

(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2016-200399  
(P2016-200399A)

(43) 公開日 平成28年12月1日(2016.12.1)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 B 21/20 (2006.01)	GO 1 B 21/20 1 O 1	2 F 0 6 9
GO 1 B 21/10 (2006.01)	GO 1 B 21/10	
GO 1 B 21/30 (2006.01)	GO 1 B 21/30 1 O 1	

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2015-78282 (P2015-78282)	(71) 出願人	501292142
(22) 出願日	平成27年4月7日 (2015.4.7)		株式会社小坂研究所
			東京都千代田区外神田6-13-10 ミクニイーストビル2階
		(74) 代理人	100083895
			弁理士 伊藤 茂
		(74) 代理人	100175983
			弁理士 海老 裕介
		(72) 発明者	本田 裕
			埼玉県三郷市鷹野3-63 株式会社小坂研究所内
		Fターム(参考)	2F069 AA04 AA06 AA38 AA46 AA56 AA57 AA66 DD15 DD16 GG04 GG06 GG07 GG56 GG62 JJ06 JJ13 JJ17 JJ19 JJ28 MM32 MM38

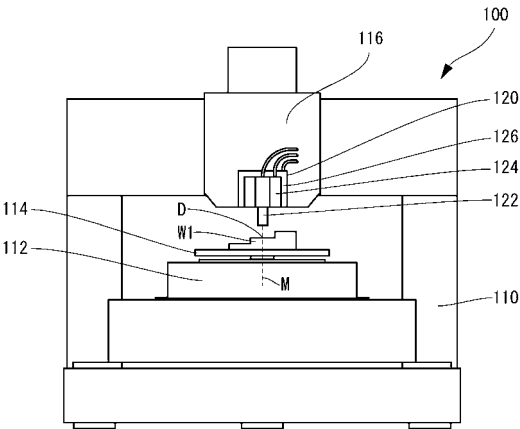
(54) 【発明の名称】 表面形状測定装置及び表面形状測定方法

(57) 【要約】

【課題】 1つの測定装置で被測定物の全体形状から表面粗さまでを測定することが可能となるような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】 非接触センサ122と、非接触センサ122を測定軸線Mの方向で移動させる第1駆動部124と、第1駆動部を同方向で移動させる第2駆動部124とを有する表面形状センサユニット120を備える表面形状測定装置100である。第1駆動部124は非接触センサ122の検出限界よりも広い第1可動範囲を有する piezoアクチュエータを有し、第2駆動部126は第1可動範囲よりも広い第2可動範囲を有する直動テーブルを有する。2つのアクチュエータにより非接触センサ122の測定点Dが検出限界内に位置するように非接触センサを測定軸線Mの方向で移動させながら、被測定物W1の表面形状測定を行う。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

装置基部と、

該装置基部に設定され、被測定物を支持するステージと、

該装置基部に設定され、該ステージによって支持されている被測定物の表面形状を測定するための表面形状センサユニットと、

該ステージを該表面形状センサユニットに対して相対的に移動させる移動機構と、

を備える表面形状測定装置であって、

該表面形状センサユニットが、

所定の測定軸線の方法での所定幅をもった検出限界を有し、該測定軸線と交わる物体表面上の点を測定点として、該測定軸線の方法での該検出限界内における該測定点の位置を測定する第 1 センサと、

該第 1 センサを保持する第 1 アクチュエータであって、該検出限界の幅よりも広い該測定軸線の方法での所定幅をもった第 1 可動範囲を有し、該測定点が該検出限界内に位置するように該第 1 センサを該第 1 可動範囲内で該測定軸線の方法で移動させる第 1 アクチュエータと、

該第 1 アクチュエータによる該第 1 センサの移動距離を測定する第 2 センサと、

該第 1 アクチュエータを保持する第 2 アクチュエータであって、該第 1 可動範囲の幅よりも広い該測定軸線の方法での所定幅をもった第 2 可動範囲を有し、該第 1 アクチュエータが該第 1 センサを該第 1 可動範囲内で移動させて該測定点を該検出限界内に位置させることができるように、該第 1 アクチュエータを該第 2 可動範囲内で該測定軸線の方法で移動させる第 2 アクチュエータと、

該第 2 アクチュエータによる該第 1 アクチュエータの移動距離を測定する第 3 センサと、を備え、

該移動機構によって該第 1 センサの該測定点が被測定物の表面上を相対的に移動していくように該ステージと該第 1 センサとを相対的に移動させたときの、該第 1、第 2、及び第 3 センサの出力値に基づいて被測定物の表面形状を測定するようにされた、表面形状測定装置。

**【請求項 2】**

該第 1 アクチュエータが、該検出限界内に位置する測定基準点を有し、該表面形状センサユニットによる被測定物の表面形状測定の最中に、該測定点が該測定基準点に近づくように該第 1 センサを連続的に移動させるようにされた、請求項 1 に記載の表面形状測定装置。

**【請求項 3】**

該第 2 アクチュエータが、該表面形状センサユニットによる被測定物の表面形状測定の最中には該第 1 アクチュエータを移動させないようにされた、請求項 1 又は 2 に記載の表面形状測定装置。

**【請求項 4】**

該検出限界の幅が 1 マイクロメートル以上 0 . 1 ミリメートル未満であり、該第 1 可動範囲の幅が 0 . 1 ミリメートル以上 2 ミリメートル未満であり、該第 2 可動範囲の幅が 1 0 ミリメートル以上である、請求項 1 乃至 3 の何れか一項に記載の表面形状測定装置。

**【請求項 5】**

該第 1 アクチュエータがピエゾアクチュエータであり、該第 2 アクチュエータがモータ駆動の直動テーブルであり、該第 2 センサがひずみゲージであり、該第 3 センサがリニアスケールである、請求項 4 に記載の表面形状測定装置。

**【請求項 6】**

該第 1 センサが、光式の非接触センサである、請求項 1 乃至 5 の何れか一項に記載の表面形状測定装置。

**【請求項 7】**

該移動手段が、該ステージを該測定軸線に対して垂直な平面内で移動させる水平面移動

10

20

30

40

50

機構を有する、請求項 1 乃至 6 の何れか一項に記載の表面形状測定装置。

【請求項 8】

該移動手段が、該ステージを該測定軸線に対して垂直な回転軸線周りで回転させる回転機構と、該表面形状センサユニットを該回転軸線と平行な方向に移動させる垂直移動機構と、を有する、請求項 1 乃至 6 の何れか一項に記載の表面形状測定装置。

【請求項 9】

所定の測定軸線の方角での所定幅をもった検出限界を有し、該測定軸線と交わる物体表面上の点である測定点の該測定軸線の方角での位置を測定する第 1 センサと、該第 1 センサを保持して該第 1 センサを該測定軸線の方角で移動させる第 1 アクチュエータと、該第 1 アクチュエータによる該第 1 センサの移動距離を測定する第 2 センサと、該第 1 アクチュエータを保持して該第 1 アクチュエータを該測定軸線の方角で移動させる第 2 アクチュエータと、該第 2 アクチュエータによる該第 1 アクチュエータの移動距離を測定する第 3 センサと、を備える表面形状センサユニットによって、ステージ上に支持された被測定物の表面形状を測定する表面形状測定方法であって、

該被測定物の表面上の任意の測定開始点に該第 1 センサの該測定点が位置するように、該ステージと該表面形状センサユニットとを移動機構によって相対的に移動させるステップと、

該測定点が該検出限界内に位置するように、該第 2 アクチュエータによって該第 1 アクチュエータ及び該第 1 センサを該測定軸線の方角で移動させるステップと、

該測定点が該被測定物の表面上を相対的に移動していくように該移動機構によって該ステージと該表面形状センサユニットとを相対的に移動させるステップと、

該ステージと該表面形状センサユニットとを相対的に移動させるステップの最中に、該測定点が該検出限界内に維持されるように該第 1 アクチュエータによって該第 1 センサを該測定軸線の方角で移動させるステップと、

該ステージと該表面形状センサユニットとを相対的に移動させるステップの最中に、該第 1 乃至第 3 センサの出力値を読み取るステップと、

該測定点を該検出限界内に維持するために必要とされる該第 1 センサの移動距離が該第 1 アクチュエータの可動範囲を超えることになる表面を測定するときに、該移動機構による該ステージと該表面形状センサユニットとの相対的な移動を一旦停止して、該測定点が該検出限界内に位置するように該第 2 アクチュエータによって該第 1 アクチュエータ及び該第 1 センサを該測定軸線の方角で移動させるステップと、

を含む、表面形状測定方法。

【請求項 10】

該第 1 アクチュエータが、該検出限界内に位置する測定基準点を有し、

該第 1 センサを該測定軸線の方角で移動させるステップが、該測定点が該測定基準点に近づくように該第 1 アクチュエータによって該第 1 センサを該測定軸線の方角で連続的に移動させるステップである、請求項 9 に記載の表面形状測定方法。

【請求項 11】

該移動手段が、該ステージを該測定軸線に対して垂直な回転軸線周りで回転させる回転機構と、該表面形状センサユニットを該回転軸線と平行な方向に移動させる垂直移動機構と、を有し、該被測定物が円筒状表面を有する部材であり、

該ステージと該表面形状センサユニットとを相対的に移動させるステップが、該測定点が該被測定物の該円筒状表面上を移動していくように該回転機構によって該ステージを回転させるステップであり、

該第 1 乃至第 3 センサの出力値に基づいて、該被測定物の直径と真円度とのうちの少なくとも一方を求めるようにされた、請求項 9 又は 10 に記載の表面形状測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、表面形状測定装置及び表面形状測定方法に関する。

10

20

30

40

50

## 【背景技術】

## 【0002】

表面形状測定装置として、触針を利用した接触式のものや（特許文献1）、レーザー光を利用した非接触式のもの（特許文献2）などが知られている。これら表面形状測定装置において、一般に、ミリメートルオーダーの凹凸形状を測定するための装置は広い測定範囲を有する一方で表面粗さの測定に要求されるようなナノメートルオーダーの分解能は有しておらず、表面粗さを測定するための装置はナノメートルオーダーの高い測定分解能を有する一方でミリメートルオーダーの広い測定範囲は有していない。そのため、例えばミリメートルオーダーの段差を有する部材の全体形状とその表面粗さとを両方測定する場合には、複数の別の測定装置を使って、全体形状と、微細な表面粗さとを別々に測定する必要があった。

10

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0003】

【特許文献1】特開2000-97691号公報

【特許文献2】特開2012-2573号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

しかしながら、複数の別の測定装置で測定をする手法では、測定対象物を装置に何度もセッティングしなければならない、また別々に測定したデータを整合させる必要もあり、測定に多くの時間と手間がかかっていた。

20

## 【0005】

本発明は上記問題に鑑み、1つの測定装置で被測定物の全体形状から表面粗さまでを測定することが可能となるような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】

## 【0006】

すなわち本発明は、

装置基部と、

30

該装置基部に設定され、被測定物を支持するステージと、

該装置基部に設定され、該ステージによって支持されている被測定物の表面形状を測定するための表面形状センサユニットと、

該ステージを該表面形状センサユニットに対して相対的に移動させる移動機構と、

を備える表面形状測定装置であって、

該表面形状センサユニットが、

所定の測定軸線の方角での所定幅をもった検出限界を有し、該測定軸線と交わる物体表面上の点を測定点として、該測定軸線の方角での該検出限界内における該測定点の位置を測定する第1センサと、

該第1センサを保持する第1アクチュエータであって、該検出限界の幅よりも広い該測定軸線の方角での所定幅をもった第1可動範囲を有し、該測定点が該検出限界内に位置するように該第1センサを該第1可動範囲内で該測定軸線の方角で移動させる第1アクチュエータと、

40

該第1アクチュエータによる該第1センサの移動距離を測定する第2センサと、

該第1アクチュエータを保持する第2アクチュエータであって、該第1可動範囲の幅よりも広い該測定軸線の方角での所定幅をもった第2可動範囲を有し、該第1アクチュエータが該第1センサを該第1可動範囲内で移動させて該測定点を該検出限界内に位置させることができるように、該第1アクチュエータを該第2可動範囲内で該測定軸線の方角で移動させる第2アクチュエータと、

該第2アクチュエータによる該第1アクチュエータの移動距離を測定する第3センサ

50

と、を備え、

該移動機構によって該第1センサの該測定点が被測定物の表面上を相対的に移動していくように該ステージと該第1センサとを相対的に移動させたときの、該第1、第2、及び第3センサの出力値に基づいて被測定物の表面形状を測定するようにされた、表面形状測定装置を提供する。

【0007】

当該表面形状測定装置においては、被測定物の表面を直接的に測定する第1センサを、第1可動範囲を有する第1アクチュエータと第1可動範囲よりも広い第2可動範囲を有する第2アクチュエータとによって測定軸線の方

10

【0008】

好ましくは、該第1アクチュエータが、該検出限界内に位置する測定基準点を有し、該表面形状センサユニットによる被測定物の表面形状測定の最中に、該測定点が該測定基準

【0009】

このような構成により、例えば測定基準点を検出限界の中心付近に設定しておくことによ

20

【0010】

好ましくは、該第2アクチュエータが、該表面形状センサユニットによる被測定物の表面形状測定の最中には該第1アクチュエータを移動させないようにすることができる。

【0011】

具体的には、該検出限界の幅が1マイクロメートル以上0.1ミリメートル未満であり、該第1可動範囲の幅が0.1ミリメートル以上2ミリメートル未満であり、該第2可動範囲の幅が10ミリメートル以上であるようにすることができる。

【0012】

また具体的には、該第1アクチュエータがピエゾアクチュエータであり、該第2アクチュエータがモータ駆動の直動テーブルであり、該第2センサがひずみゲージであり、該第3センサがリニアスケールであるようにすることができる。

30

【0013】

さらに具体的には、該第1センサが、光式の非接触センサであるようにすることができる。

【0014】

好ましくは、該移動手段が、該ステージを該測定軸線に対して垂直な平面内で移動させる水平面移動機構を有するよう

【0015】

または、該移動手段が、該ステージを該測定軸線に対して垂直な回転軸線周りで回転させる回転機構と、該表面形状センサユニットを該回転軸線と平行な方向に移動させる垂直移動機構と、を有するよう

40

【0016】

また本発明は、

所定の測定軸線の方

50

センサと、を備える表面形状センサユニットによって、ステージ上に支持された被測定物の表面形状を測定する表面形状測定方法であって、

該被測定物の表面上の任意の測定開始点に該第 1 センサの該測定点が位置するように、該ステージと該表面形状センサユニットとを移動機構によって相対的に移動させるステップと、

該測定点が該検出限界内に位置するように、該第 2 アクチュエータによって該第 1 アクチュエータ及び該第 1 センサを該測定軸線の方

向で移動させるステップと、  
該測定点が該被測定物の表面上を相対的に移動していくように該移動機構によって該ステージと該表面形状センサユニットとを相対的に移動させるステップと、

該ステージと該表面形状センサユニットとを相対的に移動させるステップの最中に、該測定点が該検出限界内に維持されるように該第 1 アクチュエータによって該第 1 センサを該測定軸線の方

向で移動させるステップと、  
該ステージと該表面形状センサユニットとを相対的に移動させるステップの最中に、該第 1 乃至第 3 センサの出力値を読み取るステップと、

該測定点を該検出限界内に維持するために必要とされる該第 1 センサの移動距離が該第 1 アクチュエータの可動範囲を超えることになる表面を測定するときに、該移動機構による該ステージと該表面形状センサユニットとの相対的な移動を一旦停止して、該測定点が該検出限界内に位置するように該第 2 アクチュエータによって該第 1 アクチュエータ及び該第 1 センサを該測定軸線の方

向で移動させるステップと、

を含む、表面形状測定方法を提供する。

【0017】

当該方法により、第 1 センサの測定分解能で、第 1 及び第 2 アクチュエータが有する広い第 1 及び第 2 可動範囲の範囲内で表面形状を測定することが可能となる。

【0018】

好ましくは、該第 1 アクチュエータが、該検出限界内に位置する測定基準点を有し、

該第 1 センサを該測定軸線の方

向で移動させるステップが、該測定点が該測定基準点に近づくように該第 1 アクチュエータによって該第 1 センサを該測定軸線の方

向で連続的に移動させるステップであるようにすることができる。

【0019】

さらに好ましくは、  
該移動手段が、該ステージを該測定軸線に対して垂直な回転軸線周りで回転させる回転機構と、該表面形状センサユニットを該回転軸線と平行な方向に移動させる垂直移動機構と、を有し、該被測定物が円筒状表面を有する部材であり、

該ステージと該表面形状センサユニットとを相対的に移動させるステップが、該測定点が該被測定物の該円筒状表面上を移動していくように該回転機構によって該ステージを回転させるステップであり、

該第 1 乃至第 3 センサの出力値に基づいて、該被測定物の直径と真円度とのうちの少なくとも一方を求めるようにすることができる。

【0020】

以下、本発明に係る表面形状測定装置及び表面形状測定方法の実施形態を添付図面に基

づき説明する。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図 1】本発明の第 1 の実施形態に係る表面形状測定装置の正面図である。

【図 2】図 1 の表面形状測定装置の表面形状測定ユニットの側面図である。

【図 3】図 1 の表面形状測定装置によって測定した表面形状データを示す図である。

【図 4】本発明の第 2 の実施形態に係る表面形状測定装置の正面図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

本発明の一実施形態に係る表面形状測定装置 100 は、図 1 及び図 2 に示すように、装

10

20

30

40

50

置基部 1 1 0 と、装置基部 1 1 0 に固定された水平面移動機構 1 1 2 と、水平面移動機構 1 1 2 によって移動され、被測定物 W 1 を支持するようにされたステージ 1 1 4 と、装置基部 1 1 0 に固定された垂直粗動テーブル 1 1 6 と、垂直粗動テーブル 1 1 6 に保持された表面形状センサユニット 1 2 0 と、を備える。

【 0 0 2 3 】

表面形状センサユニット 1 2 0 は、物体表面にレーザー光を照射し、該物体表面からの反射光を受光することにより物体表面の位置を測定する光式の非接触センサ（第 1 センサ） 1 2 2 と、非接触センサ 1 2 2 を保持する第 1 駆動部 1 2 4 と、第 1 駆動部 1 2 4 を保持し、垂直粗動テーブル 1 1 6 に固定された第 2 駆動部 1 2 6 とを有する。

【 0 0 2 4 】

非接触センサ 1 2 2 は、鉛直方向に延びる測定軸線 M の方向での物体表面の位置を測定するようにされ、測定軸線 M の方向でおよそ 1 0 マイクロメートルの幅がある検出限界を有し、この検出限界の中心位置に設定された測定基準点からの物体表面の相対的距離を測定するようになっている。また、その測定分解能はおよそ 1 0 ピコメートルである。なお、測定基準点は、測定軸線 M 上の任意の位置に設定できる。

【 0 0 2 5 】

第 1 駆動部 1 2 4 は、非接触センサ 1 2 2 を測定軸線 M の方向で移動させる piezo アクチュエータ（第 1 アクチュエータ）と piezo アクチュエータの変位量を測定するひずみセンサ（第 2 センサ）とを内蔵している。piezo アクチュエータは測定軸線 M の方向でおよそ 1 ミリメートルの幅の可動範囲を有する。また、位置決めの分解能は、およそ 2 0 ナノメートルである。従って、第 1 駆動部 1 2 4 は、非接触センサ 1 2 2 を 1 ミリメートルの範囲内で 2 0 ナノメートルの分解能で位置決めすることができる。

【 0 0 2 6 】

第 2 駆動部 1 2 6 は、第 1 駆動部 1 2 4 を測定軸線 M の方向で移動させるモータ駆動の直動テーブル（第 2 アクチュエータ）と直動テーブルの移動距離を測定するリニアスケール（第 3 センサ）とを有している。直動テーブルは測定軸線 M の方向でおよそ 5 0 ミリメートルの幅の可動範囲を有する。また、位置決めの分解能は、およそ 5 0 ナノメートルである。したがって、第 2 駆動部 1 2 6 は、第 1 駆動部 1 2 4 と第 1 駆動部 1 2 4 に保持された非接触センサ 1 2 2 とを 5 0 ミリメートルの範囲内で 5 0 ナノメートルの分解能で位置決めすることができる。

【 0 0 2 7 】

図 3 a に示すような表面を有する被測定物 W 1 の表面形状を当該表面形状測定装置 1 0 0 によって測定する方法について以下に説明する。当該表面形状測定装置 1 0 0 により被測定物 W 1 の表面形状の測定を始めるに際し、まずは、測定対象となる被測定物 W 1 をステージ 1 1 4 上に載置する。次に、水平面移動機構 1 1 2 によってステージ 1 1 4 を水平方向に移動させることにより、被測定物 W 1 上の測定開始点 P 1 が非接触センサ 1 2 2 の測定軸線 M 上にくるようにして、被測定物 W 1 の測定開始点 P 1 と非接触センサ 1 2 2 の測定点 D とが一致するようにする。また、垂直粗動テーブル 1 1 6 で表面形状センサユニット 1 2 0 を垂直方向に移動させて、測定点 D が非接触センサ 1 2 2 の測定限界内もしくはその近傍にくるようにする。そして、表面形状センサユニット 1 2 0 の第 2 駆動部 1 2 6 の直動テーブルで非接触センサ 1 2 2 を第 1 駆動部 1 2 4 とともに移動させて、測定点 D と測定基準点とが一致するようにする。

【 0 0 2 8 】

次に、水平面移動機構 1 1 2 によりステージ 1 1 4 上に載置された被測定物 W 1 を表面形状センサユニット 1 2 0 に対して水平方向に一定速度で移動させていく。このとき、測定点 D は被測定物 W 1 の表面上を移動していくことになる。非接触センサ 1 2 2 は、ステージ 1 1 4 の移動に同期して測定点 D における被測定物 W 1 の表面位置を連続的に測定していく。第 1 駆動部 1 2 4 の piezo アクチュエータは、非接触センサ 1 2 2 の出力値に基づき、測定点 D と測定基準点との間に差異がある場合には、測定点 D が測定基準点に近づくように非接触センサ 1 2 2 を移動させる。すなわち、piezo アクチュエータは、非接触

10

20

30

40

50

センサ 1 2 2 と測定表面との間の距離を一定に保つように非接触センサ 1 2 2 を移動させる。このとき第 2 駆動部 1 2 6 の直動テーブルは移動しない。測定点 D が測定終了点 P 2 にまできたら測定を一旦終了する。

【 0 0 2 9 】

表面形状を測定する面の間に第 1 駆動部 1 2 4 の可動範囲を超える大きさの段差 S 等がある場合には、一旦表面形状測定を停止し、段差 S を越えた再測定開始点 P 3 の位置において第 2 駆動部 1 2 6 の直動テーブルで非接触センサ 1 2 2 を第 1 駆動部 1 2 4 とともに移動させて、測定点 D と測定基準点とが再び一致するように位置合わせをする。その後、上述のように、水平面移動機構 1 1 2 によりステージ 1 1 4 上に載置された被測定物 W 1 を表面形状センサユニット 1 2 0 に対して水平方向に一定速度で移動させながら、再測定開始点 P 3 から再測定終了点 P 4 までの表面形状測定を行う。

【 0 0 3 0 】

当該表面形状測定装置 1 0 0 で、図 3 a に示す被測定物 W 1 の表面を測定したときの、非接触センサ 1 2 2、第 1 駆動部 1 2 4 のひずみセンサ、及び第 2 駆動部 1 2 6 のリニアスケールの出力値を図 3 b - 3 d にそれぞれ示す。圧電アクチュエータは、表面の細かな凹凸に追従できるほどの高速応答性がないので、この凹凸よりも緩やかに変化する表面のうねりに沿って非接触センサ 1 2 2 を移動させるようになる。そのため、非接触センサ 1 2 2 は、表面のうねりは検出せず表面の細かな凹凸情報だけを検出する（図 3 b）。その一方で、圧電アクチュエータの移動距離を測定したひずみセンサは、表面の細かな凹凸形状は検出せず、表面のうねりだけを検出する（図 3 c）。直動テーブルは、測定開始点 P 1 から測定終了点 P 2 までの表面形状を測定している間は移動しないので、直動テーブルの移動距離を測定するリニアスケールの出力値はこの間は一定となっている（図 3 d）。測定終了点 P 2 と再測定開始点 P 3 との間には大きな段差 S があり、この段差 S の前後で、直動テーブルによって非接触センサ 1 2 2 の測定点 D が測定基準点に一致するように非接触センサ 1 2 2 を第 1 駆動部 1 2 4 とともに移動させているため、再測定開始点 P 3 の位置でリニアスケールの出力値が段差 S の高さ分だけ大きくなっている。再測定開始点 P 3 から再測定終了点 P 4 までの非接触センサ 1 2 2 による出力値には、段差 S の分の高さ変動は現れない（図 3 b）。同様にひずみセンサの出力値にも段差 S の分の高さ変動は現れない（図 3 c）。このようにして測定された非接触センサ 1 2 2、ひずみセンサ、及びリニアスケールの出力値を足し合わせると図 3 e によりになり、これが被測定物 W 1 の表面形状を測定した結果となる。この測定により、ナノメートルオーダーの測定により表面粗さが求められると同時にミリメートルオーダーの表面の形状も求めることができる。なお、図 3 の各グラフの縦軸スケールは、各データを強調するためにそれぞれ異なっており、例えば図 3 b はナノメートルオーダーのスケールであり、図 3 d はミリメートルオーダーのスケールである。また、図 3 e は表面形状を強調して表示したものであり、縦軸スケールは一定ではない。さらにステージ 1 1 4 の位置も測定すれば、被測定物 W 1 の各部の板厚を測定することも可能である。

【 0 0 3 1 】

上記実施例においては、被測定物 W 1 の表面形状の測定中は、第 2 駆動部 1 2 6 の直動テーブルは移動させず一定の位置に保持するようにしているが、例えば、被測定物の表面が全体的に傾斜していたり、なだらかに変化していたりするような場合には、測定中に直動テーブルも同時に移動させて表面形状測定を途切れることなく連続的に行うようにすることもできる。ただし、大きな可動範囲の幅を有する直動テーブルは、もともと圧電アクチュエータほどの高速応答性はなく、また非接触センサ 1 2 2 と圧電アクチュエータとを合わせた重量を移動させる必要もあるので、図 3 a に示す段差 S のような急激に形状が変化する部分では通常は追従して移動できない。

【 0 0 3 2 】

本発明の第 2 の実施形態に係る表面形状測定装置 2 0 0 は、図 4 に示すように、装置基部 2 1 0 と、装置基部 2 1 0 に固定された回転機構 2 1 2 と、回転機構 2 1 2 によって回転移動され、被測定物 W 2 を支持するようにされたステージ 2 1 4 と、装置基部 2 1 0 に



保持された垂直粗動テーブル 2 1 6 と、垂直粗動テーブル 2 1 6 に保持された径方向粗動テーブル 2 1 8 と、径方向粗動テーブル 2 1 8 に保持された表面形状センサユニット 2 2 0 と、を備える。

#### 【0033】

表面形状センサユニット 2 2 0 は、上記第 1 の実施形態に係る表面形状測定装置 1 0 0 の表面形状センサユニット 1 2 0 と同様に、物体表面にレーザー光を照射し、該物体表面からの反射光を受光することにより物体表面の位置を測定する光式の非接触センサ 2 2 2 (第 1 センサ)と、非接触センサ 2 2 2 を保持する第 1 駆動部 2 2 4 と、第 1 駆動部 2 2 4 を保持し、径方向粗動テーブル 2 1 8 に固定された第 2 駆動部 2 2 6 とを有する。また、第 1 駆動部 2 2 4 は、非接触センサ 2 2 2 を測定軸線 M の方向で移動させる piezo 10 アクチュエータ (第 1 アクチュエータ)と piezo アクチュエータの変位量を測定するひずみセンサ (第 2 センサ)とを内蔵し、第 2 駆動部 2 2 6 は、第 1 駆動部 2 2 4 を測定軸線 M の方向で移動させる直動テーブル (第 2 アクチュエータ)と直動テーブルの移動距離を測定するリニアスケール (第 3 センサ)とを有している。各センサ及びアクチュエータは、第 1 の実施形態に係る表面形状測定装置 1 0 0 のものと同様である。ただし、当該表面形状測定装置 2 0 0 における表面形状センサユニット 2 2 0 は、その測定軸線 M がステージ 2 1 4 の回転軸線 R に対して垂直な方向、すなわち水平方向となるように取り付けられている。

#### 【0034】

当該表面形状測定装置 2 0 0 が測定の対象とする被測定物 W 2 は、円筒状の外周面や内周面を有する円柱状又は円筒状部材である。当該表面形状測定装置 2 0 0 により被測定物 W 2 の表面形状測定を始めるに際し、まずは、測定対象となる被測定物 W 2 の中心軸線がステージ 2 1 4 の回転軸線 R と一致するようにステージ 2 1 4 上に載置する。次に、垂直粗動テーブル 2 1 6 によって表面形状センサユニット 2 2 0 を垂直方向で移動させることにより、被測定物 W 2 上の測定開始点が非接触センサ 2 2 2 の測定軸線 M 上にくるようにして、被測定物 W 2 の測定開始点と非接触センサ 2 2 2 の測定点 D とが一致するようにする。また、径方向粗動テーブル 2 1 8 で表面形状センサユニット 2 2 0 を水平方向に移動させて、測定点 D が非接触センサ 2 2 2 の測定限界内又はその近傍にくるようにする。そして、表面形状センサユニット 2 2 0 の第 2 駆動部 2 2 6 の直動テーブルで非接触センサ 2 2 2 を第 1 駆動部 2 2 4 とともに移動させて、測定点 D と測定基準点とが一致するよう 20 30 にする。

#### 【0035】

次に、回転機構 2 1 2 によりステージ 2 1 4 上に載置された被測定物 W 2 を表面形状センサユニット 2 2 0 に対して回転軸線 R の周りで一定速度で回転させる。このとき、測定点 D は被測定物 W 2 の円筒状表面上を移動していくことになる。非接触センサ 2 2 2 は、ステージ 2 1 4 の回転に同期して測定点 D における被測定物 W 2 の表面位置を連続的に測定していく。第 1 駆動部 2 2 4 の piezo アクチュエータは、非接触センサ 2 2 2 の出力値に基づき、測定点 D と測定基準点との間に差異がある場合には、測定点 D が測定基準点に近づくように非接触センサ 2 2 2 を移動させる。すなわち、piezo アクチュエータは、非接触センサ 2 2 2 と測定表面との間の距離を一定に保つように非接触センサ 2 2 2 を移動させる。このとき第 2 駆動部 2 2 6 の直動テーブルは移動しない。測定点 D が円筒状表面上を一周したら測定を終了する。 40

#### 【0036】

垂直方向の別の位置での円筒状表面の測定をする場合には、次の測定開始点まで垂直粗動テーブル 2 1 6 により表面形状センサユニット 2 2 0 を垂直方向に移動させる。このとき、先に測定した円筒状表面の半径と次に測定する円筒状表面の半径とが異なる場合には、第 2 駆動部 2 2 6 の直動テーブルで非接触センサ 2 2 2 を第 1 駆動部 2 2 4 とともに移動させて、測定点 D と測定基準点とが一致するようにするよう 50 に再度位置合わせをする。その後、上述のように、回転機構 2 1 2 によりステージ 2 1 4 上に載置された被測定物 W 2 を表面形状センサユニット 2 2 0 に対して回転軸線 R の周りで一定速度で回転させなが

ら、表面形状測定を行うようにする。このような測定を行うことにより、各円筒状表面の半径の差異を正確に測定することができる。

【0037】

当該表面形状測定装置200においては、被測定物W2の測定に先立って、直径が既知の基準ゲージを測定して、ステージ214の回転軸線Rの位置において各センサの出力値がゼロになるように校正をしておくことにより、被測定物W2の円筒状表面の直径を正確に測定することも可能である。また、非接触センサ222のレーザー出射部及び受光部は、下方に細長く延びるように形成されているので、非接触センサ222を円筒状部材の中に挿入して、円筒状部材の内周面の測定をすることも可能である。

【0038】

このように、本発明の表面形状測定装置100、200によれば、ミリメートルオーダーの高低差がある表面の表面形状をナノメートルオーダーの測定分解能で一度に測定することができるので、従来複数の測定装置を必要としていた被測定物の表面形状測定を一つの測定装置で行うことが可能となる。

【0039】

上記実施形態において示した表面形状センサユニット120、220の各センサ及びアクチュエータの性能を示す具体的数値は単なる例示であり、それ以外の性能値を有するものでもよいが、例えば、非接触センサ122、222（第1センサ）の検出限界は1マイクロメートル以上0.1ミリメートル未満であるのが好ましく、またその分解能は1ピコメートルから1ナノメートルの範囲内であるのが好ましく、 piezoアクチュエータ（第1 20  
アクチュエータ）の可動範囲は0.1ミリメートル以上2ミリメートル未満であるのが好ましく、直動テーブル（第2アクチュエータ）の可動範囲は10ミリメートル以上300ミリメートル未満であるのが好ましく、ひずみセンサ（第2センサ）の分解能は1ナノメートルから50ナノメートルの範囲内であるのが好ましく、リニアスケール（第3センサ）の分解能は1ナノメートルから100ナノメートルの範囲内であるのが好ましい。

【0040】

光式非接触センサ122、222は、上記性能と同程度の性能を有するものであれば、例えば触針式の接触センサのような他のセンサを利用してもよい。また、第1駆動部124、224及び第2駆動部126、226をそれぞれ構成する、piezoアクチュエータ、ひずみセンサ、直動テーブル、及びリニアスケールについても、上記性能と同程度の性能を有するものであれば、他のアクチュエータ及びセンサを使用することができる。

【0041】

また、上記実施形態においては、非接触センサ122、222が物体表面の一点の高さを測定する点計測センサであるとして説明をしてきたが、検出素子がライン状又は面状に配置されたライン計測センサ又は面計測センサとすることもできる。例えば、ライン計測センサの場合には、一度に物体表面上のライン状の位置での高さを同時に測定することができるが、そのライン状のいずれかの点を上記実施形態における測定点Dとして選択して、当該ライン計測センサの測定軸線Mの方向での位置制御を行うようにすることができる。または、測定中に測定点Dを別のライン状の点に変更するようにしてもよい。これらは面計測センサについても同様である。

【符号の説明】

【0042】

表面形状測定装置100；装置基部110；水平面移動機構112；ステージ114；垂直粗動テーブル116；表面形状センサユニット120；非接触センサ（第1センサ）122；第1駆動部124；第2駆動部126；

表面形状測定装置200；装置基部210；回転機構212；ステージ214；垂直粗動テーブル216；径方向粗動テーブル218；表面形状センサユニット220；非接触センサ（第1センサ）222；第1駆動部224；第2駆動部226；

被測定物W1、W2；測定軸線M；測定点D；測定開始点P1；測定終了点P2；再測定開始点P3；再測定終了点P4；段差S；回転軸線R

10

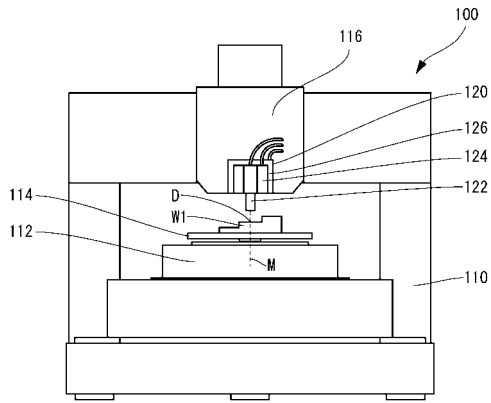
20

30

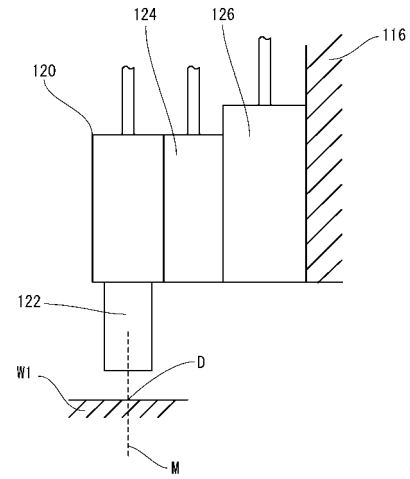
40

50

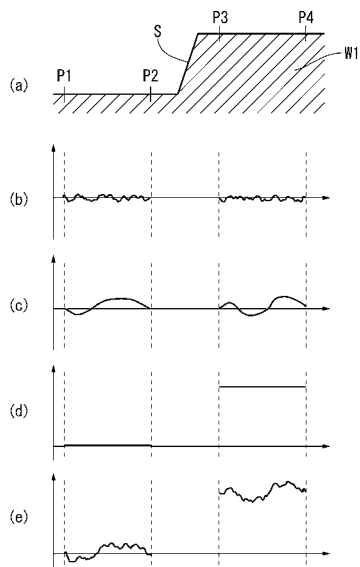
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【図 4】

