

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4198338号  
(P4198338)

(45) 発行日 平成20年12月17日(2008.12.17)

(24) 登録日 平成20年10月10日(2008.10.10)

(51) Int. Cl.	F I	
HO 1 L 21/027 (2006.01)	HO 1 L 21/30	5 O 3 A
GO 1 B 11/26 (2006.01)	GO 1 B 11/26	Z
G 1 2 B 5/00 (2006.01)	G 1 2 B 5/00	T
HO 1 L 21/68 (2006.01)	HO 1 L 21/68	K
HO 2 K 41/02 (2006.01)	HO 2 K 41/02	C
請求項の数 7 (全 19 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2001-208525 (P2001-208525)  
 (22) 出願日 平成13年7月9日(2001.7.9)  
 (65) 公開番号 特開2003-22959 (P2003-22959A)  
 (43) 公開日 平成15年1月24日(2003.1.24)  
 審査請求日 平成16年4月5日(2004.4.5)

特許法第30条第1項適用 平成13年3月5日 社団法人精密工学会発行の「2001年度精密工学会春季大会 学術講演会講演論文集」に発表

(73) 特許権者 899000035  
 株式会社 東北テクノアーチ  
 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉468番地  
 (73) 特許権者 000002107  
 住友重機械工業株式会社  
 東京都品川区大崎二丁目1番1号  
 (74) 代理人 100070150  
 弁理士 伊東 忠彦  
 (72) 発明者 清野 慧  
 宮城県仙台市青葉区土樋1-9-3-101  
 (72) 発明者 高 偉  
 宮城県仙台市青葉区川内元支倉35-3-403

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ステージ装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ベースと、  
 被移動体が載置されるステージと、  
 前記ベースまたは前記ステージのいずれか一方に取り付けられた一对の磁石列と、  
 前記ベースまたは前記ステージのいずれか他方に取り付けられた複数のコイル群と、  
 基部の表面上または面内に形成され、角度に関する性質がX-Y方向の2次元方向に既知の関数で変化する角度格子から構成されており、前記ベース或いは前記ステージの内いずれか一方の中央部に配設された目盛と、  
 前記ベース或いは前記ステージの他方の中央部に配設されており、前記目盛の角度格子面に光を照射すると共に、該目盛で反射される反射光のX-Y方向の2次元角度を検出する2次元角度センサーとを有し、  
 前記一对の磁石列の間に前記目盛を設け、  
 前記複数のコイル群の間に前記2次元角度センサーを設けたことを特徴とするステージ装置。

【請求項2】

請求項1記載のステージ装置において、  
 前記一对の磁石列と前記目盛を前記ステージに配設すると共に、  
 前記複数のコイル群と前記2次元角度センサーを前記ベースに配設したことを特徴とするステージ装置。

## 【請求項 3】

請求項 1 記載のステージ装置において、

前記一対の磁石列は、複数の同等の永久磁石を極性が交互に現れるように直線上に配列した一対の磁石列であり、

前記複数のコイル群は、前記一対の磁石列のそれぞれに交差するように対向配置されると共に前記磁石列が発生する磁束と係合するよう取り付けられており、対向する磁石列の配列方向とほぼ平行な軸方向を有するコイルを含んで構成された一対のコイル群であり、

前記一対の磁石列の間に前記目盛を設け、

前記一対のコイル群の間に前記 2 次元角度センサーを設けたことを特徴とするステージ装置。

10

## 【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載のステージ装置において、

前記 2 次元角度センサーを少なくとも 3 個設けたことを特徴とするステージ装置。

## 【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 の内いずれかに記載のステージ装置において、

前記角度格子の角度形状の誤差を校正した結果に基づいて、前記角度格子による座標位置と姿勢角の測定結果の補正をする手段を備えることを特徴とするステージ装置。

## 【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載のステージ装置において、

前記被移動体を装着するチャックを前記ステージに対し着脱可能な構成とし、

かつ、前記目盛を該チャックに配設したことを特徴とするステージ装置。

20

## 【請求項 7】

請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載のステージ装置において、

前記目盛を前記被移動体に配設すると共に、前記ステージの前記 2 次元角度センサーと対向する領域に前記光を前記目盛に照射するための透明部を設けたことを特徴とするステージ装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明はステージ装置に係り、特にステージ部材を少なくとも X - Y 方向に高精度に駆動できるステージ装置に関する。

30

## 【0002】

情報技術の根幹である半導体デバイスの高集積化、低コスト化に対応し、それらを製造する半導体露光装置の高生産性、高精度化、高速化等の要求が高まっている。半導体露光装置のキーコンポーネントである X - Y ステージ装置には、10nm 前後の精度と数百mm の移動範囲を持ったものが必要となる。かつ、半導体デバイスの生産性の向上を図るには、被加工物を搭載したステージを高速で加工位置まで移動させる表がある。そこで、上記の各要求を全て満たすステージ装置の実現が望まれている。

## 【0003】

## 【従来の技術】

例えば、半導体製造工程で使用する各種半導体製造装置には、被移動体となるウェハを載置し、これを移動させるステージ装置が設けられている。このステージ装置は、ベースに対してウェハを搭載したステージを駆動させる駆動装置と、ベースに対するステージの位置を計測する位置計測装置を有している。

40

## 【0004】

従来の駆動装置としては、X 方向にのみ移動するステージと、Y 方向にのみ移動するステージを組み上げた方式に代表される、いわゆるスタック型ステージが一般的な構成であった。

## 【0005】

また、従来の位置計測装置は、1 自由度ごとにロータリエンコーダやリニアエンコーダ等

50

の測定装置を設けた構成としていた。例えば、2次元の位置決めを行なう場合は、上記のようにX方向またはY方向に独立して移動する積み上げた各ステージにそれぞれに位置計測装置を設けた構成のものや、或いは円周目盛と1軸ステージを組み合わせた測定装置で、回転の位置と半径の位置をそれぞれ独立に測定して位置決めするよう構成されたものがあつた。また、レーザ干渉変位計を用いてX、Y方向の位置を決める測定装置では、2つの変位計と、変位検出方向に直角な移動範囲に亘って形状精度の保証された高精度の直定規等を組合せ、これにより位置検出を行なう構成とされていた。

【0006】

また、従来において、移動物体のピッチング及びヨーイングに相当する姿勢を検出する場合は、オートコリメータが利用されるが、このオートコリメータは1軸の直線方向の移動に対して、そのピッチング及びヨーイングを同時に測定できる反面、X、Y方向の移動物体に対しては高精度の直定規を必要とする。

10

【0007】

更に、移動物体のローリングを測定する手段として水準器が知られているが、この水準器は応答速度や測定精度に問題があり、高精度の測定機器には不適合である。そこで、平行な2本の直定規を設置して、その直定規までの距離の差からローリング角を算出する方法や1本の直定規を基準の鏡面としてオートコリメータでローリング角を検出するようにしている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

20

しかしながら、上記のような駆動装置を用いたステージ装置では、上部に位置するステージが移動すると下部に位置するステージの重心が変動し、上部のステージの移動性に下部のステージの重心変動の影響が加算されてしまうという問題点があつた。この問題点を解決するには、各ステージの剛性を高める必要があるが、剛性を高めるとステージ装置全体の大きさが大きくなってしまふ。また、異なる複数のステージを積み上げた構成では、ステージ装置の構造が複雑化してしまひ、これによつてもステージ装置全体の大きさが大きくなってしまふ。

【0009】

また、上記のような位置計測装置を用いたステージ装置では次のような問題点が生じる。即ち、従来の位置計測装置に用いられるロータリエンコーダやリニアエンコーダ等の測定装置は、1次元の位置決めしかできず、2次元の位置決めには上記の測定装置を少なくとも2組組み合わせる必要があるが、移動物体検出装置の設計に大きな制約がある。

30

【0010】

また、レーザ干渉変位計を用いて位置決めする場合も本質的に1軸で1次元の位置決めしかできず、2次元の位置決めを行なう場合には、高い精度の直定規が必要になる。その結果、この種の位置計測装置をステージ装置に設ける場合、構造上に制約がありかつコスト高になるという問題点がある。

【0011】

本発明は上記の点に鑑みてなされたものであり、装置の小型化を図れると共に、ベースに対するステージの位置測定を高精度に行ないうるステージ装置を提供することを目的とする。

40

【0012】

【課題を解決するための手段】

上記の課題を解決するために本発明では、次に述べる各手段を講じたことを特徴とするものである。

【0013】

請求項1記載の発明に係るステージ装置は、

ベースと、

被移動体が載置されるステージと、

前記ベースまたは前記ステージのいずれか一方に取り付けられた一対の磁石列と、

50

前記ベースまたは前記ステージのいずれか他方に取り付けられた複数のコイル群と、  
基部の表面上または面内に形成され、角度に関する性質がX-Y方向の2次元方向に既知の関数で変化する角度格子から構成されており、前記ベース或いは前記ステージの内いずれか一方の中央部に配設された目盛と、

前記ベース或いは前記ステージの他方の中央部に配設されており、前記目盛の角度格子面に光を照射すると共に、該目盛で反射される反射光のX-Y方向の2次元角度を検出する2次元角度センサーとを有し、

前記一対の磁石列の間に前記目盛を設け、

前記複数のコイル群の間に前記2次元角度センサーを設けたことを特徴とするものである。

10

【0014】

上記発明によれば、装置の軽量化、剛性の向上、及び製造コストの低減を図ることができる。また装置が軽量化し、剛性の向上も図れることにより、制御面においても高周波領域までサーボ性能の確保することが可能となる。

【0015】

また、目盛が角度形状を表わす2次元の角度格子から形成されるため、単一の目盛に角度センサーを組み合わせるだけで移動物体の2次元の位置検出は勿論のこと、ピッチング角、ローリング角及びヨーイング角をも検出することが可能になる。また、角度格子とすることにより、直交座標、円筒座標、極座標もしくは自由曲面に沿う座標のような2次元の座標に関する位置検出も可能になる。

20

【0016】

更に、2次元角度センサーは、従来用いられていたレーザ干渉計等と比べてデッドパスが非常に小さいため、熱膨張による計測誤差や空気の揺らぎなどの影響を受け難く、よって高い位置及び姿勢計測を行なうことが可能となる。

【0017】

また、請求項2記載の発明は、

請求項1記載のステージ装置において、

前記一対の磁石列と前記目盛を前記ステージに配設すると共に、

前記複数のコイル群と前記2次元角度センサーを前記ベースに配設したことを特徴とするものである。

30

【0019】

また、請求項3記載の発明は、

請求項1記載のステージ装置において、

前記一対の磁石列は、複数の同等の永久磁石を極性が交互に現れるように直線上に配列した一対の磁石列であり、

前記複数のコイル群は、前記一対の磁石列のそれぞれに交差するように対向配置されると共に前記磁石列が発生する磁束と係合するよう取り付けられており、対向する磁石列の配列方向とほぼ平行な軸方向を有するコイルを含んで構成された一対のコイル群であり、

前記一対の磁石列の間に前記目盛を設け、

前記一対のコイル群の間に前記2次元角度センサーを設けたことを特徴とするものである。

40

【0020】

また、請求項4記載の発明は、

請求項1乃至3のいずれか1項に記載のステージ装置において、

前記2次元角度センサーを少なくとも3個設けたことを特徴とするものである。

【0021】

上記発明によれば、2次元の角度格子からなる目盛に少なくとも3個の2次元角度センサーを組み合わせることにより、目盛及び角度センサーの相対的移動における移動物体の2次元座標位置、ピッチング角、ローリング角及びヨーイング角を検出することができ、更に角度センサーに既知の所定の角度変化を与えることで、目盛と角度センサー間の距離も

50

検出することができる。

【 0 0 2 2 】

また、請求項 5 記載の発明は、

請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載のステージ装置において、

前記角度格子の角度形状の誤差を校正した結果に基づいて、前記角度格子による座標位置と姿勢角の測定結果の補正をする手段を備えることを特徴とするものである。

【 0 0 2 3 】

上記発明によれば、角度格子の角度形状の誤差を校正した結果に基づいて角度格子による座標位置と姿勢角の測定結果を補正する補正手段を備えることにより、角度格子を高精度に作成できない場合、校正データをメモリに格納しておき、このデータ間を内挿で近似演算させることで校正結果を基に測定データの補正を行なうことが可能になる。

10

【 0 0 2 4 】

また、請求項 6 記載の発明は、

請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載のステージ装置において、

前記被移動体を装着するチャックを前記ステージに対し着脱可能な構成とし、かつ、前記目盛を該チャックに配設したことを特徴とするものである。

【 0 0 2 5 】

上記発明によれば、被移動体が装着されることによりこの被移動体と一体的に取り扱われるチャックに目盛を設けたことにより、チャックとステージとの間に発生する誤差がなくなり、高精度の位置計測を行なうことができる。

20

【 0 0 2 6 】

また、請求項 7 記載の発明は、

請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載のステージ装置において、

前記目盛を前記被移動体に配設すると共に、前記ステージの前記 2 次元角度センサーと対向する領域に前記光を前記目盛に照射するための透明部を設けたことを特徴とするものである。

【 0 0 2 7 】

上記発明では、被移動体自体に目盛が配設されるため、チャッキングと目盛との間における誤差がなくなり、より高精度の位置計測を行なうことができる。また、被移動体に目盛が配設されても、ステージの 2 次元角度センサーと対向する領域には、光を目盛に照射するための透明部が設けられているため、ステージ（被移動体）の位置計測を行なうことができる。

30

【 0 0 2 8 】

【発明の実施の形態】

次に、本発明の実施の形態について図面と共に説明する。

【 0 0 2 9 】

図 1 及び図 2 は、本発明の一実施例であるステージ装置 1 0 を示している。図 1 はステージ装置 1 0 の分解斜視図であり、図 2 はステージ装置 1 0 の部分的に切り欠いた組み立てられた状態の斜視図である。このステージ装置 1 0 は、例えば半導体製造用のステッパ等において被移動体となるウェハを所定位置に移動させるのに用いられる装置である。

40

【 0 0 3 0 】

このステージ装置 1 0 は、大略するとベース 1 1、ステージ 1 2、サーフェスエンコーダ 2 4、及び駆動装置等により構成されている。ベース 1 1 はステージ装置 1 0 の基台となるものであり、後述するリニアモータ構造部 2 0 A、2 5 A、Z 方向電磁石 3 0、及び 2 次元角度センサー 1 4 A ~ 1 4 C 等が配設される。

【 0 0 3 1 】

また、ステージ 1 2 は被移動体となるウェハ 6 0 及びチャック 6 1 が上部に搭載される（図 1 6 参照）と共に、下部にはマグネット 1 5、1 6、ヨーク 1 7、及びスペーサ 1 8 を介して Z 方向用マグネット 1 9 が配設される。このステージ 1 2 は、ベース 1 1 に対して図中矢印 X 方向移動、Y 方向移動、及び Z 軸を中心とした回転移動が可能な構成とされて

50

いる。

【0032】

サーフェスエンコーダ24は、目盛13と、本実施例では3個の2次元角度センサー14A~14Cとにより構成されている。目盛13は、図3及び図5に拡大して示すように、基部41の表面上または面内に形成され、角度に関する性質がX-Y方向の2次元方向に既知の関数（本実施例では正弦波の山と谷の集合）で変化する角度格子40から構成されている。

尚、本実施例では3個の2次元角度センサー14A~14Cが配設されているが、以下の説明では、説明を容易にするために1個の2次元角度センサー14が配設されている構成を想定し説明するものとする（図3参照）。 10

【0033】

目盛13に形成された角度格子40の高さ形状 $f(X, Y)$ は、次式で与えられる。但し、次式において、 $A_x$ 、 $A_y$ はそれぞれX、Y方向の振幅であり、 $\lambda_x$ 、 $\lambda_y$ はその波長である。

【0034】

$f(x, y) = A_x \cdot \sin(2\pi x / \lambda_x) + A_y \cdot \sin(2\pi y / \lambda_y) \dots 1$  また、この角度格子40のX方向、Y方向の角度形状（2次元角度センサー14で測定したときの出力） $(x)$ 、 $(y)$ は、それぞれ角度格子40の形状を偏微分したもので表され、次式で与えられる。

【0035】

$$(x) = f / \lambda_x = (2\pi A_x / \lambda_x) \cdot \cos(2\pi x / \lambda_x) \dots 2$$

$$(y) = f / \lambda_y = (2\pi A_y / \lambda_y) \cdot \cos(2\pi y / \lambda_y) \dots 3$$

図3に示されるように、角度格子40をX、Yの2方向の角度変化が検出できる2次元角度センサー14で測定すると、角度格子形状の山に対する高さが同一でも、山の斜面の位置によって角方向の角度出力が異なるため、この違いから2次元位置を決定することができる。

これにより、ベース11或いはステージ12の内いずれか一方に目盛13を取り付け、他方に2次元角度センサー14を取り付けることで、それらの相対移動における移動体（即ち、ステージ12）の2次元座標を検出することができる。本実施例では、目盛13はステージ12の背面（ベース11と対向する面）の略中央位置に固定されている。 30

【0036】

図6は、本実施例で用いた目盛13に形成された角度格子40の一部を干渉顕微鏡で測定したものである。本実施例における角度格子40は、精密旋盤で直径55mm高さ10mmの円筒をしたアルミニウムを正面旋削により加工したものである。また、その高さ形状は、片振幅0.3 $\mu\text{m}$ 、周期300 $\mu\text{m}$ の正弦波の重ね合わせで表せられ、具体的には次式で与えられる。

$$f(X, Y) = 0.3 \cdot \sin(2\pi X / 300) + 0.3 \cdot \sin(2\pi Y / 300) [\mu\text{m}] \dots 4$$

尚、本実施例における角度格子40の角度振幅は $\pm 21.6$ 分である。

【0037】

一方、2次元角度センサー14は、ベース11に配設された構成とされている。この2次元角度センサー14は、図6に示されるような光学系により構成されている。この2次元角度センサー14を構成する光学系は、光源50、反射用プリズム52、53、57、58、ビームスプリッター54、1/4波長板55、コリメータレンズ56、及びフォトダイオード59等により構成されている。 40

【0038】

そして、光源50から発射され、グリッドフィルム51を通過し、反射用プリズム52、53で反射し方向を代えたレーザ光65は、そのp偏光成分がビームスプリッター54及び1/4波長板55を通過し、反射用プリズム58によって上向きに反射され、ステージ12に取り付けられた目盛13（角度格子40）に当たる。

【0039】

目盛13（角度格子40）で反射したレーザ光65は、再び1/4波長板55を通過して 50

s 偏光となりビームスプリッター 5 4 で反射し、コリメータレンズ 5 6 を通過し、その焦点距離の位置に置かれた 4 分割とされたフォトダイオード 5 9 に集光する。2 次元角度センサー 1 4 は、この様にレーザオートコリメーションの原理によって、2 次元の角度変化を検出する。

【 0 0 4 0 】

上記構成とされたサーフェスエンコーダ 2 4 では、角度格子 4 0 の形状が位置検出の基準となるので、形状に誤差が含まれると位置検出精度にも影響を与える。2 次元角度センサー 1 4 のプローブであるレーザビームが 1 本であったとき、その出力は角度格子 4 0 の格子ピッチの変化や形状誤差の影響を大きく受けてしまう。この誤差の影響は、複数のレーザビームを角度格子 4 0 の同位相に照射し、常に複数の山を観察できる構成とすることにより排除することができる。

10

【 0 0 4 1 】

そこで本実施例では、3 個の 2 次元角度センサー 1 4 A ~ 1 4 C をセンサー基板 3 3 に設け、これにより複数のレーザビームを角度格子 4 0 の同位相に照射する構成とし、角度格子 4 0 の形状のばらつき（格子ピッチ）の高周波成分、また、角度格子 4 0 の形状誤差の影響を平均して測定精度の向上を図っている。

【 0 0 4 2 】

また、角度格子 4 0 に 3 個の 2 次元角度センサー 1 4 A ~ 1 4 C を組み合わせることにより、目盛 1 3 及び 2 次元角度センサー 1 4 A ~ 1 4 C の相対的移動における移動物体の 2 次元座標位置、ピッチング角、ローリング角及びヨーイング角を検出することができ、更に 2 次元角度センサー 1 4 A ~ 1 4 C に既知の所定の角度変化を与えることで、目盛 1 3 と 2 次元角度センサー 1 4 A ~ 1 4 C 間の距離も検出することが可能となる。

20

【 0 0 4 3 】

更に、2 次元角度センサー 1 4 A ~ 1 4 C は、従来用いられていたレーザ干渉計等と比べてデッドパスが非常に小さいため、熱膨張による計測誤差や空気の揺らぎなどの影響を受け難く、よって高い位置及び姿勢計測を行なうことが可能となる。

【 0 0 4 4 】

続いて、駆動装置について説明する。

【 0 0 4 5 】

駆動装置は、ベース 1 1 に対してステージ 1 2 を X 方向移動、Y 方向移動、及び Z 軸を中心とした回転移動を行なわれるものである。この駆動装置は、ベース 1 1 に配設された X 方向リニアモータ構造部 2 0 A、2 0 B、Y 方向リニアモータ構造部 2 5 A、2 5 B、Z 方向電磁石 3 0 と、ステージ 1 2 に配設された X 方向用マグネット 1 5、Y 方向用マグネット 1 6、Z 方向用マグネット 1 9 等により構成されている。

30

【 0 0 4 6 】

X 方向リニアモータ構造部 2 0 A はベース 1 1 上に配設されており、一对の X 方向用コイル 2 1 A - 1、2 1 A - 2（双方をまとめていうときには X 方向用コイル 2 1 A という）と、X 方向用コア 2 2 A とにより構成されている。一对の X 方向用コイル 2 1 A - 1、2 1 A - 2 は図中矢印 X 方向に並設されており、それぞれ独立して電流を供給できる構成とされている。

40

【 0 0 4 7 】

また、X 方向リニアモータ構造部 2 0 B は X 方向リニアモータ構造部 2 0 A と同一構成とされており、X 方向用コイル 2 1 B（符号は付さないが、一对の X 方向用コイルにより構成されている）及び X 方向用コア 2 2 B とにより構成されている。この X 方向リニアモータ構造部 2 0 A と X 方向リニアモータ構造部 2 0 B は、前記した 2 次元角度センサー 1 4 A ~ 1 4 C の配設位置を挟んで、図中矢印 Y 方向に離間して配置された構成とされている。

【 0 0 4 8 】

一方、Y 方向リニアモータ構造部 2 5 A 及び Y 方向リニアモータ構造部 2 5 B も、前記した X 方向リニアモータ構造部 2 0 A と同様の構成とされている。即ち、Y 方向リニアモ

50

タ構造部 25A は Y 方向用コイル 26A (符号は付さないが、一对の Y 方向用コイルにより構成されている) と Y 方向用コア 27A とにより構成され、Y 方向リニアモータ構造部 25B は Y 方向用コイル 26B (符号は付さないが、一对の Y 方向用コイルにより構成されている) と Y 方向用コア 27B とにより構成されている。この Y 方向リニアモータ構造部 25A と Y 方向リニアモータ構造部 25B は、前記した 2 次元角度センサー 14A ~ 14C の配設位置を挟んで、図中矢印 X 方向に離間して配置された構成とされている。

【0049】

Z 方向電磁石 30 は、ベース 11 に対してステージ 12 を浮上させることにより、前記した X 方向用マグネット 15A と後述するステージ 12 に設けられた各マグネット 15, 16 との間にギャップを形成する機能を奏するものである。この Z 方向電磁石 30 は、Z 方向用コイル 31 と Z 方向用コア 32 とにより構成されている。また、浮上を安定化するため、矩形状とされたベース 11 の四隅位置にそれぞれ配設されている。尚、ベース 11 に対してステージ 12 を浮上させる手段は、本実施例で採用している磁気的手段の他にも、圧縮空気を用いる方法や、複数のポールでベース 11 を支持する手段等が考えられる。

10

【0050】

一方、前記したようにステージ 12 には X 方向用マグネット 15 及び Y 方向用マグネット 16 が配設されている。図に現れないが、各マグネット 15, 16 はそれぞれ一对ずつ合計 4 個が配設されている。従って、ステージ 12 を底面視した状態において、各マグネット 15, 16 は協働して略四角形をなすよう配置されている。

20

【0051】

X 方向用マグネット 15 は、複数の同等の永久磁石を極性が交互に現れるように直線状に配列した複数の磁石列 (小磁石の集合体) により構成されている。同様に、Y 方向用マグネット 16 も、複数の同等の永久磁石を極性が交互に現れるように直線状に配列した複数の磁石列により構成されている。各マグネット 15, 16 の上部にはヨーク 17 が配設されており、このヨーク 17 は各マグネット 15, 16 を構成する複数の各磁石を磁気的に結合する機能を奏する。

【0052】

上記構成において、ベース 11 に対しステージ 12 を装着した状態において、一对の X 方向用マグネット 15 の一方が X 方向リニアモータ構造部 20A 上に位置し、かつ他方の X 方向用マグネット 15 が X 方向リニアモータ構造部 20B 上に位置するよう構成されている。また、ベース 11 に対しステージ 12 を装着した状態において、一对の Y 方向用マグネット 16 の一方が Y 方向リニアモータ構造部 25A 上に位置し、かつ他方の Y 方向用マグネット 16 が Y 方向リニアモータ構造部 25B 上に位置するよう構成されている。

30

【0053】

また、ベース 11 がステージ 12 に装着された状態で、かつ Z 方向電磁石 30 によりステージ 12 がベース 11 に対し浮上した状態において、各マグネット 15, 16 が発生する磁界が対向するリニアモータ構造部 20A, 20B, 25A, 25B に係合するよう構成されている。更に、上記装着状態において、各マグネット 15, 16 は、各リニアモータ構造部 20A, 20B, 25A, 25B に設けられている各コイル 21A, 21B, 26A, 26B の巻回方向に対し直交するよう配置されている。

40

【0054】

駆動装置を上記構成とすることにより、X 方向リニアモータ構造部 20A, 20B と X 方向用マグネット 15 は協働して、ステージ 12 を図中矢印 X 方向に駆動するリニアモータとして機能する。同様に、Y 方向リニアモータ構造部 25A, 25B と Y 方向用マグネット 16 は協働して、ステージ 12 を図中矢印 Y 方向に駆動するリニアモータとして機能する。

【0055】

即ち、本実施例では X, Y 両方向にそれぞれ 2 組ずつのリニアモータが配置された構成となる。この構成とすることにより、装置中央部分に比較的大きな空間を確保できるため、この位置にサーフェスエンコーダ 24 を設置することができる。尚、本実施例ではステー

50

ジ 1 2 に目盛 1 3 を配設し、ベース 1 1 に 2 次元角度センサー 1 4 A ~ 1 4 C を配設した構成とした。これは、目盛 1 3 には配線を接続する必要がないためである。しかしながら、目盛 1 3 をベース 1 1 に配設し、2 次元角度センサー 1 4 A ~ 1 4 C をステージ 1 2 に設ける構成とすることも可能である。

【 0 0 5 6 】

また上記構成とされた駆動装置において、X 方向リニアモータ構造部 2 0 A と X 方向リニアモータ構造部 2 0 B のみを同時に同方向に駆動させると、ステージ 1 2 は図中矢印 X 方向に並進運動する。同様に、Y 方向リニアモータ構造部 2 5 A と Y 方向リニアモータ構造部 2 5 B のみを同時に同方向に駆動させると、ステージ 1 2 は図中矢印 Y 方向に並進運動する。また、対になった各リニアモータ構造部 2 0 A と 2 0 B、2 5 A と 2 5 B をそれぞれ逆方向に駆動させることにより、ステージ 1 2 は図中矢印 Z 軸まわり  $z$  の回転運動を行なう。

10

【 0 0 5 7 】

続いて、図 4 を用いて駆動装置によりステージ 1 2 が移動する原理について説明する。尚、説明を簡単化するため、ステージ 1 2 を X 方向に移動させる 1 つのリニアモータ ( X 方向用マグネット 1 5 と X 方向リニアモータ構造部 2 0 A ) を例に挙げて説明するものとする。

【 0 0 5 8 】

まず、図 4 ( A ) に示すように、X 方向用コイル 2 1 A - 2 に図に書かれた方向に電流を流すと、電流とそれに対向した X 方向用マグネット 1 5 との間に X 軸に沿った力が生じ、生じたそれぞれの力が釣り合ったところで X 方向用マグネット 1 5 は停止する。

20

この状態で図 4 ( B ) に示すように、X 方向用コイル 2 1 A - 1 に電流を流すと、X 方向用コイル 2 1 A - 1 に対向している X 方向用マグネット 1 5 にそれぞれ図に右向き力が生じる。この力により、X 方向用マグネット 1 5 ( 即ち、ステージ 1 2 ) が動き出し、図 4 ( C ) に示すように、X 方向用コイル 2 1 A - 1 と X 方向用コイル 2 1 A - 2 によって磁石に生じる力が釣り合った位置まで磁石は移動する。その後、図 4 ( D ) に示すように、X 方向用コイル 2 1 A - 2 の電流を切ると、X 方向用コイル 2 1 A - 1 の電流で力が釣り合う位置で移動する。上記した図 4 ( A ) ~ ( D ) の動作により、X 方向用マグネット 1 5 ( ステージ 1 2 ) が磁石半個分の距離  $d$  だけ移動する。

【 0 0 5 9 】

上記のように X 方向用コイル 2 1 A - 1、2 1 A - 2 に印加する電流を ON、OFF のみで駆動すると、磁石 1/4 個分ずつの移動しかできないが、図 4 ( C ) に示す状態で X 方向用コイル 2 1 A - 1、2 1 A - 2 に流す電流の大きさの比を変化させると、それに応じてそれぞれの電流の大きさに釣り合った位置まで X 方向用マグネット 1 5 が移動するので、半範囲内で任意の位置に磁石を移動させることができる。

30

また、対向する X 方向用マグネット 1 5 の極性に応じてコイルに印加する電流の方向を変化させることで、X 方向用マグネット 1 5 の配列の存在する範囲内で自由に駆動することができる。

【 0 0 6 0 】

上記した本実施例に係る駆動装置では、駆動分解能は X 方向用マグネット 1 5 を構成する複数の磁石の幅及び X 方向用コイル 2 1 A - 1、2 1 A - 2 の幅と、各コイル 2 1 A - 1、2 1 A - 2 への印加電圧を出力する D/A ボードの分解能によって決定される。例えば、上記の磁石及びコイルの幅が 10mm、D/A ボードが 16bit であると仮定すると、このステージの並進駆動の最小駆動量は 0.2 $\mu$ m、回転駆動では 0.5 秒となる。なお、駆動方式を改良することにより、ナノメートルオーダの駆動も可能である。

40

【 0 0 6 1 】

また本実施例では、通常の直流モータと異なり、常にステージ 1 2 に生じる力が釣り合う位置の付近でステッピングモータ状に駆動する。このため、各コイル 2 1 A - 1、2 1 A - 2 に印加する電圧を計算することによって、ステージ 1 2 のオープンループ駆動を行なうことができる。

50

尚、上記した駆動装置の説明では、ステージ12をX方向に移動させる1つのリニアモータ(X方向用マグネット15とX方向リニアモータ構造部20A)を例に挙げて説明したが、他のマグネット15, 16と、X方向リニアモータ構造部20B及びY方向リニアモータ構造部25A, 25Bとより構成されるリニアモータの駆動原理も同様である。

【0062】

上記構成とされた駆動装置では、一段構造でステージ12をX方向及びY方向の移動及びZ軸回りの回転を制御することが可能である。また、各方向毎のガイド構造を持つ必要はなく、最終ステージであるステージ12が直接駆動される構成のため、ステージ装置10の軽量化、剛性の向上、及び製造コストの低減を図ることができる。またステージ装置10が軽量化し、剛性の向上も図れることにより、制御面においても高周波領域までサーボ性能の確保することが可能となる。

10

【0063】

続いて、上記構成とされたステージ装置10において、本発明者が実際にステージ12を駆動させる実験を行なったときの実験結果について説明する。

尚、以下の実験では、サーフェスエンコーダ24の出力を用いないで駆動したものをオープンループ駆動、サーフェスエンコーダ24の出力を用いて位置情報をフィードバックしながら駆動を行なったものをクローズドループ駆動する。

【0064】

図7は、ステージ12をX方向にオープンループ駆動した時のサーフェスエンコーダ24の出力(2次元角度センサー14Aの出力)の様子を示している。同図より、X方向出力は±70%程度の振幅で周期的に変化していることが確認できる。また、図示しないが、Y方向についても同様の出力が得られた。

20

【0065】

ここで、サーフェスエンコーダ24の出力が0%となる点をゼロクロス点と呼ぶこととすると、このゼロクロス点同士の間隔は角度格子40(図3, 図5参照)の1周期分の波長300µmに対応する。サーフェスエンコーダ24では、このゼロクロス点の数から300µmずつの距離が、また、その間については正弦波状のサーフェスエンコーダ24の出力を内挿することにより求めることができる。

【0066】

そこで本実施例ではゼロクロス点の個数に注目し、以下説明する実験ではサーフェスエンコーダ24の出力のゼロクロス点(300µm)を目標にしたステージ12の位置決めを行なうこととした。

30

【0067】

図8は、ステージ12を微小並進駆動したときにおける、サーフェスエンコーダ24の出力変化の様子を示している。また、同じ微小並進駆動したときにおける、レーザ干渉測長機による測定結果も比較のために測定し、同図に示している。

【0068】

同図より、レーザ干渉測長機によって測定したステージ12の0.2µmの並進駆動に応じて、サーフェスエンコーダ24の出力も約0.2%変化していることが確認できる。これにより、レーザ干渉測長機の出力と同様の変化を、本実施例に係るサーフェスエンコーダ24によっても検出できていることが確認できる。

40

【0069】

次に、サーフェスエンコーダ24の出力を基準にして、目盛13に設けられた角度格子40の1周期分の300µm、及び角度格子40の5周期分の1.5mmの位置を目標にしたPTP(Point To Point)駆動での1軸位置決めを行なった実験結果について以下述べる。

【0070】

角度格子40の1周期分(300µm)のX方向1軸駆動を行なったときのステージ12の移動量を、外部からレーザ干渉測長機で観測した結果を図9に示す。同図より、ステージ12がX方向に約300µm駆動し、この時の位置決め誤差は1µmであることが判った。

【0071】

50

図10は、この時のサーフェスエンコーダ24のX方向出力を示している。ここで、図の横軸は制御する際に用いたデータのデータ番号である。また、図中T1～T3は、図9に示したT1～T3と時間的に対応している。

同図より、先ずスタートのゼロクロスを探し(図中のT1)、続いて角度格子40の1周期分駆動を行ない(図中のT2)、再びゼロクロスに落ち着いて(図中のT3)いることが確認できる。

#### 【0072】

また、同様に角度格子40の5周期分(1.5mm)のX方向1軸駆動を行った時の移動量を、外部からレーザ干渉測長機で観測した結果を図11に示す。これにより、ステージ12がX方向に約1.5mm駆動し、この時の位置決め誤差が6 $\mu$ mであることが判った。

図12は、この時のサーフェスエンコーダ24のX方向出力を示している。同様に、先ずスタートのゼロクロスを探し(図中のT1)、続いて角度格子40の5周期分駆動を行ない(図中のT2)、再びゼロクロスに落ち着いて(図中のT3)いることが確認できる。

#### 【0073】

また、オープンループ駆動で、300 $\mu$ mの距離を目標にXY各方向にそれぞれ進んで元の位置に戻るような電圧パターンを出力し、2次元繰り返し駆動を行なう実験を実施した。この時の駆動結果を図13に示す。同図に示されるように、目標位置との位置決め誤差は、X方向で100 $\mu$ m、Y方向で160 $\mu$ m程度であり、各地点における繰り返し性は、 $\pm$ 15 $\mu$ m程度であった。よって、オープンループ駆動では、目標の位置から大きく外れていることが判る。

#### 【0074】

これに対し、続いてサーフェスエンコーダ24の出力を基準に、角度格子40の1周期分(300 $\mu$ m)ずつの2次元繰り返し駆動を行なった。この時の駆動結果を図15に示す。同図に示されるように、位置決め誤差は、最大X方向で6 $\mu$ m、Y方向で2 $\mu$ mであった。また、各目標地点における2次元駆動の繰り返し性は、 $\pm$ 2 $\mu$ mであった。このように、ステージ12の位置検出にサーフェスエンコーダ24を用いることで、300 $\mu$ mを目標としたPTP駆動を行なうことができた。

#### 【0075】

図15は、ステージ12をA点(X=0 $\mu$ m, Y=0 $\mu$ m)を出発点、B点(X=900 $\mu$ m, Y=900 $\mu$ m)を目標位置にした4つのルート(図中、ルート1～ルート4で示す)で移動させたときの、それぞれの2次元パターン駆動の結果をまとめて示している。また、ルート1が300 $\mu$ mずつの交互のL字駆動、ルート2が900 $\mu$ mずつの斜め駆動、ルート4が900 $\mu$ mの斜め駆動である。同図に示す駆動においても、サーフェスエンコーダ24の出力を基準に駆動を行なっている。

#### 【0076】

同図に示されるように、目標位置B点における4つのルートによる位置決めの繰り返し性はX方向、Y方向共に $\pm$ 2.5 $\mu$ mの範囲内であった。これは、上記で述べた繰り返し性の範囲と略等しい。また、駆動の目標位置であるX=900 $\mu$ m, Y=900 $\mu$ mの地点における位置決め誤差は、X方向に関しては15 $\mu$ m程度、Y方向に関しては12 $\mu$ m程度であった。

#### 【0077】

これらの位置決め誤差は、主に角度格子40の形状誤差によるもので、それを校正することによって補正することで、より精度を高めることが可能である。具多的には、角度格子40の角度形状の誤差を校正した結果に基づいて角度格子40による座標位置と姿勢角の測定結果を補正する補正手段を設け、角度格子40を高精度に作成できない場合、校正データをメモリ等に格納しておき、このデータ間を内挿で近似演算させることで校正結果を基に測定データの補正を行なう構成としてもよい。

#### 【0078】

上記した実験結果より、目盛13及び2次元角度センサー14A～14Cよりなるサーフェスエンコーダ24をステージ装置10に組み込むことにより、ステージ12の高精度な位置検出(移動量検出)を行なうことができ、ステージ12の駆動制御の精度及び信頼性

10

20

30

40

50

を向上させることができる。

【0079】

次に、上記したステージ装置10の変形例について説明する。

【0080】

図17は、上記したステージ装置10の第1変形例であるステージ装置10Aを示す概略構成図である。尚、比較のため、図16に上記したステージ装置10の概略構成図を示している。また、図17及び図18において、ステージ装置10の構成と同一構成については同一符号を付してその説明を省略するものとする。

【0081】

上記したステージ装置10は、ステージ12の底面(ベース11と対向する面)に2次元角度センサー14と対向するよう目盛13を配設した構成とした。また、被移動体としてウェハ60を用いる場合、ステージ12上にチャック61を設け、このチャック61にウェハ60を保持させる構成としていた。

10

【0082】

これに対し、本変形例に係るステージ装置10Aは、ウェハ60を保持するチャック61Aをステージ12Aに対して着脱可能な構成とすると共に、目盛13をチャック61Aに配設した構成としている。

具体的には、ステージ12Aには装着部62が形成されており、チャック61Aはこの装着部62に挿入脱可能な構成とされている。これにより、チャック61Aはステージ12Aに対して着脱可能な構成とされている。また、チャック61Aの底面は、ステージ12Aに装着された状態において、ステージ12Aの底面から露出するよう構成されている。

20

【0083】

目盛13は、チャック61Aの底面に配設されている。よって、チャック61Aをステージ12Aに装着した状態において、目盛13はステージ12Aの底面から露出し、ベース11に設けられた2次元角度センサー14と対向した状態となる。

【0084】

これにより、2次元角度センサー14は、目盛13に向けレーザ光65を発射すると共にその反射光を入射することが可能となるため、ステージ12Aの位置測定を行なうことが可能となる。また本変形例では、ウェハ60と一体的に取り扱われるチャック61Aに目盛13を設けているため、チャック61Aとステージ12Aとの間に誤差が生じて、これがサーフェスエンコーダ24の測定結果に影響を与えることがなくなり、よって高精度の位置計測を行なうことができる。

30

【0085】

図18は、上記したステージ装置10の第2変形例であるステージ装置10Bを示す概略構成図である。

本変形例では、目盛13を被移動体となるウェハ60の背面側に直接配設したことを特徴としている。また、ウェハ60の背面側に配設された目盛13を2次元角度センサー14で確認できるよう、ステージ12Bの目盛13と対向する領域には、2次元角度センサー14から照射されたレーザ光65が目盛13に照射されるように透明部63が設けられている。

40

【0086】

目盛13はウェハ60に貼り付ける等により固定してもよく、またウェハ60を直接加工することにより一体的に形成する構成としてもよい。これにより、目盛13はウェハ60と一体化した構成となる。また、透明部63は、例えばステージ12Bに嵌めこまれたガラス或いは透明樹脂により構成されている。

【0087】

本変形例では、被移動体となるウェハ60自体に目盛13が配設されるため、上記した第2変形例に係る構成で発生するおそれがある、チャック61Aと目盛13との間における誤差の発生を防止でき、より高精度の位置計測を行なうことができる。また、ウェハ60に目盛13が配設されても、ステージ12Bの2次元角度センサー14と対向する領域(

50

移動範囲わたり対向するよう設定されている)には、レーザ光65を目盛13に照射するための透明部63が設けられているため、ステージ12(ウェハ60)の位置計測を確実にこなうことができる。

【0088】

尚、上記した本発明は、半導体製造装置のみならず、マイクロマシン、IT用光通信部品等、今後微細加工を必要とする分野に広く適用することが可能である。即ち、現在のマイクロマシン製造技術の多くは半導体製造技術を利用しており、本発明を用いることにより、より微細で多様なマイクロマシンを製造することが可能となる。

また、レーザ加工の分野では、サブミクロンの精度で超高速に動くステージが要求されている。また、複雑な形状を加工するために、自由度の高いステージが必要となる。従来のステージ装置では、これらの要求を満たすものは無かったが、本発明のステージ装置は、高精度、高速、多自由度を実現できるため、レーザ加工用ステージとしても用いることができる。更に、本発明は、上記した分野だけではなく、超精密機器、超精密計測装置、マウンター等の、電子部品の組み立て、検査装置、或いはオフィスオートメーション分野においても適用することが可能である。

10

【0089】

【発明の効果】

上述の如く本発明によれば、次に述べる種々の効果を実現することができる。

【0090】

請求項1記載の発明によれば、装置の軽量化、剛性の向上、及び製造コストの低減を図ることができ、これに伴い制御面においても高周波領域までサーボ性能の確保することが可能となる。

20

【0091】

また、2次元角度センサーは、従来用いられていたレーザ干渉計等と比べてデッドパスが非常に小さいため、熱膨張による計測誤差や空気の揺らぎなどの影響を受け難く、よって高い位置及び姿勢計測を行なうことが可能となる。

【0092】

また、請求項2及び請求項3記載の発明によれば、一段構造の駆動装置でも、ステージをベースに対してX、Y方向移動及びZ軸回りの回転移動させることが可能となる。

【0093】

また、請求項4記載の発明によれば、目盛及び角度センサーの相対的移動における移動物体の2次元座標位置、ピッチング角、ローリング角及びヨーイング角を検出することができ、更に角度センサーに既知の所定の角度変化を与えることで、目盛と角度センサー間の距離も検出することができる。

30

【0094】

また、請求項5記載の発明によれば、角度格子を高精度に作成できない場合、校正データをメモリに格納しておき、このデータ間を内挿で近似演算させることで校正結果を基に測定データの補正を行なうことが可能になる。

【0095】

また、請求項6記載の発明によれば、チャックとステージとの間に発生する誤差がなくなり、高精度の位置計測を行なうことができる。

40

【0096】

また、請求項7記載の発明によれば、チャッキングと目盛との間における誤差がなくなり、より高精度の位置計測を行なうことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例であるステージ装置の分解斜視図である。

【図2】本発明の一実施例であるステージ装置の部分的に切り欠いた斜視図である。

【図3】本発明の一実施例であるステージ装置に設けられる目盛及び2次元角度センサーを説明するための図である。

【図4】ステージが駆動する原理を説明するため図である。

50

【図 5】本発明の一実施例であるステージ装置に設けられる目盛を拡大して示す図である。

【図 6】本発明の一実施例であるステージ装置に設けられる 2 次元角度センサーの光学系を説明するための図である。

【図 7】本発明の一実施例であるステージ装置を X 方向にオープンループ駆動したときの 2 次元角度センサーの出力を示す図である。

【図 8】本発明の一実施例であるステージ装置を微小並進駆動したときの 2 次元角度センサーの出力をレーザ干渉測長機の出力と比較して示す図である。

【図 9】本発明の一実施例であるステージ装置において、角度格子 1 周期分の X 方向 1 軸駆動を行なったときのステージの移動量をレーザ干渉測長機で測定した結果を示す図である。

10

【図 10】本発明の一実施例であるステージ装置において、角度格子 1 周期分の X 方向 1 軸駆動を行なったときのステージの移動量を 2 次元角度センサーで測定した結果を示す図である。

【図 11】本発明の一実施例であるステージ装置において、角度格子 5 周期分の X 方向 1 軸駆動を行なったときのステージの移動量をレーザ干渉測長機で測定した結果を示す図である。

【図 12】本発明の一実施例であるステージ装置において、角度格子 5 周期分の X 方向 1 軸駆動を行なったときのステージの移動量を 2 次元角度センサーで測定した結果を示す図である。

20

【図 13】本発明の一実施例であるステージ装置において、オープンループ駆動でステージを所定方向に移動させた後元に戻る 2 次元繰り返し駆動を行なったときの駆動結果を示す図である。

【図 14】本発明の一実施例であるステージ装置において、角度周期 1 周期分ずつの 2 次元繰り返し駆動を行なったときの 2 次元角度センサーの出力を示す図である。

【図 15】本発明の一実施例であるステージ装置において、A 点を出発位置、B 点を目標位置とした 4 つのルートの 2 次元駆動したときの 2 次元角度センサーの出力を示す図である。

【図 16】本発明の一実施例であるステージ装置の概略構成図である。

【図 17】本発明の一実施例であるステージ装置の第 1 変形例であるステージ装置の概略構成図である。

30

【図 18】本発明の一実施例であるステージ装置の第 2 変形例であるステージ装置の概略構成図である。

【符号の説明】

10, 10A, 10B ステージ装置

11 ベース

12, 12A, 12B ステージ

13 目盛

14A ~ 14C 2次元角度センサー

15 X方向用マグネット

40

16 Y方向用マグネット

17 ヨーク

18 スペーサ

19 Z方向用マグネット

20A, 20B X方向リニアモータ構造部

21A, 21A-1, 21A-2, 21B X方向用コイル

22A, 22B X方向用コア

25A, 25B Y方向リニアモータ構造部

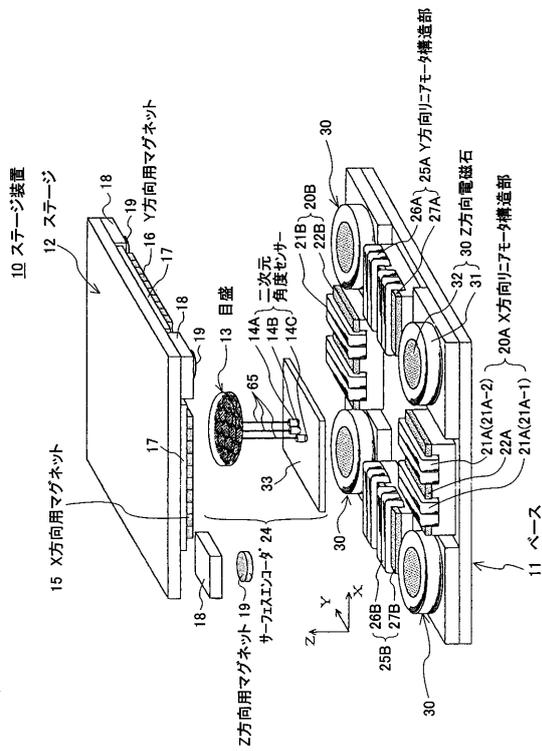
26A, 26B Y方向用コイル

27A, 27B Y方向用コア

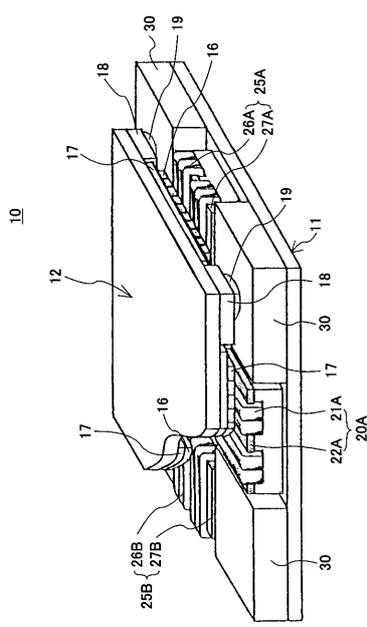
50

- 30 Z方向電磁石
- 31 Z方向用コイル
- 32 Z方向用コア
- 40 角度格子
- 41 基部
- 50 光源
- 54 ビームスプリッター
- 55 1/4波長板
- 56 コリメータレンズ
- 60 ウェハ
- 61, 61A チャック
- 62 装着部
- 63 透明部

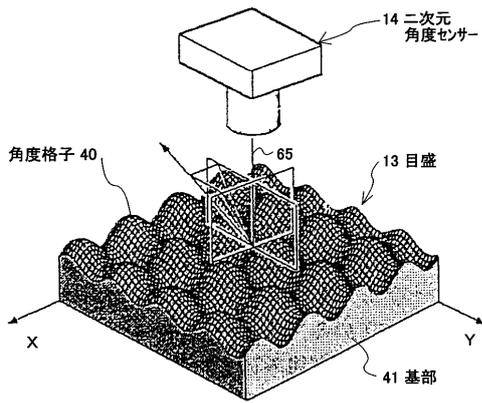
【図1】



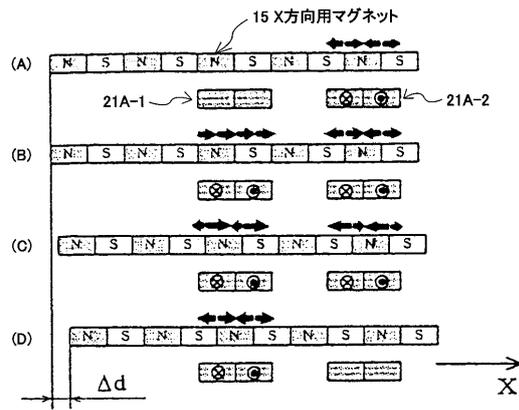
【図2】



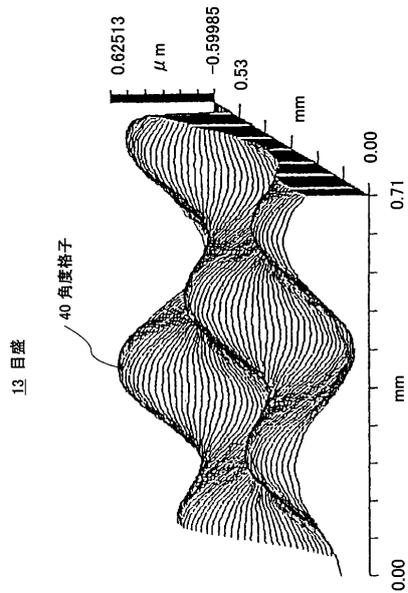
【図3】



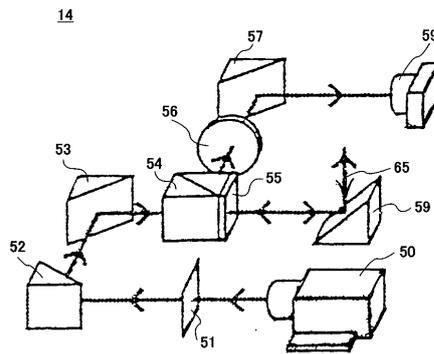
【図4】



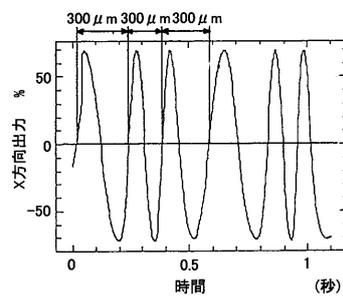
【図5】



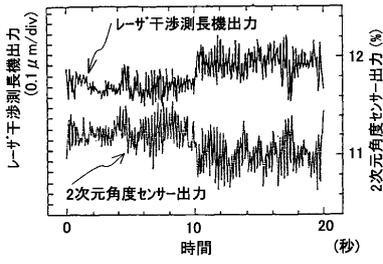
【図6】



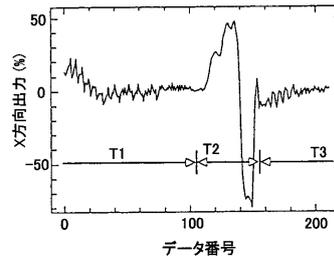
【図7】



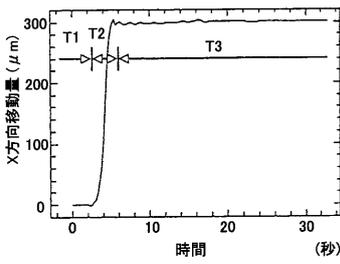
【 図 8 】



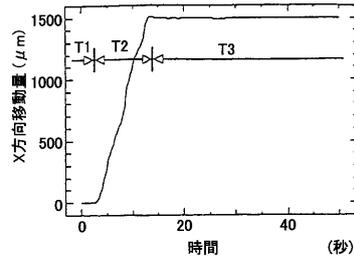
【 図 10 】



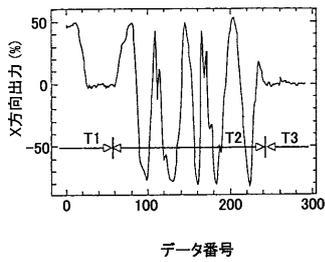
【 図 9 】



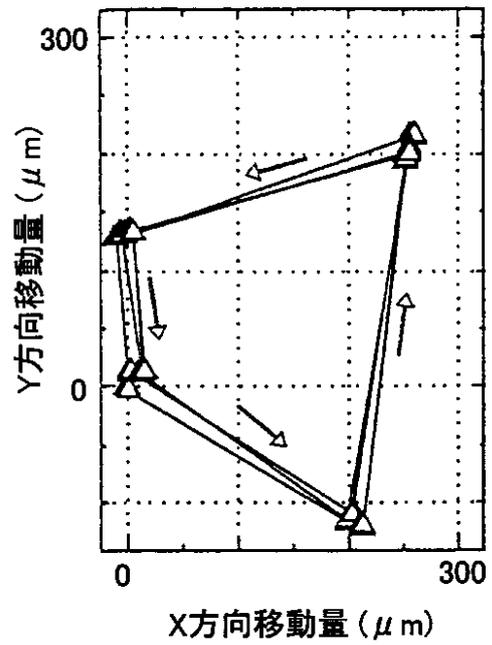
【 図 11 】



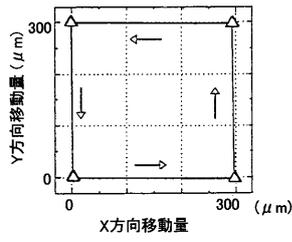
【 図 12 】



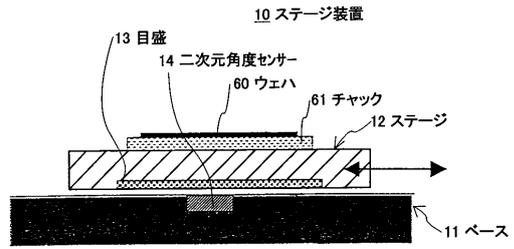
【 図 13 】



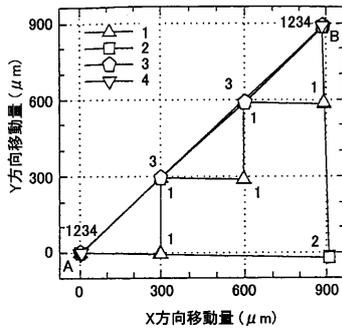
【図14】



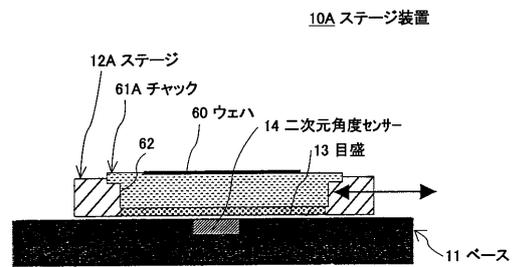
【図16】



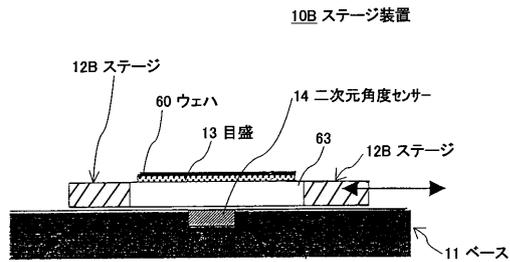
【図15】



【図17】



【図18】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
H 0 2 K 41/03 (2006.01) H 0 2 K 41/03 B

(72)発明者 富田 良幸  
神奈川県平塚市夕陽ヶ丘63番30号 住友重機械工業株式会社平塚事業所内

審査官 新井 重雄

(56)参考文献 特開平10-223527(JP,A)  
特開平10-038549(JP,A)  
特開平08-051756(JP,A)  
国際公開第99/40613(WO,A1)  
特開平02-035709(JP,A)  
特開平07-270122(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027  
G01B 11/26  
G12B 5/00  
H01L 21/68  
H02K 41/02  
H02K 41/03