

(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2004-156981
(P2004-156981A)

(43) 公開日 平成16年6月3日(2004.6.3)

(51) Int.Cl.⁷
G 0 1 B 11/24

F I
G O 1 B 11/24

K

テーマコード (参考)
2 F O 6 5

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 9 頁)	
(21) 出願番号 (22) 出願日	特願2002-322026 (P2002-322026) 平成14年11月6日 (2002. 11. 6)
(71) 出願人	000004112 株式会社ニコン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(74) 代理人	100091557 弁理士 木内 修
(72) 発明者	西村 宏 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内
(72) 発明者	大森 健雄 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内
Fターム(参考)	2F065 AA24 AA54 BB05 DD04 EE03 FF04 FF41 GG03 GG04 HH03 JJ03 LL12 LL17 LL30 LL59 PP02 PP24 QQ31

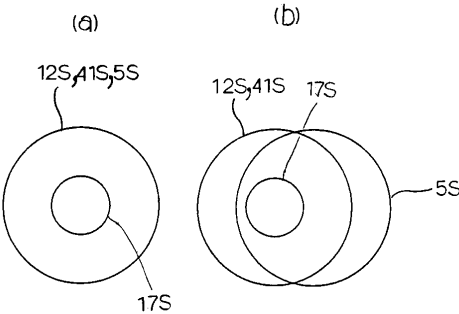
(54) 【発明の名称】 形状測定装置

(57) 【要約】

【課題】被検物の全面で均一な光量を得ることができる形状測定装置を提供する。

【解決手段】光源からの光を被検物に照射する照明光学系と、光源から射出された光を被検物に集光させる対物レンズと、被検物の像を形成する結像レンズと、対物レンズの集光位置を光軸方向に相対移動させる集光位置変更手段とを備えている形状測定装置において、対物レンズの瞳41Sの径及び照明光学系の瞳12Sの径を対物レンズの瞳41S上で結像レンズの瞳17Sの径より大きくした。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光源からの光を被検物に照射する照明光学系と、
前記光源から射出された光を前記被検物に集光させる対物レンズと、
前記被検物の像を形成する結像レンズと、
前記対物レンズの集光位置を光軸方向に相対移動させる集光位置変更手段とを備え、
前記対物レンズの瞳径及び前記照明光学系の瞳径は前記対物レンズの瞳上で前記結像レンズの瞳径より大きいことを特徴とする形状測定装置。

【請求項 2】

光源からの光を被検物に照射する照明光学系と、
前記光源から射出された光を前記被検物に集光させる対物レンズと、
前記被検物の像を形成する結像レンズと、
前記対物レンズの集光位置を光軸方向に相対移動させる集光位置変更手段とを備え、
前記対物レンズの瞳径及び前記結像レンズの瞳径は前記対物レンズの瞳上で前記照明光学系の瞳径より大きいことを特徴とする形状測定装置。

【請求項 3】

前記照明光学系の瞳径を変化させることができる第 1 の瞳径可変手段と、
前記結像レンズの瞳径を変化させることができる第 2 の瞳径可変手段と
を備えていることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の形状測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は形状測定装置に関し、特に被検物の高さの測定に好適な形状測定装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

【0003】

【特許文献】

特開 2002 - 13917 号公報

【0004】

従来の形状測定装置としては、コンフォーカル光学系を用いて微小物体の三次元形状を測定するものが知られている。

【0005】

この形状測定装置は、光源と、ニポウディスクと、対物レンズと、対物レンズの集光位置を光軸方向に相対移動させる集光位置変更機構と、結像レンズと、撮像素子とを備えている。集光位置変更機構は直角ミラーとコーナーキューブプリズムとコーナーキューブプリズムを駆動する駆動部とで構成されている。

【0006】

光源から出射した照明光はコレクタレンズを通り、ハーフミラーで反射された後、ニポウディスクの上面に照射される。この照明光のうちピンホールを通過した照明光だけが集光位置変更機構に達し、対物レンズによって被検物の焦点面に集光される。

【0007】

被検物からの反射光は対物レンズ、集光位置変更機構へと進み、対物レンズによってニポウディスクのピンホールに焦点が結ばれる。このとき、共焦点効果によって被検物の焦点面で反射された光だけがピンホールを通過する。

【0008】

ピンホールを通過した光束はハーフミラーを通った後、結像レンズによって撮像素子の撮像面に結像される。

【0009】

このとき、集光位置変更機構によってピンホールから被検物までの光路長を連続的に変え

10

20

30

40

50

、それぞれの焦点位置で被検物の画像を取得する。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、この形状測定装置には被検物の傾いた部分（光軸に対して傾いている部分）を観察するときに次のような問題がある。

【0011】

図5（a）は従来の形状測定装置の照明光と反射光との関係を説明する図、図5（b）は図5（a）に示す対物レンズの瞳上における照明光と反射光との関係を説明する図である。

【0012】

対物レンズ141を通った照明光は図5（a）に実線で示したように被検物105の傾いた部分に集光され、反射される。反射光は図5（a）に点線で示したように照明光に対して傾いて対物レンズ141へ戻っていく。

【0013】

ここで、対物レンズ141の瞳上で照明光学系の瞳112S、対物レンズ141の瞳141Sの径が等しい場合を考える（図5（b）参照）。

【0014】

対物レンズ141の瞳141Sの直径 d_{141} は、 $d_{141} = 2 \times f \times NA$ で表される。ここで、 f は対物レンズの焦点距離、 NA は対物レンズの開口数である。

【0015】

また、照明光学系の瞳112Sの直径 d_{112} は、 $d_{112} = \frac{1}{M} \times d_{13}$ で表される。ここで、 M は照明系の絞りから対物瞳までの倍率であり、 d_{13} は照明系の絞りの直径である。

【0016】

被検物105に傾きがあるとき、反射光105Sは図5（b）に示すように対物レンズ141の瞳141S及び照明光学系の瞳112Sからシフトし、斜線で示した結像に寄与しない成分Aが生じる。ここで、シフト量 h は、 $h = f \times \sin \theta$ で表される。 θ は図5（a）に示す主光線の反射角度である。

【0017】

そのため、結像に寄与する成分が小さくなり、被検物105の傾いた部分の光量が小さくなって場合によっては検出できなくなり、高さ方向の情報の欠落により撮像面で得られる像に欠けが発生することがある。

【0018】

この発明はこのような事情に鑑みてなされたもので、その課題は被検物の全面で均一な光量を得ることができる形状測定装置を提供することである。

【0019】

【課題を解決するための手段】

前述の課題を解決するため請求項1記載の発明は、光源からの光を被検物に照射する照明光学系と、前記光源から射出された光を前記被検物に集光させる対物レンズと、前記被検物の像を形成する結像レンズと、前記対物レンズの集光位置を光軸方向に相対移動させる集光位置変更手段とを備え、前記対物レンズの瞳径及び前記照明光学系の瞳径は前記対物レンズの瞳上で前記結像レンズの瞳径より大きいことを特徴とする。

【0020】

請求項2記載の発明は、光源からの光を被検物に照射する照明光学系と、前記光源から射出された光を前記被検物に集光させる対物レンズと、前記被検物の像を形成する結像レンズと、前記対物レンズの集光位置を光軸方向に相対移動させる集光位置変更手段とを備え、前記対物レンズの瞳径及び前記結像レンズの瞳径は前記対物レンズの瞳上で前記照明光学系の瞳径より大きいことを特徴とする。

【0021】

請求項3記載の発明は、請求項1又は2記載の形状測定装置において、前記照明光学系の

10

20

30

40

50

瞳径を変化させることができる第１の瞳径可変手段と、前記結像レンズの瞳径を変化させることができる第２の瞳径可変手段とを備えていることを特徴とする。

【００２２】

【発明の実施の形態】

以下、この発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。

【００２３】

図１はこの発明の第１実施形態に係る形状測定装置の全体構成を示す図である。

【００２４】

この形状測定装置１は、光源１１と、コレクタレンズ１２と、絞り１３と、ハーフミラー１４と、第１リレーレンズ１５ａと、ニポウディスク２０と、直角ミラー３１と、コーナキューブレフレクタ３２と、コーナーキューブ駆動装置３３と、対物レンズ４１と、絞り１６と、第２リレーレンズ１５ｂと、アパーチャ１８と、ディテクタ５０とを備えている。第１リレーレンズ１５ａと第２リレーレンズ１５ｂとから結像光学系を構成する結像レンズ１７が構成される。

10

【００２５】

光源１１は照明光を出射する。光源１１としては、例えばレーザ、Xeランプ、Heランプ、Neランプ、Arランプ等のアークランプを使用することができる。

【００２６】

コレクタレンズ１２は照明光学系９を構成し、光源１１から出射された光を平行光とする。

20

【００２７】

絞り１３は対物レンズ４１の瞳と共役な位置に配置され、照明光学系９の瞳径を変化させる。

【００２８】

ハーフミラー１４は照明光を反射させるが被検物５からの反射光を透過させる。

【００２９】

ニポウディスク２０にはハーフミラー１４で反射され、第１リレーレンズ１５ａを透過した光を通過させる同じ径の複数のピンホール２１が所定の間隔で螺旋状に形成されている。ニポウディスク２０はモータ２５によって駆動される。

【００３０】

直角ミラー３１はピンホール２１を通過した照明光及び被検物５からの反射光の方向を変える。

30

【００３１】

コーナキューブレフレクタ３２は３つの互いに直角の面と直角三角形の斜辺の面を持ったプリズムである。傾斜面に入射した光は３つの面で反射され、反転して入射光に対して平行に傾斜面から出射される。

【００３２】

このコーナキューブレフレクタ３２をコーナーキューブ駆動装置３３によって矢印に示すように移動させることによって被検物５を光軸方向へスキャンすることができるため、被検物５に向かって照明光を選択的に集光させることができる。

40

【００３３】

直角ミラー３１、コーナキューブレフレクタ３２及びコーナーキューブ駆動装置３３で集光位置変更手段が構成される。

【００３４】

対物レンズ４１はテレセントリックなレンズであり、対物レンズ４１を通過して被検物５に照射される光の主光線は光軸に平行となる。

【００３５】

絞り１６は対物レンズ４１の瞳と共役な位置に配置され、結像レンズ１７の瞳径を変化させる。

【００３６】

50

アパーチャ 18 に形成されたピンホール 18 a は散乱光等の進入を制限する。

【0037】

アパーチャ 18 を備えるディテクタ 50 はニポウディスク 20 のピンホール 21 が結像する位置に配置され、ディテクタ 50 にはピンホール 21 を透過する光の強度に応じた画像が形成される。

【0038】

次に、上記構成の形状測定装置の動作を説明する。

【0039】

光源 11 から出射された照明光は、コレクタレンズ 12 によって平行光とされ、絞り 13、ハーフミラー 14、第 1 リレーレンズ 15 a を経て、ニポウディスク 20 の上面に照射される。 10

【0040】

照射範囲に含まれる複数のピンホール 21 を通過した光束はそれぞれ直角ミラー 31 の上側の反射面 31 a で反射されてコーナキューブレフレクタ 32 に入射し、コーナキューブレフレクタ 32 で複数回反射された後、入射光と平行な照明光として直角ミラー 31 に戻され、直角ミラー 31 の下側の反射面 31 b で反射されて対物レンズ 41 に入射し、対物レンズ 41 で被検物 5 上に集光される。

【0041】

なお、ニポウディスク 20 の複数のピンホール 21 をそれぞれ通過した光束はいずれも直角ミラー 31 及びコーナキューブレフレクタ 32 で反射され、対物レンズ 41 で被検物 5 上の異なる位置にそれぞれ集光される。 20

【0042】

したがって、被検物 5 上には光源 11 からの複数の光束によって複数の光スポットが形成される。

【0043】

被検物 5 の複数の光スポットからの反射光束はそれぞれ対物レンズ 41、直角ミラー 31 の下側の反射面 31 b、コーナキューブレフレクタ 32、直角ミラー 31 の上側の反射面 31 a の順に照明光とは逆方向へ進み、ピンホール 21 に焦点が結ばれる。

【0044】

このとき、共焦点効果によって光スポットで反射された光だけがピンホール 21 を通過し、散乱光等はピンホール 21 に焦点が合わないため、除去される。 30

【0045】

ピンホール 21 を通過した反射光束は結像レンズ 17 に入射する。結像レンズ 17 に入射した反射光束はそれぞれ第 1 リレーレンズ 15 a と第 2 リレーレンズ 15 b と絞り 16 とによりディテクタ 50 上に集光され、ディテクタ 50 上に 2 次元像が形成される。

【0046】

このとき、コーナキューブ駆動装置 33 を駆動して得られる焦点位置の異なる複数の画像が図示しない画像処理装置に入力され、入力された画像データから被検物 5 の立体形状が画像処理装置によって演算される。

【0047】

図 2 はこの発明の第 1 実施形態に係る形状測定装置の対物レンズの瞳上における対物レンズの瞳径と照明光学系の瞳径と結像レンズの瞳径との関係を示す図であり、図 2 (a) は被検物の平坦な部分を見た場合であり、図 2 (b) は被検物の傾いた部分を見た場合である。 40

【0048】

照明光学系 9 の瞳 12 S の径は絞り 13 (図 1 参照) によって対物レンズ 41 の瞳 41 S の径と一致するように絞られている。

【0049】

また、結像レンズ 17 の瞳 17 S の径は絞り 16 (図 1 参照) によって対物レンズ 41 の瞳 41 S の径及び照明光学系の瞳 12 S の径より小さくなるように絞られている。 50

【 0 0 5 0 】

被検物 5 (図 1 参照) の平坦な部分を見た場合、反射光 5 S は照明光に対して傾くことなく対物レンズ 4 1 に戻るため、反射光 5 S は対物レンズ 4 1 の瞳 4 1 S 及び照明光学系 9 の瞳 1 2 S からシフトしない (図 2 (a) 参照) 。

【 0 0 5 1 】

被検物 5 の傾いた部分を見た場合、反射光 5 S は照明光に対して傾いて対物レンズ 4 1 に戻るため、反射光 5 S は対物レンズ 4 1 の瞳 4 1 S 及び照明光学系 9 の瞳 1 2 S からシフトする (図 2 (b) 参照) 。

【 0 0 5 2 】

このとき、結像レンズ 1 7 の瞳 1 7 S の全域が反射光 5 S によってカバーされ、ディテクタ 5 0 上に結像される。 10

【 0 0 5 3 】

ここで、被検物からの反射光の対物レンズの光軸から最も離れた最外光線と対物レンズの光軸との角度を θ とし、対物レンズの瞳径が $2h = f \sin \theta_{max}$ で表されるとき、被検物からの反射角度が θ_{max} 以下である反射光は全て光量損失なく検出することができる。

【 0 0 5 4 】

この第 1 実施形態によれば、被検物 5 に傾きがある場合であっても従来例のように結像に寄与しない成分が生じないので、被検物 5 の広い範囲で均一な光量を得ることができる。その結果、被検物 5 の傾いた部分の光量が小さくなって高さ方向の情報の欠落によりディテクタ 5 0 の撮像面で得られる像に欠けが発生することを防止できる。 20

【 0 0 5 5 】

図 3 はこの発明の第 2 実施形態に係る形状測定装置の対物レンズの瞳上における対物レンズの瞳径と照明光学系の瞳径と結像レンズの瞳径との関係を示す図であり、図 3 (a) は被検物の平坦な部分を見た場合であり、図 3 (b) は被検物の傾いた部分を見た場合である。

【 0 0 5 6 】

結像レンズ 1 7 の瞳 5 7 S の径は絞り 1 6 (図 1 参照) によって対物レンズ 4 1 の瞳 8 1 S の径と一致するように絞られている。

【 0 0 5 7 】

また、照明光学系の瞳 5 2 S の径は絞り 1 3 (図 1 参照) によって対物レンズ 4 1 の瞳 8 1 S 及び結像レンズ 1 7 の瞳 5 7 S の径より小さくなるように絞られている。 30

【 0 0 5 8 】

被検物 5 の平坦な部分を見た場合、反射光 4 5 S は照明光に対して傾くことなく対物レンズ 4 1 に戻るため、反射光 4 5 S は照明光学系の瞳 5 2 S からシフトしない (図 3 (a) 参照) 。

【 0 0 5 9 】

被検物 5 の傾いた部分を見た場合、反射光 4 5 S は照明光に対して傾いて対物レンズ 4 1 に戻るため、反射光 4 5 S は照明光学系の瞳 5 2 S からシフトする (図 3 (b) 参照) 。

【 0 0 6 0 】

このとき、反射光 4 5 S の全域は結像レンズ 1 7 の瞳 5 7 S 及び対物レンズ 4 1 の瞳 8 1 S によってカバーされ、ディテクタ 5 0 上に結像される。 40

【 0 0 6 1 】

この第 2 実施形態によれば、第 1 実施形態と同様の効果を奏する。

【 0 0 6 2 】

図 4 はこの発明の他の実施形態に係る形状測定装置の全体構成を示す図であり、前述の実施形態と共通する部分には同一符号を付してその説明を省略する。

【 0 0 6 3 】

この形状測定装置 1 0 は、絞り 1 3 を駆動して照明光学系 9 の瞳径を変化させる第 1 の駆動装置 (第 1 の瞳径可変手段) 1 3 D と、絞り 1 6 を駆動して結像レンズ 1 7 の瞳径を変 50

化させる第2の駆動装置（第2の瞳径可変手段）16Dと、第1の駆動装置13D及び第2の駆動装置16Dの駆動を制御するコントローラ60とを備えている点で前述の形状測定装置1と相違する。

【0064】

ところで、被検物5の空間周波数の高い成分が多い限界解像に近いときには、 >1 （インコヒーレント）で画像のコントラストが高くなり、被検物の空間周波数の低い成分が多いときには、 <1 （部分的コヒーレント）で画像のコントラストが高くなることが知られている。

【0065】

ここで、 $\gamma = (\text{照明光学系の瞳径}) / (\text{結像光学系の瞳径})$ である。

10

【0066】

したがって、第1実施形態の構成は >1 （インコヒーレント）であり、第2実施形態の構成は <1 （部分的コヒーレント）である。

【0067】

コントローラ10は、被検物5の空間周波数の高い成分が多いと判断した場合、第1の駆動装置13D及び第2の駆動装置16Dへ制御信号を出力し、図2に示す関係（照明光学系の瞳径 $>$ 結像光学系の瞳径）が構築されるように第1の駆動装置13D及び第2の駆動装置16Dを駆動する。

【0068】

また、コントローラ10は、被検物5の空間周波数の低い成分が多いと判断した場合、第1の駆動装置13D及び第2の駆動装置16Dへ制御信号を出力し、図3に示す関係（照明光学系の瞳径 $<$ 結像光学系の瞳径）が構築されるように第1の駆動装置13D及び第2の駆動装置16Dを駆動する。

20

【0069】

なお、上記判断は例えば被検物5の面形状の周波数解析に基づいて行われる。

【0070】

【発明の効果】

以上に説明したようにこの発明の形状測定装置によれば、被検物の全面で均一な光量を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

30

【図1】図1はこの発明の第1実施形態に係る形状測定装置の全体構成を示す図である。

【図2】図2はこの発明の第1実施形態に係る形状測定装置の対物レンズの瞳上における対物レンズの瞳径と照明光学系の瞳径と結像レンズの瞳径との関係を示す図である。

【図3】図3はこの発明の第2実施形態に係る形状測定装置の対物レンズの瞳上における対物レンズの瞳径と照明光学系の瞳径と結像レンズの瞳径との関係を示す図である。

【図4】図4はこの発明の他の実施形態に係る形状測定装置の全体構成を示す図である。

【図5】図5（a）は従来の形状測定装置の照明光と反射光との関係を説明する図、図5（b）は図5（a）に示す対物レンズの瞳上における照明光と反射光との関係を説明する図である。

【符号の説明】

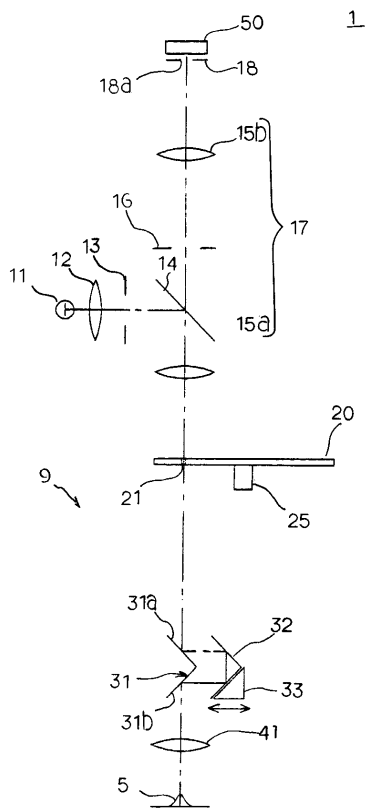
40

- 5 被検物
- 11 光源
- 12 コレクタレンズ
- 13D 第1の駆動装置（第1の瞳径可変手段）
- 15 第1リレーレンズ
- 16D 第2の駆動装置（第2の瞳径可変手段）
- 17 結像レンズ
- 31 直角ミラー
- 32 コーナキューブレフレクタ
- 33 コーナキューブ駆動装置

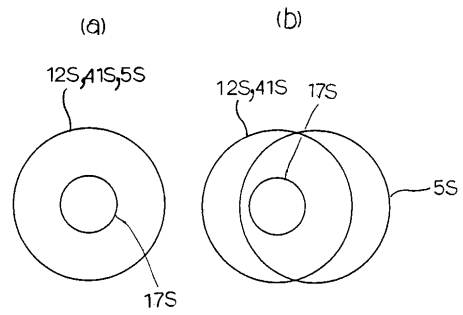
50

4 1 対物レンズ

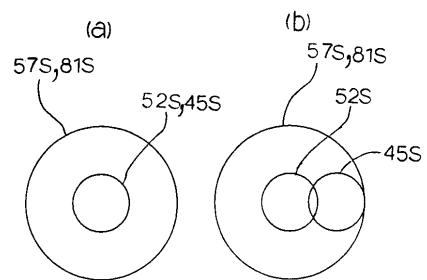
【図 1】



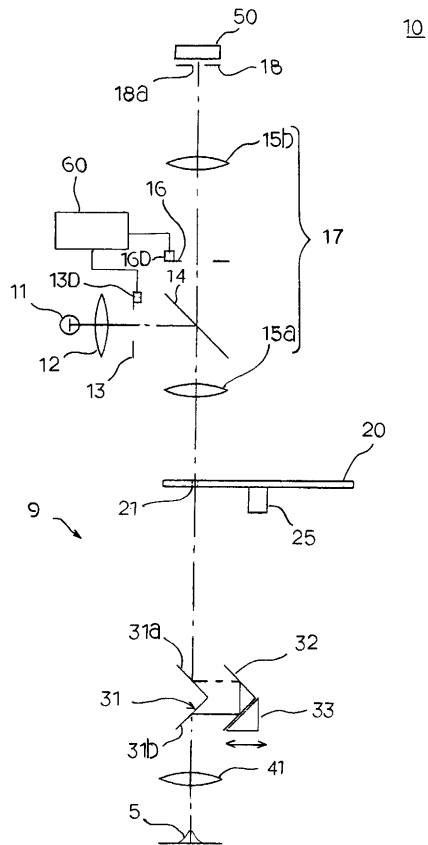
【図 2】



【図 3】



【 図 4 】



【 図 5 】

