提部分に記載のとおりの方法が提示される。

【0002】

さらに、表面を非接触にて測定するための請求項12の前提部分に記載のとおり装置が開示される。

【背景技術】

【0003】

平面および球面を有する光学部品は、製造および測定が比較的容易である。しかしながら、これらの光学部品は、収差によって制約される性能ゆえに、非球面および自由造形の表面などの複雑な表面を有する光学部品で置き換えられつつある。複雑な表面を有する光学部品は、収差の除去を可能にし、他の多数の利点ももたらす。これらの光学部品は、機械加工、研磨、および計測の技術を使用して得られる。

【0004】

より近年では、さらに複雑な光学表面を機械加工するという需要ゆえに、そのような光学部品のための先進の製造技術が開発されてきている。したがって、そのような光学部品のための計測の要件が、ますます高くなってきている。

【0005】

表面の特徴を明らかにするための表面計測は、現時点において、接触測定、走査プローブ測定、および非接触測定などの種々の技術によって実行されている。

【0006】

10

20

30

40

50

接触測定は、試料を横切ってドラッグされる小さな針の先端の使用にもとづく。先端が、試料の表面の山および谷を通して移動する。先端の上下移動が信号へと変換され、この信号が、試料における位置 - その位置における試料の高さに関する曲線を作り出すために有用なデジタルデータへと処理される。

【 0 0 0 7 】

試料の表面の形状を正確に辿るために、一定の力を先端によって試料の表面へと加えなければならない。したがって、接触にもとづく測定の主たる欠点は、測定用の先端が測定対象の試料に常に接触しているため、破壊的である点にある。接触測定技術のさらなる欠点は、現時点においてはマイクロメートル級の先端を製造することが可能であるが、先端そのものの寸法よりも小さい細部を測定できない点にある。

10

【 0 0 0 8 】

走査プローブ測定は、測定対象の表面の近傍で働くプローブを、プローブと表面との間に力が存在する距離において使用することにもとづく。原子間力顕微鏡法が、この技術において非球面を測定するために使用される。

【 0 0 0 9 】

非接触の測定を、干渉分光法、共焦点プロフィロメトリ、またはレーザオートフォーカス技術を通じて実行することができる。

【 0 0 1 0 】

干渉分光法の技術においては、参照ビームが、測定対象の表面についての情報を保持しているビームに観察面において重なるときの干渉縞が評価される。反射ビームにおける位相差が測定され、表面輪郭を得ることができるよう高き情報へと変換される。

20

【 0 0 1 1 】

干渉計を使用することによって、測定対象の試料の表面のトポグラフィについての情報が得られる。試料からの波面が、通常はカメラである検出器における重なり合いによって干渉パターンがもたらされ、この干渉パターンから測定面と基準面（通常は、平面鏡）との間の高さの差を評価できるように、基準波面と比較される。非球面を測定するために、基準波面を、測定波面に可能なかぎり類似するように修正しなければならない。これは、干渉法の信号の性質ゆえに、測定を実施するために必要である。2つの波面の間の位相差が大きい場合、干渉パターンにおける縞が、カメラで解像できないほどに圧縮され、一部の情報が失われてしまう。波面基準を波面測定に類似させるように修正する技術は、ヌル化と称される。球面または平面の試料については、球状または平面の基準波面を得ることが容易である。しかしながら、非球面については、非球面の基準波面が必要であるため、はるかに複雑である。

30

【 0 0 1 2 】

共焦点プロフィロメトリは、共焦点顕微鏡によって実施され、試料が、きわめて小さいピンホールを通して照明され、第2の小さなピンホールの後ろに配置された光検出器で観察される。このやり方で、正確に焦点面から到来する光だけが、光検出器に到達する。焦点外の光を阻止することによって、画像が対象物の薄いセクションから到来し（浅い被写界深度）、したがって対象物について多数の薄いセクションを走査することによって、対象物のきわめて明瞭な三次元画像を作り上げることができる。

40

【 0 0 1 3 】

共焦点深さのセクション化を、試料へと投影される光の構造化されたパターンおよび焦点深度アルゴリズムを使用して得ることもできる。

【 0 0 1 4 】

国際公開第90/00754号パンフレットが、共焦点顕微鏡法へのアプローチを示している。共焦点顕微鏡は、光を検査の対象物へと焦点を合わせて対象物の表面または内部の点観察フィールドを照明するレンズへと光ビームを供給するための光源を備えている。照明された点フィールドからの反射光が、集光器によって集められ、検出器へと伝送される。走査手段が、照明される点フィールドを、対象物に対して走査パターンにて移動させる。光源から集光器へと通過する往路の光および復路の光は、光ファイバおよび戻りの光

50

を検出器へと逸らすための分光器を介して伝送される。

【 0 0 1 5 】

レーザオートフォーカス技術は、接触測定技術の光学的な均等物と考えることが可能である。しかしながら、この場合には、針の先端が、光学的な先端、すなわち顕微鏡の対物レンズの焦点によって置き換えられる。レーザオートフォーカス技術の一例では、軸外レーザビームが、分析対象の試料へと顕微鏡の対物レンズを通して出力される。試料が焦点にある場合、レーザビームが反射され、検出器の中心に達する。試料が焦点外にある場合、レーザビームは、検出器の別の領域に達する。これが検出されるときに、対物レンズが、レーザビームが再び検出器の中心に衝突するように動かされる。測定を実施するために、この技術は、試料を横切ってレーザビームを呈する光学的な先端を移動させ、測定システムと試料との間の距離が常に一定に保たれるように各々の位置において試料へ焦点を再び合わせる（オートフォーカス）。このようにして、表面のトポグラフィについての情報が、試料を常に焦点に保つようにシステムによって実施される、試料に沿った移動から得られる。

10

【 0 0 1 6 】

上述の計測技術は、複雑な表面の形状およびテクスチャを正確に評価することを可能にする。取得されたデータが、研磨システムへと届けられる補正データを得るために、設計データと比較される。前記取得されたデータは、数十から数百ナノメートルの範囲で形状仕様に一致する。

20

【 0 0 1 7 】

非球面の形状は、以下の式によって与えられ、

【 0 0 1 8 】

【数 1】

$$Z(X) = \frac{X^2/R}{1 + \sqrt{1 - (K+1)\frac{X^2}{R^2}}} + A_4X^4 + A_6X^6 + A_8X^8 + A_{10}X^{10}$$

ここで、Zが形状の座標（高さ）であり、Xが横座標である。RおよびKは、それぞれ曲率半径およびコニック定数であり、パラメータ $A_4$ 、 $A_6$ 、 $A_8$ 、 $A_{10}$ 、などは、非球面度係数である。Z(x)に関する計測の要件は、測定の再現性について  $\pm 25$  (10 nm) 程度であり、最大形状誤差（精度）について  $\pm 10$  (50 nm) 程度である。

30

【 0 0 1 9 】

しかしながら、これらの表面を非接触の技術で測定するという課題に対して、従来技術は、これまでのところ、有効な解決策を提供していない。これは、主として、測定が表面の頂点（ $X = 0$ ）から遠い点Xにおいてはるかにクリティカルになる非球面の項 $X^{2n}$ の強い非線形性ゆえである。測定の信頼性が高くなければならない点は、光学表面のより急峻な傾きの領域の点である。

40

【 0 0 2 0 】

急峻な傾きを有する研磨後の表面を有することと、ナノスケール級の必要な精度との組み合わせが、非接触の光学技術によるこれらの表面の計測を、最高の難しさの科学および技術的課題にしている。

【 0 0 2 1 】

欧州特許出願公開第1555561号明細書が、レーザプローブに対して急峻な角度にある表面の正確な測定のための非接触表面形状測定方法を開示している。レーザプローブに対して最適な測定状態から $\pm 30^\circ$ またはそれ以上に傾いている部分を含む特定の領域が、これら特定の領域内の表面が $\pm 30^\circ$ 未満となるように被加工物を回転させた後で測定される。したがって、これら特定の領域において正確に測定されたデータを、たとえ全

50

体的な領域の座標系とは異なる座標系においても得ることができる。

【 0 0 2 2 】

上述のいずれの技術からも由来する関連の問題は、高い精度が所望される場合に動作の速度が遅いことにある。さらなる欠点は、これらの方法が非連続的なことにある。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 2 3 】

【 特許文献 1 】 国際公開第 9 0 / 0 0 7 5 4 号パンフレット

【 特許文献 2 】 欧州特許出願公開第 1 5 5 5 5 6 1 号明細書

【 発明の概要 】

10

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 2 4 】

本明細書において、公差が、機械装置がもたらす機械的な変位の限界を多くの場合を超えている非球面および自由造形の光学系の表面を非接触で測定するための方法が提示される。この方法の各ステップの少なくとも一部を実施することができる装置も開示される。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 2 5 】

本発明の方法および装置は、とくには、例えば、対称であっても、あるいは対称でなくても、非球面および自由造形などのレンズなど、複雑かつ小さな物体の設計、製造、表現、および計測に適用できる。また、本発明の方法および装置は、例えば上述のレンズのための金型など、射出成型用の金型の製造にも適用できる。しかしながら、本発明の装置および方法が、上述の用途に限定されず、測定が望まれる所与の形状を有する小さな部品の表面に広く向けられることを理解できるであろう。

20

【 0 0 2 6 】

本開示の全体を通して、測定されるべき対象物を、試料、被加工物、光学部品、などと称することもある。本明細書に開示の方法に従って本発明の装置によって測定されるべき対象物の 1 つの具体例は、光学レンズである。

【 0 0 2 7 】

この文脈における表面の測定の意味が、サイズ、形状、テクスチャ（粗さ）、などから選択されるパラメータのいずれかに関する測定対象の物体のトポグラフィ的な特徴に関係

30

【 0 0 2 8 】

対象物の表面を非接触で測定するための共焦点トラッキング法が、本明細書において開示される。この方法を、さらに後述される測定装置によって実行することができる。

【 0 0 2 9 】

本方法は、光を対象物の表面の対象領域へと投影することからなる。この対象領域は、対象物の表面の第 1 の軸に少なくとも位置する基準点を含んでいる。基準点は、最良合焦位置に最も近い点である。

【 0 0 3 0 】

本明細書において使用されるとき、最良合焦位置に最も近いという条件は、そのような基準点が、対象物の表面の撮像に使用される光学系の被写界深度の範囲内にあることを意味する。

40

【 0 0 3 1 】

最良合焦点を、例えば構造化された照明にもとづく焦点深度アルゴリズムの正面感度の最大値を有する視野内の点として決定することができる。

【 0 0 3 2 】

第 1 の軸は、水平軸に相当することができる。この第 1 の軸に沿って測定される対象物の位置が変更される。これは、対象物が、詳しくは後述される測定装置の固定のヘッドに対して変位させられ、あるいはその反対に、測定装置のヘッドが、この第 1 の軸に沿って不動の測定対象物に対して変位させられる。

50

## 【 0 0 3 3 】

上記に従い、投影された光の、前記基準点を含む対象物の表面による反射後の視野領域の1つの画像を取得することからなるさらなるステップが実行される。これは、例えば標準的なCCDカメラによって実行することができる。次いで、この時点において、第2の軸における対象物の位置が割り出される。

## 【 0 0 3 4 】

第2の軸は、第1の軸に対して垂直な軸に相当することができる。したがって、測定されるべき対象物または測定装置のヘッドを、この第2の軸に沿って垂直方向に変位させることができる。

## 【 0 0 3 5 】

本明細書において使用されるとき、「画像」という用語は、空間内の特定の位置および向きにおける対象物の表面の視野領域のあらゆる複製（とりわけ、光学的な複製）の結果を指すように意図されている。「画像」は、本明細書において、写真、フレーム、ピクチャ、などと称されることもある。

## 【 0 0 3 6 】

光が対象物の表面へと第1の軸における対象物の表面のそれぞれの基準点が存在する一連の対象領域に投影されるなど、上述のステップが繰り返される。それぞれの視野領域のいくつかの画像が、投影された光の前記基準点を含む対象物の表面による反射の後で取得される。

## 【 0 0 3 7 】

この第1の軸に沿って測定される対象物の位置を変化させながら、同時に対象物の位置が第2の軸に沿って変化させられる。これは、さらに後述される共焦点トラッキングアルゴリズムの使用を通じて、基準点が最良合焦位置のできるだけ近くに常に維持されるやり方で実行される。

## 【 0 0 3 8 】

第1および第2の軸における対象物の位置が、例えば高精度の位置センサによって割り出される。位置センサは、基準点を含む視野の前記画像が取得された第2の軸における対象物の位置を測定することができる。

## 【 0 0 3 9 】

本方法の根底にある原理は、対象物の表面へと投影される光が、第1の軸に沿った光の分布を有する光のパターンである点にある。光のパターンという定義には、連続的な形態または不連続な形態のいずれかの幅広い範囲の形態が含まれるが、本方法においては、対象物の表面へと投影される測定スリットからなる構造化された光のパターンが投影されることが好ましい。本発明の意味において、測定スリットは、対象物の移動の方向（すなわち、第1の軸）に一致する線を実質的に形成する1組の光の点で形成された光の単一のスリットパターンであると理解されるべきである。

## 【 0 0 4 0 】

構造化された照明の使用が、本方法において有利である。構造化された光のパターンを投影することで、対象物における最良合焦点を視野内においてより正確に割り出すことができる。

## 【 0 0 4 1 】

本方法は、上述のように取得された画像の各々について、第1の軸に沿った最良合焦点の位置を割り出すステップをさらに含む。これは、対応する補正差を得ることを可能にする。この補正差を、最良合焦点と基準点との間の第1の軸に沿った距離と定義することができる。

## 【 0 0 4 2 】

前記補正差を含む第1の軸における基準点に関する上述パラメータと、第2の軸における対象物の位置とにより、対象物の表面の正確な表現を得ることができる。得られた対象物の表面の表現から、対象物の表面のきわめて正確な測定を得ることができる。いくつかの用途においては、この方法によって得られた対象物の表面の測定を、所定の設計データ

10

20

30

40

50



と比較することによって、補正データを得ることができ、次いで、この補正データを例えば自動機械加工装置などへ供給することができる。

#### 【0043】

本方法の第1の実施形態においては、測定される対象物の表面表現を、以下の形態

$$[(x_1 + \Delta x_1, z_1), (x_2 + \Delta x_2, z_2), \dots, (x_n + \Delta x_n, z_n)]$$

を有する曲線を形成することによって得ることができ、ここで

$(x_1, x_2, \dots, x_n)$  は、第1の軸における対象物の表面の基準点を指し、

$(z_1, z_2, \dots, z_n)$  は、第2の軸における対象物のそれぞれの位置を指し、

$(\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n)$  は、最良合焦点と基準点との間の第1の軸に沿った距離として定義される補正差または残余のトラッキング誤差を指す。この補正差を、画素単位から長さ単位へと変換することができる。補正差の値は、例えば最大1  $\mu\text{m}$  程度であってよい。

10

#### 【0044】

本方法の第2の実施形態においては、対象物の表面の表現が、ラスタ走査の実行を含むことができる。ラスタ走査は、測定スリットを第3の軸に沿って対象物の表面の種々の位置へと測定スリットを投影することからなる。第1の軸および第3の軸は、互いに垂直かつ第2の軸に対して垂直であってよい。第1および第3の軸は、例えば、測定装置が使用時に据えられる水平な平面を含むことができる。

#### 【0045】

これは、測定される対象物の表面について、以下の形態

20

$$[(x_{i1} + \Delta x_{i1}, y_i, z_{i1}), (x_{i2} + \Delta x_{i2}, y_i, z_{i2}), \dots, (x_{in} + \Delta x_{in}, y_i, z_{in})]$$

を有する三次元マップを得ることを可能にし、ここで

$i = 1, 2, \dots, m$  であり、

$(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$  は、第1の軸における対象物の表面の基準点を指し、

$(z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{in})$  は、第2の軸における対象物のそれぞれの位置を指し、

$(y_1, y_2, \dots, y_m)$  は、第3の軸における対象物のそれぞれの位置を指し、

$(\Delta x_{i1}, \Delta x_{i2}, \dots, \Delta x_{in})$  は、最良合焦点と基準点との間の第1の軸に沿った距離として定義される補正差または残余のトラッキング誤差を指す。やはり、この補正差を、対象物の表面の三次元マップを形成するために、画素単位から長さ単位へと変換することができる。補正差の値は、例えば最大1  $\mu\text{m}$  であってよい。

30

#### 【0046】

本方法の第3の実施形態においては、角度走査を通じて対象物の表面の表現を得るために、対象物を回転させることによって三次元マップを得ることができる。角度走査は、対象物の一点（例えば、対象物の回転の中心など）を通過する第4の軸を中心にして対象物を回転させることからなる。対象物の表面の全体の表現は、対象物を第4の軸を中心にして360°回転させることを必要とする。角度走査が実施される本方法のこの実施形態においては、測定スリットが、第4の軸の種々の角度位置に投影される。測定される対象物の表面について、以下の形態

40

$$[(x_{i1} + \Delta x_{i1}, \theta_i, z_{i1}), (x_{i2} + \Delta x_{i2}, \theta_i, z_{i2}), \dots, (x_{in} + \Delta x_{in}, \theta_i, z_{in})]$$

を有する三次元マップを得ることができ、ここで

$i = 1, 2, \dots, m$  であり、

$(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$  は、第1の軸における対象物の表面の基準点を指し、

$(z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{in})$  は、第2の軸における対象物のそれぞれの位置を指し、

$(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$  は、第4の軸（ $\theta$ ）における対象物のそれぞれの角度位

50

置を指し、

( $i_1$ 、 $i_2$ 、 $\dots$ 、 $i_n$ )は、最良合焦点と基準点との間の第1の軸に沿った距離として定義される補正差または残余のトラッキング誤差を指す。やはり、この補正差を、対象物の表面の三次元マップを形成するために、画素単位から長さ単位へと変換することができる。補正差の値は、例えば最大1  $\mu\text{m}$ であってよい。

【0047】

上述の実施形態のいずれにおいても、開示されたトラッキング方法は、対象物の相対位置が同時に第1の軸（好ましくは、一定の速度で）および第2の軸に沿って変化させられる共焦点トラッキング技術にもとづく。いずれの場合も、測定される対象物の位置の変化を、測定装置に対する対象物の移動、または測定される対象物に対する測定装置（あるいは、測定ヘッドなどの測定装置の一部）の移動と理解すべきである。本方法は、投影された測定スリットに沿った最良合焦位置についての情報を好都合に取り出す。

【0048】

上述のように、対象物の位置が、対象物の位置を第2の軸に沿って変化させつつ、第1の軸に沿って変化させられる。第2の軸に沿った対象物の位置のこの変化は、対象物の表面が常に焦点に位置するように実施される。これは、構造化された照明にもとづく焦点深度アルゴリズムによって実行される。このアルゴリズムは、例えば閉ループ制御にもとづくオートフォーカスアルゴリズムであってよく、より詳しくは、閉ループ比例積分微分コントローラ（PID）にもとづく制御アルゴリズムであってよい。

【0049】

このアルゴリズムにより、ひとたび対象物の表面が焦点に位置すると、その第1の軸（例えば、横方向）に沿った位置が、常に焦点に位置するように第2の軸に沿った位置を変化させつつ、変化させられる。焦点は、対象物が第1の軸に沿って移動させられるとき、実質的に視野の中心に維持される。第1の軸に沿った対象物の位置の変化は、連続的に、一定の速度で実行されることが好ましい。

【0050】

PIDにもとづく制御アルゴリズムが、第1の軸に沿った対象物の位置を変化させつつ、第2の軸に沿った対象物の位置を変化させることによって、測定される対象物を常に焦点に位置させる。いくつかの実施形態においては、PIDアルゴリズムが、産業用制御システムにおいて幅広く使用されている制御ループフィードバック機構である。PIDコントローラが、測定されるプロセス変数と所望の設定点との間の誤差を、プロセスを相応に調節することができる補正処置を計算して出力することによって、補正しようと試みる。PIDアルゴリズムは、比例、積分、および微分パラメータにて与えられる。比例パラメータが、現在の誤差への反応を決定する。積分パラメータが、最近の誤差の合計にもとづく反応を決定する。微分パラメータが、誤差の変化の速度に対する反応を決定する。PIDアルゴリズムのこれらのパラメータを調節することによって、個々のプロセスの要件に合わせて設計された制御作用を得ることができる。3つのパラメータのすべてを常に使用する必要があるわけではない。

【0051】

本方法は、視野領域の各々について、前記視野領域内の同じ所定の位置に位置する基準点を定めるステップをさらに含むことができる。

【0052】

上記開示の共焦点トラッキング法によれば、対象物の表面の2D輪郭および3Dマップの両方を、前記第1、第2、および第4の軸に対して対象物の位置を変化させることによって得ることができる。これを、さらに詳しく後述される測定装置内の駆動ユニットによって実行することができる。

【0053】

本方法の上記開示の実施形態のいずれかとの組み合わせにおいて、中心合わせステップをさらに実施することができる。この中心合わせステップは、測定スリットが対象物の頂点位置へと投影されるやり方で、測定対象物を正確に配置するために有用である場合があ

10

20

30

40

50

る。このステップは、回転対称を有する対象物の表面についてとくに重要である場合がある。

【 0 0 5 4 】

この中心合わせステップは、少なくとも2つの横スリットを顕微鏡対物レンズの焦点面へと投影するステップを含むことができる。いくつかの実施形態においては、例えば20～40本の横スリットからなる組を、例えば投影することができる。これらの横スリットは、測定スリットに平行であるように投影される。

【 0 0 5 5 】

横スリットは、互いに離れており、かつ測定スリットから離れているように投影される。このスリットの隔たりは、第3の軸に沿った距離によって与えられる。投影された個々の横スリットは、測定スリットが投影された横スリットの間に位置するやり方で、第3の軸に異なる点において交わる。測定スリットの両側に位置しており、測定スリットから両側に同じ距離だけ離れている2つの横スリットに沿った最良合焦位置の点が、第1の軸において同じ座標にあることが明らかになるまで、対象物の位置が、第3の軸に沿って変化させられる。その結果、投影された測定スリットが、対象物の頂点位置に一致する。

【 0 0 5 6 】

本方法のさらなる中心合わせステップにおいては、これに代え、あるいはこれに加えて、測定スリットが対象物の頂点位置へと投影されるように測定の対象物を配置するために、機械的な手段を使用することができる。

【 0 0 5 7 】

上述のように、本方法の諸ステップのうちの少なくとも一部を、以下に開示される非接触高精度高速測定装置によって実行することができる。この装置は、非球面から平面または自由造形の表面までの任意の光学的表面を測定することができる光学式プロファイラである。したがって、本発明の非接触測定装置は、光学式のデータストレージ、携帯電話機、デジタルカメラ、プロジェクタ、ならびに高精度の用途におけるレンズなどの幅広い範囲の用途において有用である。

【 0 0 5 8 】

本開示の装置は、投光手段を備える。この投光手段は、例えば、少なくとも1つのLED、ダイアフラム、コリメーション光学系、ミラー、光学レンズ、ビームスプリッタ、ならびに顕微鏡対物レンズを含むことができる。

【 0 0 5 9 】

本装置の投光手段は、光学レンズなどの測定の対象物の表面の対象領域へと光を投影するように適切に設計されている。投光手段によって照明されるこの対象領域が、最良合焦位置に最も近い対象物の表面の第1の軸における上述の基準点を含んでいる。

【 0 0 6 0 】

本装置の投光手段は、第1の軸に沿った光の分布を有する光のパターンを測定される対象物の表面へと投影するという目的を果たす。そのような投光手段は、顕微鏡対物レンズを含むことができる。そのような対物レンズの一例は、超長作動距離(SLWD)無限補正Nikon 100x対物レンズであってよい。この対物レンズは、0.7という大きな開口数および6.5mmの作動距離を特徴とする。最大35°の局所的な傾きを有する表面の測定が、このような大きな開口数のレンズの使用によって保証される。他方で、このような長い作動距離により、対象物の表面に衝突する恐れなく、快適な動作が可能になり、これは本方法が製造現場の作業者によって使用される場合にきわめて需要である。この100xのSLWD対物レンズは、約1μmの被写界深度を有し、したがって測定の対象物のうち、対物レンズの焦点面を中心とする1μmの領域の範囲内の部分だけに、実質的に焦点が合う。そのような光のパターンは、幅広い範囲の形態を含むことができる。しかしながら、装置が投影することができる光のパターンは、好ましくは測定スリットである。上述のように、この測定スリットを、第1の軸に沿って顕微鏡対物レンズの焦点面へと画像化することができる。測定スリットは、この特定のパターンが顕微鏡対物レンズの焦点面へと正確に投影されるように、投光手段のダイアフラムから形成される。縮小の

10

20

30

40

50

係数を、対物の倍率に応じて適用することができる。

【0061】

開示の装置は、投影された光の、対象物の表面による反射後に前記基準点を含む視野領域の画像を取得する撮像手段をさらに備える。撮像手段は、顕微鏡対物レンズおよびカメラを含むことができる。撮像手段の1つの具体例では、撮像手段が、共焦点の構成を形成するCCDカメラを含むことができる。そのような共焦点の構成においては、測定スリットが、投光手段によって、撮像手段によってCCDカメラへと画像化される平面へと画像化される。CCDカメラが、投影された光の、対象物の表面による反射後に前記基準点を含む上述の視野の画像を取得するように意図されている。本装置のカメラは、所与の時間（フレームレート）においていくつかの連続した画像（フレーム）を得ることが可能であってよい。一例においては、使用されるカメラが、少なくとも毎秒50フレーム（50fps）を得ることができる。取得された画像の各々について、投影された測定スリットに沿った最良合焦点を、構造化された照明にもとづく焦点深度アルゴリズムの正面感度の最大値を有する点を割り出すことによって得ることができる。

10

【0062】

開示の装置は、第1の軸に沿って対象物の位置を変化させるための手段をさらに備える。上記が、測定される対象物の位置の変化に関して、対象物が固定され、測定装置の1つ以上の部品が対象物に対して動かされる実施形態、測定装置の前記部品が固定され、対象物がこの部品に対して動かされる実施形態、およびこれらの実施形態の組み合わせに係る実施形態を含むことに、注意すべきである。

20

【0063】

測定装置の1つ以上の部品が固定され、対象物がこの部品に対して移動させられる一実施形態においては、第1の軸に沿って対象物の位置を変化させるための手段が、磁気リニアモータと組み合わされた少なくとも1つの高精度空気軸受ステージを備えることができる。空気軸受ステージのおかげで、対象物と装置との間に、例えば3 $\mu$ m程度の小さな空隙がもたらされる。したがって、対象物の相対位置を変化させるための手段と対象物そのものとの間に接触が存在せず、結果として対象物と装置との連続的な一定の相対移動が保証される。特定の一実施形態においては、第1の軸に沿って対象物の相対位置を変化させるための手段が、例えばAerotech社から入手することができるABL-15010という型式の行程100mmの駆動ユニットであってよい。そのような駆動ユニットの平坦さの誤差は、100nm未満である。その完全に反復的な挙動ゆえに、平坦さの誤差を約10nmにできるような較正が可能であり、これは装置に期待される精度よりも小さい値である。

30

【0064】

開示の装置は、基準点が最良合焦位置の可能なかぎり近くに維持されるという条件で、第1の軸に沿って対象物の位置を同時に変化させながら第2の軸に沿って対象物の位置を変化させる手段をさらに備える。第2の軸に沿って対象物の位置を同時に変化させるための前記手段は、少なくとも1つの交差ころ軸受ステージを備えることができる。この種の軸受を設けることは、直線性、平坦性、および線形性の測定誤差を減らすために重要である。

40

【0065】

第2の軸に沿って対象物の位置を同時に変化させるための手段は、所望の測定長さに達するまで焦点が視野の中心に最後まで維持されるように協調した移動にて、上述の閉ループアルゴリズムに従って動作する。

【0066】

さらに本装置は、前記投光手段および前記撮像手段が設けられる測定ヘッドを備える。測定ヘッドを、例えば花崗岩で作られた柱によって支持することができる。この材料は曲げ強度が高く、熱膨張がきわめて少なく、10nm程度の高精度の測定に適している。

【0067】

開示の装置は、第2の軸に沿ったそれぞれの基準点の位置を割り出すための手段をさら

50

に備える。これらは、高精度の位置センサ手段であってよく、やはり測定ヘッドに備えることができる。それらは、第2の軸に沿った対象物の相対位置を正確に割り出すために適している。いくつかの実施形態においては、例えば高精度リニアエンコーダなど、高精度の位置エンコーダを、第1および第2の軸の両方における位置を割り出すために使用することができる。

#### 【0068】

本装置の好ましい実施形態においては、本装置は、測定スリットが対象物の頂点位置へと投影されるやり方にて、測定の対象物を配置するための中心合わせ手段をさらに備えることが考えられる。これを、中心合わせ手段を使用することによって行なうことができる。一実施形態においては、中心合わせ手段は、少なくとも2つの横スリットを、それぞれの側方軸に沿って顕微鏡対物レンズの焦点面へと投影するための手段を備えることができる。これらの側方軸は、第1の軸と平行であってよい。横スリットは、第3の軸に沿って所与の距離だけ互いに離れるようなやり方で顕微鏡対物レンズの焦点面へと投影される。横スリットは、測定スリットが横スリットの間に位置するように投影される。中心合わせ手段は、測定スリットの両側に位置して測定スリットから同じ距離だけ離れている2つの横スリットに沿った最良合焦位置の点が、第1の軸において同じ座標にあることが明らかになるまで、対象物の位置を第3の軸に沿って変化させるための手段をさらに備えることができる。

#### 【0069】

本装置によって、対象物の表面のラスタ走査を、上述の方法に従って実行することができる。ラスタ走査は、対象物の横並びの掃引を含み、すなわち第2の軸に沿って対象物の位置を変化させながら第3の軸に沿って対象物の位置を変化させることを含む。ラスタ走査が、対象物の表面の表現を得ることを可能にする。この目的のため、第3の軸に沿って対象物の位置を変化させるための手段が、さらに設けられる。

#### 【0070】

本装置は、対象物の表面の表現を得るために、上述の方法に従って対象物（とくには、回転対称を有する対象物の表面）の角度走査を実施することができる。これは、対象物の一点（例えば、対象物の回転中心など）を通過する第4の軸を中心として対象物の角度位置を変化させることを含む。1つの特定の実施形態においては、対象物が、測定スリットが第4の軸の種々の角度位置に投影されるように回転させられる。したがって、装置は、第4の軸を中心にして対象物を回転させるための適切な手段を備える。ラスタ走査と同様に、角度走査は、対象物の表面の三次元マップを得ることを可能にする。

#### 【0071】

開示の装置は、いくつかの利点を提供する。共焦点の構成の使用が、大きな開口数の対物レンズとの組み合わせにおいて、対物レンズに応じて2 nmよりも良好となりうる、対象物の表面のきわめて高い深さ区分能力を提供する。

#### 【0072】

本装置の中心合わせ手段は、2つの最良合焦点がそれぞれの横スリットに沿って同じ位置に位置していることを判断する以外にいかなる測定も実行する必要なく、対象物の頂点を自動的に割り出すことを可能にする。

#### 【0073】

一般に、本発明の非接触表面計測装置は、単一の点にもとづく方法ではなく、構造化された照明の全体パターンにもとづいた画像にもとづく方法である開示の方法を実行するために適しているということを活用する。構造化された照明の使用は、視野内の焦点に位置する点をはるかに正確に割り出すことを可能にする。

#### 【0074】

さらに、上述の方法のステップのうちの少なくとも一部を、本装置によって連続的なやり方で実行することができ、したがって使用時に停止することがない。1 mm / s およびさらに高速な測定速度を実現することができる。

#### 【0075】

10

20

30

40

50

開示の方法および装置は、たとえカメラに入射する反射光の強度がきわめて弱い急な局所的な傾きを有する領域においても、複雑な表面において、きわめて効果的であることが明らかになっている。試料の形状に応じて、最大 $65^\circ$ の傾きを測定することができる顕微鏡対物レンズを使用することができる。

【0076】

本方法および装置のさらなる利点は、 $10\text{ nm}$ 程度という測定の高い再現性、 $50\text{ nm}$ 程度という形状精度における小さな誤差、約 $1\text{ mm/s}$ を超える高速性、ならびに得られたデータを分析する能力である。

【0077】

本方法および装置の実施形態のさらなる目的、利点、および特徴が、本明細書を検討することによって当業者にとって明らかになり、あるいは本発明を実施することによって学習可能である。

【0078】

本方法および装置の特定の実施形態を、以下で本発明を限定するものではない例として、添付の図面を参照して説明する。

【図面の簡単な説明】

【0079】

【図1】対象物の表面を非接触で測定するための装置の例示的な一実施形態の概略の側面図である。

【図2a】対象物の表面を非接触で測定するために実施される方法のある段階について示された図1の装置の概略図である。

【図2b】対象物の表面を非接触で測定するために実施される方法の別の段階について示された図1の装置の概略図である。

【図3】図2aの一部分を拡大した概略の上面図である。

【発明を実施するための形態】

【0080】

諸図面が、非接触高精度高速測定装置の例示的な一実施形態を示している。図面の図1に示されている装置の例（ただし、これに限られるわけではない）の全体が、100で指し示されている。装置は、任意の光学表面を測定することができる光学式プロファイラである。多数の用途において有用であるが、この例は、レンズの表面の非接触測定のための測定装置100に関する。本明細書では、レンズの全体が、図面において300で指し示されている。

【0081】

測定装置100は、1つまたは一連のLED111を含む投光手段110を備えている。図示の装置100のそのような投光手段110は、構造化された光のパターンmを、ダイアフラム112を通してレンズ300の対象領域へと投影するために適している。図1に示されるとおり、投光手段110は、コリメーション光学系113、 $45^\circ$ ミラー114、光学レンズ115、ビームスプリッタ116、および顕微鏡対物レンズ150をさらに備えている。

【0082】

レンズ300の対象領域が、基準点 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ を含んでおり、そのうちの1つの基準点 $X_1$ が、図面の図2aおよび図2bに示されている。基準点 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ は、レンズ300の水平軸xにある。基準点 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ は、図面にPで示されている最良合焦位置に最も近い基準点であり、すなわちレンズ300の表面の画像を得るために使用される光学系150の被写界深度の範囲内の基準点である。図示の装置100の投光手段110によって投影される構造化された光の上述のパターンは、図面の図2a、図2b、および図3に示されるとおりの測定スリットmの形態の水平軸xに沿った光の分布を有する。

【0083】

したがって、測定スリットmは、水平軸xに沿った顕微鏡対物レンズ150の焦点面へ

10

20

30

40

50

と投影される。使用される対物レンズ150は、0.7という大きな開口数および6.5 mmの作動距離を有する超長作動距離(SLWD)無限補正Nikon 100x 対物レンズである。この100x SLWD対物レンズは、約1  $\mu$ mの被写界深度を有し、したがって測定の対象物のうち、対物レンズ150の焦点面を中心とする1  $\mu$ mの領域の範囲内の部分だけに、実質的に焦点が合う。

【0084】

測定装置100は、図示の特定の例では50 fps程度のフレームレートのCCDカメラ121を備える撮像手段120をさらに備えている。取得される画像の各々について、投影された測定スリットmに沿った最良合焦点Pを、構造化された照明にもとづく焦点深度アルゴリズムの正面感度の最大値を有する点を割り出すことによって、得ることができる。カメラ121は、投影された光の、レンズ300の表面による反射後の基準点 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ を含む視野領域Fの画像を取得することができる。

10

【0085】

撮像手段120は、上述の顕微鏡レンズ(投光手段110および撮像手段120の両者によって共有されている)と、ミラー117と、視野レンズ118とをさらに備えている。ビームスプリッタ116が、投光手段110を撮像手段120に結合させている。

【0086】

測定装置100は、水平軸xに沿ってレンズ300の位置を変化させ、すなわちレンズ300を横方向に変位させるための手段130をさらに備えている。

【0087】

20

さらに測定装置100は、測定ヘッド160を垂直軸zに沿って変位させ、すなわち基準点 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ が図2a、図2b、および図3に示されるように最良合焦位置Pの可能な限り近くに保たれるように測定ヘッド160を垂直軸zに沿って垂直方向に変位させるための手段140を備えている。

【0088】

水平軸xに沿ってレンズ300の位置を変化させる手段130は、少なくとも1つの高精度空気軸受ステージを備える。使用されるステージは、Aerotech社から入手することができるABL-15010という型式の行程100 mmの駆動ユニットである。

【0089】

垂直軸zに沿ったレンズ300の位置を同時に変化させるための手段140については、図示の実施形態においては、1つ以上の交差ころ軸受ステージを備える。

30

【0090】

両方の手段130、140を設けることで、閉ループのトラッキングアルゴリズムに従って、基準点 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ が最良合焦位置Pのできるだけ近くに保たれるように、測定ヘッド160を軸zに沿って垂直に移動させると同時に、レンズ300を軸xに沿って水平に移動させることができる。

【0091】

さらに装置100は、垂直軸zにおける基準点 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_n$ の位置 $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $\dots$ 、 $Z_n$ を割り出すための手段170を備えている。さらに、水平軸xにおけるレンズ300の位置を割り出すための手段も備えている。レンズ300の位置を割り出すための手段のすべてまたは一部は、高精度の線形アクチュエータを備えることができる。

40

【0092】

垂直軸zにおける点 $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $\dots$ 、 $Z_n$ が、装置100によって測定されているレンズ300の点の垂直位置に関係していることに注意すべきである。この点に関し、垂直軸zに沿ってレンズ300の位置を変化させるための手段140が、軸zに沿った、測定ヘッドの垂直変位を引き起こし、結果としてレンズ300の点 $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $\dots$ 、 $Z_n$ (上述のトラッキングアルゴリズムによって焦点に位置している点に相当する)を前記軸zに沿って変化させる。

【0093】

50

投光手段 1 1 0 および撮像手段 1 2 0 の両者は、測定装置 1 0 0 に設けられた測定ヘッド 1 6 0 に入れられている。この測定ヘッド 1 6 0 は、より高精度な測定のために、花崗岩の柱（図示されていない）によって支持されている。

#### 【 0 0 9 4 】

上記開示の装置 1 0 0 を、レンズ 3 0 0 の非接触高精度高速測定を実行するために、以下のステップ、すなわち

- ・図面の図 2 a に示されるように、測定スリット m を、測定対象のレンズ 3 0 0 の表面の対象領域へと、最良合焦位置 P に最も近い水平軸 x における基準点  $X_1$  が存在するように投影するステップ、

- ・投影された光の、前記基準点  $X_1$  を含むレンズ 3 0 0 の表面による反射後の視野領域 F に対応する 1 つの画像を取得するステップ、

- ・垂直軸 z におけるレンズ 3 0 0 の垂直位置  $Z_1$  を割り出すステップ、

- ・測定スリット m を、レンズ 3 0 0 の表面へと、前記水平軸 x におけるレンズ 3 0 0 のそれぞれの基準点  $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_n$  が存在する一連の対象領域に投影するステップ

- ・図 2 a または 2 b に示されるように、基準点  $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_n$  を最良合焦位置 P のできるだけ近くに維持しつつ、垂直軸 z に沿って測定ヘッド 1 6 0 の垂直位置  $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $\dots$ 、 $Z_n$  を同時に変化させることによって、投影された光の、基準点  $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_n$  を含むレンズ 3 0 0 の表面による反射後のそれぞれの視野領域 F のいくつかの画像を取得するステップ、

- ・基準点  $X_2$ 、 $X_3$ 、 $\dots$ 、 $X_n$  を含む視野領域 F の画像の取得を行なったレンズ 3 0 0 のそれぞれの該当位置について垂直位置  $Z_2$ 、 $Z_3$ 、 $\dots$ 、 $Z_n$  を割り出すステップ

- ・取得された画像の各々について水平軸 x に沿った最良合焦点 P の位置を割り出すステップ、

- ・図面の図 3 に示されるように、それぞれの補正差  $\delta_1$ 、 $\delta_2$ 、 $\dots$ 、 $\delta_n$  を、最良合焦点 P と基準点  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $\dots$ 、 $X_n$  との間の水平軸 x に沿った距離として算出するステップ（その後、補正差  $\delta_1$ 、 $\delta_2$ 、 $\dots$ 、 $\delta_n$  は、画素単位から最大  $1 \mu m$  程度の長さ単位へと変換される）、および

- ・補正差  $\delta_1$ 、 $\delta_2$ 、 $\dots$ 、 $\delta_n$  を含む水平軸 x における基準点  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $\dots$ 、 $X_n$  と、垂直軸 z におけるレンズ 3 0 0 の垂直位置  $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $\dots$ 、 $Z_n$  とによって、レンズ 3 0 0 の表面の表現を得るステップ  
を実行するように動作させることができる。

#### 【 0 0 9 5 】

測定装置 1 0 0 は、上述の方法のステップに従って動作させられるとき、レンズ 3 0 0 の表面の 2 D 輪郭をもたらすことができる。より具体的には、測定装置 1 0 0 が、以下の曲線、すなわち  $[(x_1 + \delta_1, Z_1)]$ 、 $[(x_2 + \delta_2, Z_2)]$ 、 $\dots$ 、 $[(x_n + \delta_n, Z_n)]$  によるレンズ 3 0 0 の表面の正確な輪郭をもたらすことができる。

#### 【 0 0 9 6 】

さらに、測定装置 1 0 0 は、上述の方法のステップに従って動作させられるとき、レンズ 3 0 0 の 3 D マップをもたらすことができる。より具体的には、測定装置 1 0 0 が、

- ・測定スリットが、第 1 の軸 x に垂直な第 3 の軸 y の種々の位置  $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $\dots$ 、 $Y_m$  に投影されるラスタ走査を実行することによって、レンズ 3 0 0 の表面の三次元マップ  $[(x_{i1} + \delta_{i1}, Y_i, Z_{i1})]$ 、 $[(x_{i2} + \delta_{i2}, Y_i, Z_{i2})]$ 、 $\dots$ 、 $[(x_{in} + \delta_{in}, Y_i, Z_{in})]$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) によるレンズ 3 0 0 の表面の正確な表現をもたらすことができ、

- ・測定スリットがレンズ 3 0 0 を通過する第 4 の軸の種々の角度位置  $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\dots$ 、 $\theta_m$  に投影されるように、レンズ 3 0 0 をレンズ 3 0 0 の回転中心を通過する軸を中心にして回転させることからなる角度走査を実行することによって、レンズ 3 0 0 の表面の三次元マップ  $[(x_{i1} + \delta_{i1}, \theta_i, Z_{i1})]$ 、 $[(x_{i2} + \delta_{i2}, \theta_i, Z_{i2})]$



、・・・、 $(i_n + i_n, i, Z_{in})$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) によるレンズ 300 の表面の表現をもたらすことができる。

【0097】

最良適合および/または公称形状比較分析などの適切な曲線分析ソフトウェアを、レンズ 300 の 2D 輪郭および 3D マップを処理するために使用することができる。このソフトウェアは、装置 100 の一部であってよく、遠方に位置するコンピュータシステムから動作されてもよい。

【0098】

本発明の装置および方法について、いくつかの特定の実施形態および例だけを本明細書において開示したが、それらの実施形態および例について、他の代案の実施形態および/または使用、ならびに自明な変更および均等物が可能であることを、当業者であれば理解できるであろう。

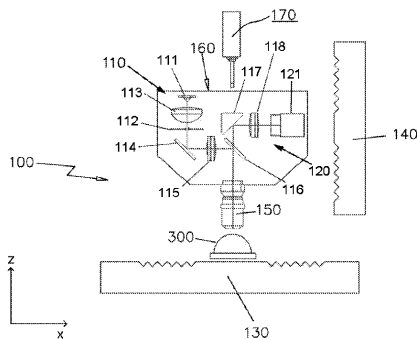
【0099】

本発明は、本明細書に記載の個々の実施形態の可能なすべての組み合わせを包含し、したがって特定の実施形態によって限定されるものではなく、むしろ以下の特許請求の範囲の公正な解釈によってのみ決定されなければならない。

10

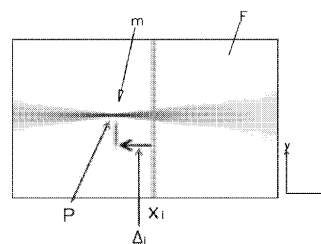
【図 1】

FIG.1



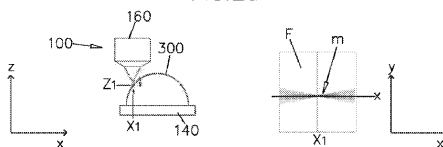
【図 3】

FIG.3



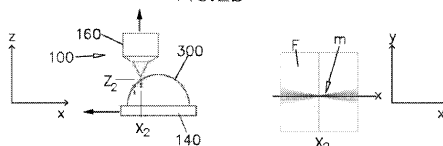
【図 2 a】

FIG.2a



【図 2 b】

FIG.2b



---

フロントページの続き

- (72)発明者 アルティガス パルサルス, ロヘル  
スペイン国 エ - 0 8 1 8 7 サンタ エウラリア デ ロンサナ, カン プイグ デ ラ バ  
ル, シン ヌメロ
- (72)発明者 カデヴァル アルティグエス, クリスティーナ  
スペイン国 エ - 0 8 2 2 3 テラサ, カレル プリム, 9 2, エスカレラ デー, 4 オ  
ー 4 アー

## 合議体

審判長 清水 稔

審判官 中塚 直樹

審判官 関根 洋之

- (56)参考文献 特開 2 0 1 0 - 2 1 6 9 3 9 ( J P , A )  
特開 2 0 0 0 - 2 7 5 0 2 7 ( J P , A )  
特開平 9 - 2 0 3 6 1 8 ( J P , A )

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G01B 11/00-11/30