

(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.<sup>7</sup>

G O 1 B 11/24

F 1

G O 1 B 11/24

テーマコード(参考)

K 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

特願2002-322026 (P2002-322026)

(22) 出願日

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

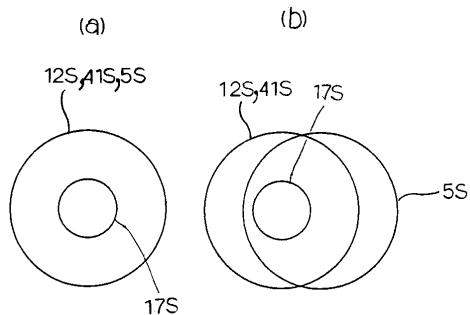
## (57) 【要約】

【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】**

10

**【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

20

**【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。

40

**【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

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<sub>141</sub>は、<sub>141</sub>=2×f×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<sub>112</sub>は、<sub>112</sub>=<sub>13</sub>で表される。

ここで、<sub>13</sub>は照明系の絞りから対物瞳までの倍率であり、<sub>13</sub>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×sin<sub>16</sub>で表される。<sub>16</sub>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つて場合によつ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の瞳と共に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。30

【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。

【0031】

コーナキューブフレクタ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の瞳と共に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】

10

20

30

40

50

アパー チャ 1 8 に形成されたピンホール 1 8 a は散乱光等の進入を制限する。

【 0 0 3 7 】

アパー チャ 1 8 を備えるディテクタ 5 0 はニポウディスク 2 0 のピンホール 2 1 が結像する位置に配置され、ディテクタ 5 0 にはピンホール 2 1 を透過する光の強度に応じた画像が形成される。

【 0 0 3 8 】

次に、上記構成の形状測定装置の動作を説明する。

【 0 0 3 9 】

光源 1 1 から出射された照明光は、コレクタレンズ 1 2 によって平行光とされ、絞り 1 3 10 、ハーフミラー 1 4 、第 1 リレーレンズ 1 5 a を経て、ニポウディスク 2 0 の上面に照射される。

【 0 0 4 0 】

照射範囲に含まれる複数のピンホール 2 1 を通過した光束はそれぞれ直角ミラー 3 1 の上側の反射面 3 1 a で反射されてコーナキューブフレクタ 3 2 に入射し、コーナキューブフレクタ 3 2 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 3 1 に戻され、直角ミラー 3 1 の下側の反射面 3 1 b で反射されて対物レンズ 4 1 に入射し、対物レンズ 4 1 で被検物 5 上に集光される。

【 0 0 4 1 】

なお、ニポウディスク 2 0 の複数のピンホール 2 1 をそれぞれ通過した光束はいずれも直角ミラー 3 1 及びコーナキューブフレクタ 3 2 で反射され、対物レンズ 4 1 で被検物 5 20 上の異なる位置にそれぞれ集光される。

【 0 0 4 2 】

したがって、被検物 5 上には光源 1 1 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。

【 0 0 4 3 】

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 4 1 、直角ミラー 3 1 の下側の反射面 3 1 b 、コーナキューブフレクタ 3 2 、直角ミラー 3 1 の上側の反射面 3 1 a の順に照明光とは逆方向へ進み、ピンホール 2 1 に焦点が結ばれる。

【 0 0 4 4 】

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 2 1 を通過し 30 、散乱光等はピンホール 2 1 に焦点が合わないため、除去される。

【 0 0 4 5 】

ピンホール 2 1 を通過した反射光束は結像レンズ 1 7 に入射する。結像レンズ 1 7 に入射した反射光束はそれぞれ第 1 リレーレンズ 1 5 a と第 2 リレーレンズ 1 5 b と絞り 1 6 とによりディテクタ 5 0 上に集光され、ディテクタ 5 0 上に 2 次元像が形成される。

【 0 0 4 6 】

このとき、コーナーキューブ駆動装置 3 3 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。

【 0 0 4 7 】

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。

【 0 0 4 8 】

照明光学系 9 の瞳 1 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 4 1 S の径と一致するように絞られている。

【 0 0 4 9 】

また、結像レンズ 1 7 の瞳 1 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 4 1 S の径及び照明光学系の瞳 1 2 S の径より小さくなるように絞られている。

10

20

40

50

## 【0050】

被検物5(図1参照)の平坦な部分を見た場合、反射光5Sは照明光に対して傾くことなく対物レンズ41に戻るため、反射光5Sは対物レンズ41の瞳41S及び照明光学系9の瞳12Sからシフトしない(図2(a)参照)。

## 【0051】

被検物5の傾いた部分を見た場合、反射光5Sは照明光に対して傾いて対物レンズ41に戻るため、反射光5Sは対物レンズ41の瞳41S及び照明光学系9の瞳12Sからシフトする(図2(b)参照)。

## 【0052】

このとき、結像レンズ17の瞳17Sの全域が反射光5Sによってカバーされ、ディテクタ50上に結像される。 10

## 【0053】

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 $\theta$ 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 $\theta_{max}$ 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。

## 【0054】

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。 20  
その結果、被検物5の傾いた部分の光量が小さくなつて高さ方向の情報の欠落によりディテクタ50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。

## 【0055】

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。

## 【0056】

結像レンズ17の瞳57Sの径は絞り16(図1参照)によって対物レンズ41の瞳81Sの径と一致するように絞られている。

## 【0057】

また、照明光学系の瞳52Sの径は絞り13(図1参照)によって対物レンズ41の瞳81S及び結像レンズ17の瞳57Sの径より小さくなるように絞られている。 30

## 【0058】

被検物5の平坦な部分を見た場合、反射光45Sは照明光に対して傾くことなく対物レンズ41に戻るため、反射光45Sは照明光学系の瞳52Sからシフトしない(図3(a)参照)。

## 【0059】

被検物5の傾いた部分を見た場合、反射光45Sは照明光に対して傾いて対物レンズ41に戻るため、反射光45Sは照明光学系の瞳52Sからシフトする(図3(b)参照)。

## 【0060】

このとき、反射光45Sの全域は結像レンズ17の瞳57S及び対物レンズ41の瞳81Sによってカバーされ、ディテクタ50上に結像される。 40

## 【0061】

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。

## 【0062】

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に通する部分には同一符号を付してその説明を省略する。

## 【0063】

この形状測定装置10は、絞り13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)13Dと、絞り16を駆動して結像レンズ17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。

30

#### 【図面の簡単な説明】

【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。

40

#### 【符号の説明】

#### 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

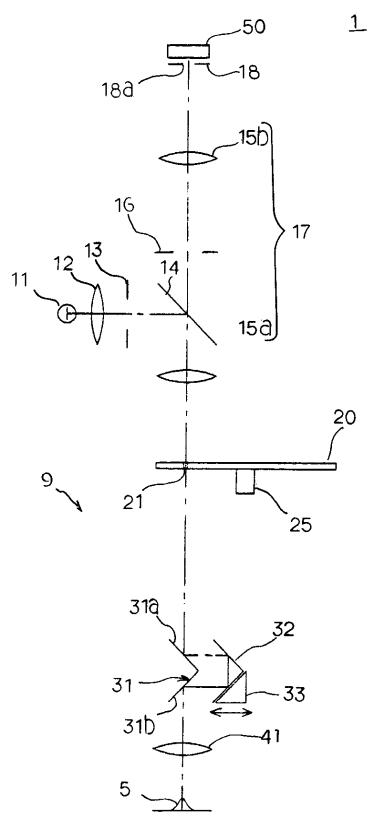
#### 32 コーナキューブフレクタ

#### 33 コーナーキューブ駆動装置

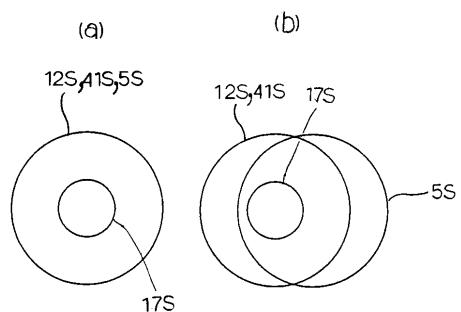
50

## 4 1 対物レンズ

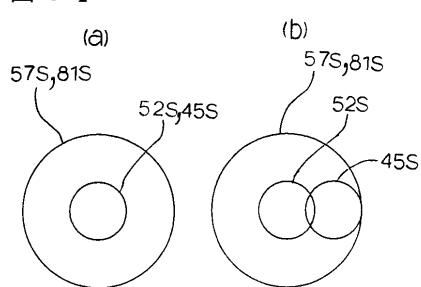
【図1】



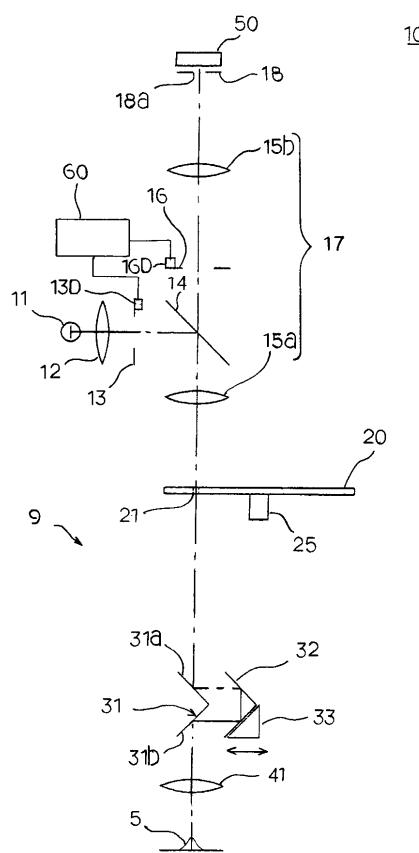
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

