

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6105901号
(P6105901)

(45) 発行日 平成29年3月29日 (2017.3.29)

(24) 登録日 平成29年3月10日 (2017.3.10)

(51) Int.Cl.

F I

G O 3 F 7/20 (2006.01)

G O 3 F 7/20 5 2 1

H O 1 L 21/68 (2006.01)

H O 1 L 21/68 F

G O 1 B 11/26 (2006.01)

G O 1 B 11/26 G

請求項の数 19 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2012-246663 (P2012-246663)
 (22) 出願日 平成24年11月8日 (2012.11.8)
 (65) 公開番号 特開2014-96456 (P2014-96456A)
 (43) 公開日 平成26年5月22日 (2014.5.22)
 審査請求日 平成27年11月6日 (2015.11.6)

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100076428
 弁理士 大塚 康德
 (74) 代理人 100112508
 弁理士 高柳 司郎
 (74) 代理人 100115071
 弁理士 大塚 康弘
 (74) 代理人 100116894
 弁理士 木村 秀二
 (74) 代理人 100130409
 弁理士 下山 治
 (74) 代理人 100134175
 弁理士 永川 行光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ステージ装置及びその調整方法、露光装置並びにデバイス製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ステージと、該ステージに設置されたミラーの表面の位置を計測可能に配置された干渉計測器と、該干渉計測器の計測結果に基づいて前記ステージを位置決めする駆動部とを備えたステージ装置であって、

前記干渉計測器は、

計測光が前記ミラーに入射する入射位置を変動させる変動部と、

前記入射位置の変動に伴って発生する前記干渉計測器の計測結果の変動量に基づいて、軸の周りの前記ミラーの回転を検出する検出部と、を含み、

前記変動部は、前記軸に平行な軸の周りの前記計測光の角度を変動させることにより前記入射位置を変動させる、

ことを特徴とするステージ装置。

【請求項 2】

前記駆動部は、検出された前記ミラーの回転に基づいて前記ステージを位置決めすることを特徴とする請求項 1 に記載のステージ装置。

【請求項 3】

前記検出部は、前記変動部から前記ミラーまでの前記計測光の光路長に基づいて前記ミラーの回転を検出することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のステージ装置。

【請求項 4】

前記干渉計測器は、レーザー光源と、前記レーザー光源から出射された光を参照光と計

10

20

測光に分離し、前記ミラーで反射された計測光と参照ミラーで反射された参照光とを干渉させる干渉計と、を含み、

前記変動部は、前記計測光の光路上の前記レーザー光源と前記干渉計との間に配置されることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載のステージ装置。

【請求項 5】

前記変動部は、前記計測光の角度を周期的に変動させることによって前記入射位置を周期的に変動させることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載のステージ装置。

【請求項 6】

前記変動部は、前記計測光を前記ミラーが延びる方向に沿って周期的にシフト移動させることによって前記入射位置を周期的に変動させることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載のステージ装置。

【請求項 7】

前記変動部は、前記ステージの位置制御系の制御帯域を超える周波数で前記入射位置を周期的に変動させることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載のステージ装置。

【請求項 8】

前記検出部は、前記ステージの回転位置を変化させて得られた前記計測結果の変動量の変化が閾値内となる回転位置を決定し、

前記駆動部は、決定された前記回転位置に基づいて前記ステージを位置決めすることを特徴とする請求項 1、3 乃至 7 のいずれか 1 項に記載のステージ装置。

【請求項 9】

ステージと、該ステージに設置されたミラーの表面の位置を計測可能に配置された干渉計測器と、該干渉計測器の計測結果に基づいて前記ステージを位置決めする駆動部とを備えたステージ装置であって、

前記干渉計測器は、

計測光が前記ミラーに入射する入射位置を変動させる変動部と、

前記入射位置の変動に伴って発生する前記干渉計測器の計測結果の変動量に基づいて、前記ミラーの回転を検出する検出部と、を含み、

前記検出部は、前記ステージの回転位置を変化させて得られた前記計測結果の変動量の変化が閾値内となる回転位置を決定し、

前記駆動部は、決定された前記回転位置に基づいて前記ステージを位置決めすることを特徴とするステージ装置。

【請求項 10】

前記検出部は、前記ステージの回転位置を変化させて得られた前記計測結果の変動量の変化が最小となる回転位置を決定することを特徴とする請求項 8 又は 9 に記載のステージ装置。

【請求項 11】

前記干渉計測器は、検出された前記ミラーの回転に基づいて前記ステージの位置及び姿勢の情報を初期化する初期化ユニットを備えることを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載のステージ装置。

【請求項 12】

前記初期化ユニットは、検出された前記ミラーの回転に基づいて前記計測光と前記ミラーとが直交するように前記ステージの位置及び姿勢の情報を初期化することを特徴とする請求項 11 に記載のステージ装置。

【請求項 13】

前記初期化ユニットは、検出された前記ミラーの回転のほか前記ミラーの形状にさらに基づいて、前記ステージの位置及び姿勢の情報を初期化することを特徴とする請求項 11 又は 12 に記載のステージ装置。

【請求項 14】

10

20

30

40

50

前記検出部が検出する、前記ミラーの回転、とは、前記変動部が前記入射位置を変動させていない間の前記計測光の光路に垂直な面に対する、前記ミラーの表面の傾きであることを特徴とする請求項 1 乃至 13 のいずれか 1 項に記載のステージ装置。

【請求項 15】

前記変動部は、前記計測光の角度を周期的に変動させ、

前記検出部は、前記干渉計測器による測長値から前記計測光の角度の変動の周波数における振幅を求め、該振幅に基づいて前記ミラーの回転を検出する、

ことを特徴とする請求項 1 乃至 14 のいずれか 1 項に記載のステージ装置。

【請求項 16】

前記変動部は、前記ステージの位置制御系の制御帯域を超える周波数で前記計測光の角度を変動させる、

ことを特徴とする請求項 15 に記載のステージ装置。

【請求項 17】

レチクルに形成されたパターンを基板に投影して基板を露光する露光装置であって、

前記レチクル及び前記基板の少なくともいずれかを保持する請求項 1 乃至 16 のいずれか 1 項に記載のステージ装置を備えることを特徴とする露光装置。

【請求項 18】

請求項 17 に記載の露光装置を用いて基板を露光する工程と、

露光された前記基板を現像する工程と、

を含むデバイス製造方法。

【請求項 19】

ステージと、該ステージに設置されたミラーの表面の位置を計測可能に配置された干渉計測器と、該干渉計測器の計測結果に基づいて前記ステージを位置決めする駆動部とを備えたステージ装置の調整方法であって、

計測光が前記ミラーに入射する入射位置を変動させる工程と、

前記入射位置の変動に伴って発生する前記干渉計測器の計測結果の変動量に基づいて、軸の周りの前記ミラーの回転を検出する工程と、

検出された前記ミラーの回転に基づいて前記駆動部により前記ステージを位置決めする工程と、を含み、

前記入射位置を変動させる工程では、前記軸に平行な軸の周りの前記計測光の角度を変動させることにより前記入射位置を変動させる、

ことを特徴とする調整方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ステージ装置及びその調整方法、露光装置並びにデバイス製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来技術のステージ装置において、ステージの Z 軸周りの角度（ θ_z ）を計測するための一例として、レーザー干渉計の X 干渉計に角度検出機構を設けたものが開示されている（特許文献 1）。ここでは、X 干渉計から照射された X 計測光が、ステージの微動ステージの X パーミラーで反射した後、ビームスプリッタで分岐され、角度検出機構に入射する。角度検出機構は、X 計測光のずれを検出することで、微動ステージの Z 軸周りの角度（ θ_z ）の相対的な変化を算出している。

【0003】

図 9 に示すように、ステージ装置では、装置立ち上げ時にステージ 100 の位置の初期化を行う。ステージ 100 は微動ステージ 101 と粗動ステージ 102 とで構成される。ステージ 100 の位置の初期化によって、ステージ位置決め基準が算出される。ステージ定盤 103 上にある 3 本の位置決めピン 104 に粗動ステージ 102 が押し当てられる

10

20

30

40

50

。この状態でレーザー干渉計 105 における X 干渉計 106 の X 計測光 107 によって微動ステージ 101 の X パーミラー 110 の位置を計測する。また、Y 干渉計 108 の Y 計測光 109 によって Y パーミラー 111 の位置を計測する。さらに初期化ユニット 112、113 で X 干渉計 106、Y 干渉計 108 の測長値を 0 にリセットすることで基準を算出する。位置決めピン 104 は、粗動ステージ 102 が押し当てられた時に、基準座標系に対する微動ステージ 101 の絶対角度 Z が 0 となるように設計されている。

【0004】

しかし、この方式では、そもそも位置決めピン 104 が微動ステージ 101 の絶対角度 Z が十分な精度で 0 になるように調整されている保証はない。また、調整されているとしても、位置決めピンへの押し当てによる初期化では、粗動ステージ 102 の押しあて方によって、ずれが生じ、微動ステージ 101 の絶対角度 Z は十分な精度で 0 にならない可能性が高い。さらに、位置決めピン 104 が経年的に摩耗する可能性がある。位置決めピン 104 に粗動ステージ 102 をずれなく押し当てていても、その状態ですでに微動ステージ 101 が傾きをもってしまう可能性がある。以上より、上記のような初期化動作を行っても、X 計測光 107 と X パーミラー 110 とがなす角 XS_z 、及び、Y 計測光 109 と Y パーミラー 111 とがなす角度 YS_z は十分な精度で 90° になっていない可能性が高い。従来のステージ装置のレーザー干渉計 105 では、ステージ初期化状態に対する微動ステージ 101 の角度 Z の相対変化は計測できる。しかし、レーザー干渉計 105 における X 計測光 107 と X パーミラー 110 とがなす角度 SX_z 、Y 計測光 109 と Y パーミラー 111 とがなす角度 SY_z は分からない。

【0005】

このような状態で、レーザー干渉計 105 のレーザーまたは X 計測光 107、Y 計測光 109 の出射角度が変化すると、レーザー干渉計 105 に測長誤差が発生する。図 10 に X 計測光 107 と X パーミラー 110 が Z 軸周りに直交していない場合のレーザー干渉計 105 の測長誤差を示す。レーザー光源 114 のレーザー出射口でレーザー 115 の出射角度が変化しているとする。レーザー光源 114 から X パーミラー 110 までの距離を L 、X 計測光 107 と X パーミラー 110 のなす角度を X 計測光 107 から反時計回りに S_z とする。レーザー 115 の Z 軸周りの出射角度の変化量をレーザー 115 から反時計回りに L_1 、時計回りに L_2 とする。このとき、X 干渉計 106 の測長誤差 E は、次式 1 で表される。

$$E = E_{L_1} + E_{L_2} \\ = L \times \tan(L_1 + L_2) \times \tan|S_z - \pi/2| \cdots (1)$$

【0006】

L_1 、 L_2 、 $(S_z - \pi/2)$ はゼロ近傍の角度である。したがって、X 干渉計 106 の測長誤差 E は、次式 1' で近似される。

$$E = L \times (L_1 + L_2) \times |S_z - \pi/2| \cdots (1')$$

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献 1】特開平 10 - 261570 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

式 (1') で、 $L = 1\text{m}$ 、 $S_z = (5 \times 10^{-4} + \pi/2)\text{rad}$ 、 $L_1 + L_2 = 5 \times 10^{-6}\text{rad}$ とすると、測長誤差 E は 2.5nm となりナノオーダーの分解能が求められるステージ装置の位置決めにおいては問題となる。

【0009】

レーザー出射角度の変化は、レーザー干渉計 105 のレーザー光源 114 から X 干渉計 106 に至るまでの光路（コモンパス）での局所的な温度分布の時間変化や、レーザー光源 114 やビームスプリッタなど光学部品の振動などによって発生する。特にコモンパス

周辺は、レーザー光源 1 1 4 などの発熱体があるにも関わらず、微動ステージ 1 0 1 の位置を計測する空間と異なって積極的な温度管理がなされていないことが多い。そのため、コモンパス周辺では温度分布の時間変化が起きやすく、光の屈折によりレーザー 1 1 5 の出射角度の変化が起きる可能性が高い。

【 0 0 1 0 】

本発明は、ステージの回転を高精度で計測できるステージ装置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】

【 0 0 1 1 】

本発明の 1 側面は、ステージと、該ステージに設置されたミラーの表面の位置を計測可能に配置された干渉計測器と、該干渉計測器の計測結果に基づいて前記ステージを位置決めする駆動部とを備えたステージ装置であって、前記干渉計測器は、計測光が前記ミラーに入射する入射位置を変動させる変動部と、前記入射位置の変動に伴って発生する前記干渉計測器の計測結果の変動量に基づいて、軸の周りの前記ミラーの回転を検出する検出部と、を含み、前記変動部は、前記軸に平行な軸の周りの前記計測光の角度を変動させることにより前記入射位置を変動させる、ことを特徴とするステージ装置。

【発明の効果】

【 0 0 1 2 】

本発明によれば、ステージの回転を高精度で計測できるステージ装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 3 】

【図 1】第 1 実施形態のステージ装置を示した図である。

【図 2】第 1 実施形態のステージ装置を示した図である。

【図 3】第 1 実施形態のステージ装置を示した図である。

【図 4】第 1 実施形態のステージ装置を示した図である。

【図 5】第 1 実施形態のステージ装置を示した図である。

【図 6】第 2 実施形態のステージ装置を示した図である。

【図 7】第 2 実施形態のステージ装置を示した図である。

【図 8】第 3 実施形態のステージ装置を示した図である。

【図 9】従来のステージ装置を示した図である。

【図 1 0】従来のステージ装置を示した図である。

【図 1 1】第 4 実施形態の露光装置を示した図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 4 】

以下に、本発明の好ましい実施形態を添付の図面に基づいて詳細に説明する。

【 0 0 1 5 】

〔第 1 実施形態〕

図 1 ～図 5 は本発明の第 1 実施形態のステージ装置を示す図である。図 1 に示すように、ステージ装置のステージ 1 は、微動ステージ 2 と粗動ステージ 3 とで構成される。微動ステージ 2 は、ウエハ（基板）などの対象物を保持した状態で位置決めされる。粗動ステージ 3 は主に X Y 方向に長距離移動する。粗動ステージ 3 を駆動するために、リニアモーター、平面モーターなどが使用される。微動ステージ 2 は、電磁継手などによって粗動ステージ 3 に追従し、主に 6 軸（X、Y、Z、 $-X$ 、 $-Y$ 、 $-Z$ ）の微小移動を行う。微動ステージ 2 を駆動するために、リニアモーターなどが使用される。

【 0 0 1 6 】

レーザー干渉計システム（干渉計測器）4 は、微動ステージ 2 の側面に設置されたミラーの表面の位置を設置可能に配置される。レーザー干渉計システム 4 は、レーザー光源 5、ビームスプリッタ 6、X 干渉計 7、Y 干渉計 8 で構成される。レーザー光源 5 から出射されたレーザー 9 は、ビームスプリッタ 6 によって分岐され、X 干渉計 7、Y 干渉計 8 に

到達する。X干渉計7、Y干渉計8は、レーザーを参照光と計測光に分離し、参照光は干渉計内の参照ミラーに向かう（不図示）。X計測光10及びY計測光11はそれぞれ微動ステージ2に取り付けられたXバーミラー12、Yバーミラー13に向かう。X干渉計7によって微動ステージ2のX方向の相対移動距離を計測し、Y干渉計8によって微動ステージ2のY方向の相対移動距離を計測する。参照ミラーで反射した参照光と、バーミラーで反射した計測光はX干渉計7、Y干渉計8においてそれぞれ再結合し干渉光を生成する。この干渉光の強度変化を検出することでX方向及びY方向の相対移動距離が計測される。X干渉計7、Y干渉計8は、それぞれXバーミラー12、Yバーミラー13の回転を検出する検出部14、15を備える。

【0017】

レーザー干渉計システム4は、レーザー光源5と、レーザー9をX干渉計7及びY干渉計8へと分岐するビームスプリッタ6との間の光路に、レーザー9がXバーミラー12、Yバーミラー13に入射する入射位置を周期的に変動する変動部16を備える。レーザー光源5とX干渉計7またはY干渉計8までの光路は、レーザー9が参照光と計測光に分かれておらず、コモンパスと呼ばれる。変動部16は、空間的な制約が少ない場所に配置されることが好ましい。好適には、レーザー光源5とX干渉計7またはY干渉計8との間に配置され、レーザー光源5とビームスプリッタ6との間に配置される。図2にレーザーの入射位置を変動させる変動部16の一例を示す。図2に示される変動部16は、3つの固定ミラー17と1つの角度可変ミラー18及びピエゾアクチュエータ19によって構成される。変動部16から出射するレーザーのYZ平面の座標は、角度可変ミラー18のミラー固定時に、変動部16に入射するレーザーのYZ平面の座標と同じになるようにする。このときの角度可変ミラー18の角度を、角度可変ミラー18の初期角度とする。変動部16によって、レーザー9のZ軸周りの角度とその変動周波数を制御する。ピエゾアクチュエータ19によって角度可変ミラー18のZ軸周りの角度を制御し、レーザー9のZ軸周りの角度を周期的に変動させる。角度可変ミラー18は初期角度を基準にして変動させる。ピエゾアクチュエータ19の制御によってレーザー9の角度を変動させる周波数も制御する。

【0018】

第1実施形態のステージ装置では、装置の立ち上げ時にステージ1の位置及び姿勢の初期化を行う初期化ユニット20、21を備える。はじめに微動ステージ2を粗動ステージ3に対して固定し、微動ステージ2の初期化を完了させる。次に、図3に示すように、ステージ定盤上にある3つの位置決めピン22に粗動ステージ3を押し当てる。この状態でレーザー干渉計システム4によって微動ステージ2の位置を計測し、初期化ユニット20でX干渉計7の測長値を0にリセットする。

【0019】

ステージ1の位置及び姿勢の初期化後、ステージ1を位置決め制御状態にして位置決めピン22から離れた位置Aに移動させ、ステージ1を浮上させたままの状態に静止させる。位置Aは、その場で微動ステージ2をZ軸周りに回転させても位置決めピン22と干渉しない位置であり、かつ、レーザー干渉計システム4で微動ステージ2の位置を計測できる位置である。

【0020】

位置Aにステージ1を静止させた状態で、変動部16によってレーザー9のZ軸周りの角度を周期的に変動させる。変動させる角度は、レーザー9から反時計周りの角度の変動量を $L1$ 、時計周りの角度の変動量を $L2$ として、 $L1 = L2 = 2.5 \mu rad$ 程度が望ましい。角度の変動周波数 f は、位置決め状態のステージ1が追従せず、かつ、ステージ1の制御に影響しない、ステージ1の位置制御系の制御帯域を超える周波数 f に設定する。ステージ1の制御帯域が $200 Hz$ であれば、周波数 f は、その5倍以上の $1 kHz$ 程度とすることができる。

【0021】

ここで、微動ステージ2の回転位置がZ軸周りに未知の角度 Z だけずれており、X計

10

20

30

40

50

測光 10 と X パーミラー 12 とのなす角度が X 計測光から反時計回りに S_z であるとする。X パーミラー 12 の形状に反りや変形がなく、X パーミラー 12 の反射面と、微動ステージ 2 の側面とが平行である場合は、 $Z = S_z - \quad / 2$ である。このとき、レーザー 9 の Z 軸周りの角度を変動させ、X 干渉計 7 で微動ステージ 2 の位置を計測すると、測長値には測長誤差が発生する。

【0022】

レーザー干渉計システム 4 の測長誤差 E は、角度変動量 L_1 のときの測長誤差を E_{L_1} 、角度変動量 L_2 のときの測長誤差を E_{L_2} 、変動部 16 から X パーミラー 12 までの距離を L とすると、次式 2 で表される。ここで、距離 L は変動部 16 から X パーミラー 12 までの計測光の光路長を示す。

$$\begin{aligned} E &= E_{L_1} + E_{L_2} \\ &= 2 \times E_{L_1} \\ &= 2 \times L \times \tan(L_1) \times \tan|S_z - \quad / 2| \cdots (2) \end{aligned}$$

【0023】

L_1 、 $(S_z - \quad / 2)$ はともにゼロ近傍の角度であるから、変動部 16 から X パーミラー 12 までの距離 L は、次式 2' で近似できる。

$$E = 2 \times L \times L_1 \times |Z| \cdots (2')$$

【0024】

レーザー 9 の角度変動量 L_1 を周波数 f で変動させていることに伴って、X 干渉計 7 の計測結果ひいては測長誤差 E も周波数 f で変動する。図 4 に X 干渉計 7 の計測結果である測長値 I の時間変化を示す。レーザー干渉計システム 4 では、計測光上での空気の屈折率変化、ステージ装置の振動なども測長誤差の原因となるが、図 4 ではレーザー 9 の角度変動に起因する測長誤差のみを図示している。図 4 におけるオフセット D はステージの初期化位置からの移動距離である。測長誤差 E は、X 干渉計 7 の測長値 I の周波数 f での振幅に相当する。実際には、バンドパスフィルターなどの信号処理技術を用いて、周波数 f に同期した信号のみを抽出することができる。もしくは、X 干渉計 7 の測長値 I に対して FFT など周波数分析を行えば、周波数 f での振幅を算出できる。以上より、測長値 I にレーザーの角度変動以外に起因する測長誤差が発生していたとしても、レーザーの角度の変動周波数 f に着目すれば、レーザーの角度変動に起因する測長誤差のみを抽出することができる。

【0025】

式 2' より、微動ステージ 2 の Z 軸周りの傾き角 Z は、次式 3 で表される。

$$|Z| = E / (2 \times L \times L_1) \cdots (3)$$

【0026】

検出部 14 によって、X 干渉計 7 の測長値 I より周波数 f での振幅 E を算出すれば、微動ステージ 2 の Z 軸周りの傾き角 $|Z|$ が算出できる。 Z の正負の符号に関しては、レーザーの角度と測長誤差の関係から判断できる。例えば、レーザー 9 の Z 軸周りの角度を、レーザー 9 から反時計回りに変化させたときに、測長誤差 E が減少すれば、微動ステージ 2 の Z 軸周りの傾きは正、つまり反時計回りの傾きである。

【0027】

微動ステージ 2 を Z 軸周りに $-|E / (2 \times L \times L_1)|$ の角度だけ回転させることで、X 計測光 10 と X パーミラー 12 を Z 軸周りに直交させることができる。初期化ユニット 20 によって、X 干渉計 7 による微動ステージ 2 の Z 軸周りの角度情報を 0 にリセットする。

【0028】

ステージ装置では、コモンパスでの局所的な温度分布の時間変化によって、レーザーの出射角度が変動することがある。この時に、ステージが計測光 10 に対して傾いていると、ステージの位置に対する測長誤差が発生する。第 1 実施形態では、検出部 14 によって微動ステージ 2 の Z 軸周りの傾き角 Z を検出し、微動ステージ 2 を回転させ、X 計測光 10 と X パーミラー 12 を Z 軸周りに直交させる。これによって、ステージ装置の使用時

10

20

30

40

50

において、レーザー 9 の出射角度の変動に起因する測長誤差の発生を防ぐことができる。

【0029】

ステージ装置は、その使用時に、微動ステージ 2 の Z 軸周りの傾き角 Z を微調整する。この場合、微動ステージ 2 は、第 1 実施形態によって $Z = 0$ であった状態から、ある傾きをもつことになる。式 2 より $|Z|$ が小さい方が、レーザー干渉計システム 4 の測長誤差 E は小さくなる。第 1 実施形態によって、ステージ 1 の初期化直後に $Z = 0$ としていれば、微動ステージ 2 の微調整による $|Z|$ の増分は小さくなる。つまり、第 1 実施形態によれば、ステージ使用時ににおいて微動ステージ 2 の微調整が行われても、レーザー干渉計システム 4 の測長誤差 E は第 1 実施形態を行わない場合よりも小さくなる。

【0030】

第 1 実施形態では、ステージ 1 の初期化直後に、検出部 14 によって微動ステージ 2 の Z 軸周りの傾き角 Z を算出し、 $Z = 0$ となるように微動ステージ 2 を回転させ角度情報を 0 にリセットした。ステージを並進方向 (X, Y 軸方向) に位置決め制御すると同時に、第 1 実施形態によって Z を算出して Z 軸周りの位置決め制御に用いても良い。これにより、X 干渉計 7 と Y 干渉計 8 の 2 軸の干渉計を使って、X 軸と Y 軸及び Z 軸の 3 軸について微動ステージ 2 を位置決め制御することができる。従来技術での代表的な方法では、X 軸もしくは Y 軸にさらに 1 軸分の干渉計を追加して、X 軸又は Y 軸の干渉計出力との差分からステージの Z 軸周りの傾き各 Z を算出して、Z 軸周りの位置決め制御を行っている。第 1 実施形態では、干渉計の追加を行う代わりに、変動部 16 と検出部 14 を追加することで、計測可能な軸数を増やすことを可能にしている。

【0031】

第 1 実施形態では、X 干渉計 7 による微動ステージ 2 の X 方向の計測について説明したが、Y 干渉計 8 による微動ステージ 2 の Y 方向の計測の場合についても同様に適用できる。検出部 15 によって、Y 干渉計 8 における測長値から微動ステージ 2 の Z 軸周りの傾き角 Z を算出し、微動ステージ 2 を回転させ、Y 計測光 11 と Y パーミラー 13 を Z 軸周りに直交させることができる。

【0032】

第 1 実施形態では、変動部 16 によってレーザー 9 の Z 軸周りの角度を、レーザー 9 から反時計回り、及び、時計周りの方向に変動させたが、これに限らず、例えばレーザー 9 から反時計周りの方向だけに變動させてもよい。この場合も、検出部 14 によって微動ステージ 2 の Z 軸周りの傾き角 Z を算出し、微動ステージ 2 を回転させ、X 計測光 10 と X パーミラー 12 を Z 軸周りに直交させることができる。

【0033】

また、レーザー 9 の角度ではなく、レーザー 9 の位置を Y 方向にシフト移動させてもよい。この場合の、レーザー干渉計システム 4 の測長誤差 E は、レーザー 9 の Y 方向のシフト量を D_L 、変動部 16 から X パーミラー 12 までの距離を L とすると、次式 4 で表される。

$$E = D_L \times \tan |S_Z - L/2| \\ = D_L \times |Z| \cdots (4)$$

【0034】

測長誤差 E は、X 干渉計 7 の測長値 I の周波数 f での振幅に相当する。X 干渉計 7 の測長値 I に対してバンドパスフィルターや FFT など周波数分析を行えば、周波数 f での振幅が算出される。

【0035】

式 4 より、微動ステージ 2 の Z 軸周りの傾き角 Z は、次式 5 で表される。

$$|Z| = E / D_L \cdots (5)$$

【0036】

検出部 14 によって、X 干渉計 7 の測長値 I より周波数 f での振幅 E を算出すれば、微動ステージ 2 の Z 軸周りの傾き角 $|Z|$ が同様に算出できる。

【0037】

第1実施形態では、微動ステージ2がZ軸周りに未知の角度で傾いている場合について述べたが、微動ステージ2がX軸周り、またはY軸周りに未知の角度で傾いている場合にも同様に適用できる。図5を参照して、微動ステージ2がY軸周りに未知の角度で傾いている場合について示す。変動部16はレーザー9のY軸周りの角度とその変動周波数を制御する。変動させる角度は、レーザー9から反時計周りの角度変動量を L_1 、時計周りの角度変動量を L_2 として、 $L_1 = L_2$ とする。レーザー角度の変動周波数 f は、位置決め制御状態のステージ1が追従しない、かつ、ステージ制御に影響しない周波数 f に設定する。

【0038】

微動ステージ2がY軸周りに未知の角度で傾き、X計測光10とXバーミラー12のなす角度がX計測光10から反時計回りに S_Y であるとする。Xバーミラー12に反りや変形がなく、Xバーミラー12の反射面と、微動ステージ2の側面とが平行である場合は、 $Y = S_Y - \theta / 2$ である。この時、レーザー9のY軸周りの角度を変動させ、X干渉計7で微動ステージ2の位置を計測すると、測長値には測長誤差が発生する。

10

【0039】

レーザー干渉計システム4の測長誤差 E は、変動部16からYバーミラーまでの距離を L とすると、次式6で近似される。

$$E = 2 \times L \times \sin(L_1 \times |Y|) \cdots (6)$$

【0040】

測長誤差 E は、X干渉計7の測長値 I の周波数 f での振幅に相当する。X干渉計7の測長値 I に対してバンドパスフィルターやFFTなどで周波数分析を行えば、周波数 f での振幅が算出される。

20

【0041】

式6より、微動ステージ2のY軸周りの傾き角 Y は、次式7で表される。

$$|Y| = E / (2 \times L \times \sin(L_1)) \cdots (7)$$

【0042】

検出部14によって、X干渉計7の測長値 I より周波数 f での振幅 E を算出すれば、微動ステージ2のY軸周りの傾き角 $|Y|$ が算出できる。 Y の正負の符号に関しては、レーザー角度と測長誤差の関係から判断できる。例えば、レーザー9のY軸周りの角度を、レーザー9から反時計周りに変化させたときに、測長誤差 E が減少すれば、微動ステージ2のY軸周りの傾きは正、つまり反時計周りの傾きである。

30

【0043】

微動ステージ2をY軸周りに $-|E / (2 \times L \times \sin(L_1))|$ の角度だけ回転させることで、X計測光10とXバーミラー12をY軸周りに直交させることができる。初期化ユニット20によって、X干渉計7による微動ステージ2のY軸周りの角度情報を0にリセットする。これによって、ステージ装置の使用時において、レーザー9の出射角度が予期せずY軸周りに変動することによる測長誤差の発生を防ぐことができる。

【0044】

第1実施形態では、微動ステージ2の角度に関して、X、Y、Z軸周りで個別に調整する場合を示したが、複数軸周りのステージ角度を同時に算出し調整することもできる。X計測光10とXバーミラー12のなす角度について、Y軸周りとZ軸周りを同時に調整する場合について、以下に示す。変動部16においてレーザー9のY軸周りの角度を周波数 f_Y で、Z軸周りの角度を周波数 f_Z で変動させる。変動部16は、角度可変ミラー18を複数軸に異なる周波数で制御できる構成とする。または、Y軸周り用、及びZ軸周り用の2つの変動部16を備えていてもよい。変動させるレーザー9の角度は、Y軸周り、Z軸周りともにレーザーから反時計周りの角度変動量を L_1 、時計周りの角度変動量を L_2 として、 $L_1 = L_2$ とする。

40

【0045】

ここで、微動ステージ2がY軸周り、Z軸周りにそれぞれ未知の角度 Y 、 Z で傾き、X計測光10とXバーミラー12のなすY軸周りの角度、Z軸周りの角度がX計測光が

50

ら反時計回りにそれぞれ S_Y 、 S_Z であるとする。Xバーミラー12に反りや変形がなく、Xバーミラー12の反射面と、微動ステージ2の側面とが平行である場合は、 $Y = S_Y - \quad / 2$ 、 $Z = S_Z - \quad / 2$ である。この時、レーザー9のY軸周り、及びZ軸周りの角度を変動させ、X干渉計7で微動ステージ2の位置を計測すると、測長値には測長誤差が発生する。レーザー9のY軸周りの測長誤差を E_{fY} 、Z軸周りの測長誤差を E_{fZ} 、変動部16からXバーミラー12までの距離を L とする。このとき、微動ステージ2のY軸周りの傾き角 Y 、Z軸周りの傾き角 Z はそれぞれ式8、式9で表される。

$$|Y| = E_{fY} / (2 \times L \times L1) \cdots (8)$$

$$|Z| = E_{fZ} / (2 \times L \times L1) \cdots (9)$$

10

【0046】

測長誤差 E_{fY} 、 E_{fZ} は、それぞれ、X干渉計7の測長値 I の周波数 f_Y での振幅、周波数 f_Z での振幅に相当する。X干渉計7の測長値 I に対してバンドパスフィルターやFFTなどで周波数分析を行えば、周波数 f_Y での振幅、周波数 f_Z での振幅が算出される。以上より、検出部14によって、微動ステージ2のY軸周りの傾き角 $|Y|$ 、及び、Z軸周りの傾き角 $|Z|$ が同時に検出できる。 Z 及び Y の正負の符号に関しては、レーザー角度と測長誤差の関係から判断できる。微動ステージ2をY軸周りに $-|E_{fY} / (2 \times L \times L1)|$ の角度だけ回転させることで、X計測光10とXバーミラー12をY軸周りに直交させることができる。また、微動ステージ2をZ軸周りに $-|E_{fZ} / (2 \times L \times L1)|$ の角度だけ回転させることで、X計測光10とXバーミラー12をZ軸周りに直交させることができる。初期化ユニット20によって、X干渉計7による微動ステージ2のY、Z軸周りの角度情報を0にリセットする。これによって、ステージ装置の使用時において、レーザー9の出射角度が予期せずY、Z軸周りに変動することによる測長誤差の発生を防ぐことができる。

20

【0047】

〔第2実施形態〕

つぎに、図6、7に基づいて第2実施形態のステージ装置について説明する。第1実施形態との違いは、微動ステージ2のZ軸周りの傾き角 Z を直接算出せずに、測長誤差 E または測長値 I の変化から、 $Z = 0$ となる微動ステージの姿勢を決定する点である。第2実施形態のステージ装置は、図3に示すように、ステージ1の位置の初期化後、ステージ1を位置決め制御状態にして位置決めピン22から離れた位置Aに移動させ、ステージ1を浮上させたままの状態に静止させる。位置Aは、その場で微動ステージ2をZ軸周りに回転させても位置決めピン22と干渉しない位置であり、かつ、レーザー干渉計システム4で微動ステージ2の位置を計測できる位置である。

30

【0048】

位置Aにステージ1を静止させた状態で、変動部16によってレーザー9のZ軸周りの角度を変動させる。変動させる角度は、レーザー9から反時計周りの角度変動量を $L1$ 、時計周りの角度変動量を $L2$ として、例えば、 $L1 = L2 = 2.5 \mu rad$ 程度とする。レーザー角度の変動周波数 f は、位置決め制御状態のステージ1が追従しない、かつ、ステージ制御に影響しない周波数 f に設定する。ステージ制御帯域が200Hzであれば、例えば、その5倍以上の1kHz程度とすることができる。

40

【0049】

ここで、図3に示すように微動ステージ2がZ軸周りに未知の角度で傾き、X計測光10とXバーミラー12のなす角度がX計測光10から反時計回りに S_Z であるとする。Xバーミラー12に反りや変形がなく、Xバーミラー12の反射面と、微動ステージ2の側面とが平行である場合は、 $Z = S_Z - \quad / 2$ である。この時、レーザー9のZ軸周りの角度を変動させ、X干渉計7で微動ステージ2の位置を計測すると、測長値には測長誤差が発生する。

【0050】

レーザー干渉計システム4の測長誤差 E は、変動部16からXバーミラー12までの距

50

離を L とすると、次式 10 で近似できる。

$$E = 2 \times L \times \quad L \times | \quad Z | \cdots (10)$$

【0051】

ここで、レーザー 9 の角度に加え、微動ステージ 2 の Z 軸周りの角度 Z を徐々に変化させると、測長誤差 E が変化する。図 6 に測長誤差 E と、微動ステージ 2 の Z 軸周りの角度 Z の関係を示す。X 計測光 10 と X パーミラー 12 が直交する時には、 $Z = S_z - / 2 = 0$ 、つまり測長誤差 $E = 0$ となり、測長誤差 E は角度 Z の変化に対して極小値をもつ。

【0052】

測長誤差 E は、X 干渉計 7 の測長値 I の周波数 f での振幅に相当する。X 干渉計 7 の測長値 I に対してバンドパスフィルターや FFT など周波数分析を行えば、周波数 f での振幅が算出される。微動ステージ 2 の角度 Z を徐々に変化させ、X 計測光 10 と X パーミラー 12 のなす角度 S_z を変化させる。検出部 14 によって、測長誤差 E を算出し、測長誤差 E が最小となるところで微動ステージ 2 の回転を止めると、角度 $Z = S_z - / 2 = 0$ となる。このとき、X 計測光 10 と X パーミラー 12 を直交させることができる。初期化ユニット 20 によって、X 干渉計 7 による微動ステージ 2 の Z 軸周りの角度情報を 0 にリセットする。これによって、ステージ装置の使用時において、レーザー 9 の出射角度が予期せず Z 軸周りに変動することによる測長誤差の発生を防ぐことができる。上述の例では、測長誤差 E が最小となるところで微動ステージ 2 の回転を止めたが、測長誤差 E が閾値内となるところで微動ステージ 2 の回転を止めてもよい。

【0053】

また、測長誤差 E ではなく、測長値 I の標準偏差 3 を算出し、測長誤差 I の標準偏差 3 が最小となるように、微動ステージ 2 の角度 Z を変化させてもよい。測長値 I の標準偏差 3 は、レーザー角度変動による測長誤差 E の標準偏差 3 と、レーザー角度変動以外を起因とする測長誤差 E_x の標準偏差 3 の二乗和平方根で表される。レーザー角度変動以外の測長誤差 E_x としては、計測光上での空気の屈折率変化、ステージ装置の振動などが挙げられる。図 7 に測長値 I の標準偏差 3 と、微動ステージ 2 の Z 軸周りの角度 Z の関係を示す。レーザー角度変動以外を起因とする測長誤差 E_x が発生していても、検出部 14 によって測長値 I の標準偏差 3 を算出し、測長値 I の標準偏差 3 が最小となるところで微動ステージ 2 の回転を止めると、測長誤差 E が最小となる。この時、角度 $Z = S_z - / 2 = 0$ となり、X 計測光 10 と X パーミラー 12 を直交させることができる。初期化ユニット 20 によって、X 干渉計 7 による微動ステージ 2 の Z 軸周りの角度情報を 0 にリセットする。これによって、ステージ装置の使用時において、レーザー 9 の出射角度が予期せず Z 軸周りに変動することによる測長誤差の発生を防ぐことができる。

【0054】

測長値 I の標準偏差 3 を算出する場合には、レーザー角度の変動角度や変動周波数が制御できていない場合でも有効である。例えば、コモンパス付近に熱源があって未知の角度、周波数でレーザー 9 の角度が変動しているような場合がある。この場合も、検出部 14 によって、測長値 I の標準偏差 3 を算出しながら、ステージの角度 Z を変化させ、測長値 I の標準偏差 3 が最小となるところで微動ステージ 2 の回転を止める。この時に、 $Z = S_z - / 2 = 0$ となり、X 計測光 10 と X パーミラー 12 を直交させることができる。初期化ユニット 20 によって、X 干渉計 7 による微動ステージ 2 の Z 軸周りの角度情報を 0 にリセットする。これによって、ステージ装置の使用時において、レーザー 9 の出射角度が予期せず Z 軸周りに変動することによる測長誤差の発生を防ぐことができる。

【0055】

〔第 3 実施形態〕

つぎに、図 8 に基づいて第 3 実施形態のステージ装置について説明する。第 1、2 実施形態との違いは、X パーミラー 12 の形状に反りや変形があり、X パーミラー 12 の反射

面 2 1 と、微動ステージの側面 2 2 とが平行でない場合に対応している点である。第 3 実施形態のステージ装置は、図 3 に示すように、ステージ 1 の位置の初期化を行う。次にステージ 1 を位置決め制御状態にして、位置決めピン 2 2 から離れた位置 A に移動させ、ステージ 1 を浮上させたままの状態に静止させる。位置 A は、その場で微動ステージ 2 を Z 軸周りに回転させても位置決めピン 2 2 と干渉しない位置であり、かつ、レーザー干渉計システム 4 で微動ステージ 2 の位置を計測できる位置である。

【 0 0 5 6 】

位置 A にステージ 1 を静止させた状態で、変動部 1 6 によってレーザー 9 の Z 軸周りの角度を変動させる。変動させる角度は、レーザー 9 から反時計周りの角度変動量を L_1 、時計周りの角度変動量を L_2 として、例えば、 $L_1 = L_2 = 2.5 \mu rad$ 程度である。レーザー角度の変動周波数 f は、位置決め制御状態のステージ 1 が追従しない、かつ、ステージ制御に影響しない周波数 f に設定する。ステージ制御帯域が 200 Hz であれば、例えば、その 5 倍以上の 1 kHz 程度とすることができる。

【 0 0 5 7 】

ここで、図 8 に示すように、X バーミラー 1 2 の形状に反りや変形があり、X バーミラー 1 2 の反射面 2 1 と、微動ステージの側面 2 2 との Z 軸周りの角度が、微動ステージの側面 2 2 から反時計周りに B_z であるとする。X バーミラー 1 2 の反射面 2 1 と、微動ステージの側面 2 2 との角度 B_z は、オートコリメータなどで予め計測しておく。微動ステージ 2 が Z 軸周りに未知の角度 Z で傾き、X 計測光 1 0 と X バーミラー 1 2 のなす角度が X 計測光 1 0 から反時計回りに S_z であるとする。この時、微動ステージ 2 の Z 軸周りの傾き角は $Z = S_z - \angle / 2 - B_z$ である。この状態で、レーザー 9 の Z 軸周りの角度を変動させ、X 干渉計 7 でステージ位置を計測すると、測長値には測長誤差が発生する。

【 0 0 5 8 】

レーザー干渉計システム 4 の測長誤差 E は、変動部 1 6 から X バーミラー 1 2 までの距離を L とすると、次式 1 1 で近似できる。

$$E = 2 \times L \times |S_z - \angle / 2| - B_z \quad (11)$$

測長誤差 E は、X 干渉計 7 の測長値 I の周波数 f での振幅に相当する。X 干渉計 7 の測長値 I に対してバンドパスフィルターや FFT など周波数分析を行えば、周波数 f での振幅が算出される。 $(S_z - \angle / 2)$ の正負の符号に関しては、レーザー角度と測長誤差の関係から判断できる。例えば、レーザー 9 の Z 軸周りの角度を、レーザー 9 から反時計周りに変化させたときに、測長誤差 E が減少すれば、 $(S_z - \angle / 2)$ は Z 軸周りに正、つまり反時計周りの角度である。

【 0 0 5 9 】

式 1 1 より、微動ステージ 2 の Z 軸周りの傾き角 Z は、次式 1 2 で表される。

$$Z = S_z - (\angle / 2) - B_z \\ = |E / (2 \times L \times \sin \theta)| - B_z \quad (12)$$

【 0 0 6 0 】

以上より、検出部 1 4 によって、微動ステージ 2 の Z 軸周りの傾きが $Z = |E / (2 \times L \times \sin \theta)| - B_z$ と算出できる。微動ステージ 2 の回転位置を Z 軸周りに $\{- |E / (2 \times L \times \sin \theta)| + B_z\}$ の角度だけ変化させることで、X 計測光 1 0 と微動ステージ 2 を Z 軸周りに直交させることができる。初期化ユニット 2 0 によって、X 干渉計 7 による微動ステージ 2 の Z 軸周りの角度情報を 0 にリセットする。

【 0 0 6 1 】

このとき、 $Z = 0$ なので、X 計測光 1 0 と X バーミラー 1 2 とのなす角度は $S_z = B_z + \angle / 2$ である。X 計測光 1 0 と微動ステージ 2 とは Z 軸周りに直交しているが、X 計測光 1 0 と X バーミラー 1 2 とは直交していないので、ステージ装置の使用時にレーザー 9 が未知の角度 $\pm L_u$ で傾いていると、測長値 I には測長誤差 E が発生する。測長誤差 E は、次式 1 3 で近似できる。

10

20

30

40

50

$$E = 2 \times L \times L_U \times |B_Z| \cdots (13)$$

【0062】

LSD（レーザー・センシティブ・ディテクタ）などの計測器でレーザーの傾き角 L_U を計測すれば、検出部 14 によって測長誤差 E が分かり、測長値 I の測長誤差を補正することができる。

【0063】

〔第4実施形態〕

図 11 を用いて、本発明のステージ装置が適用される例示的な露光装置を説明する。露光装置は、照明系 201、レチクルを保持するレチクルステージ 202、投影光学系 203、ウエハ（基板）を保持するウエハステージ（基板ステージ）204 と、ウエハステージを駆動する駆動部 205 と、を有する。本発明のステージ装置は、レチクルステージ 202、ウエハステージ 204 の一方又は双方に適用可能である。露光装置は、レチクルに形成された回路パターンをウエハに投影露光するものであり、ステップアンドリピート投影露光方式またはステップアンドスキャン投影露光方式であってもよい。

【0064】

〔第5実施形態〕

つぎに、本発明の一実施形態のデバイス（半導体デバイス、液晶表示デバイス等）の製造方法について説明する。半導体デバイスは、ウエハに集積回路を作る前工程と、前工程で作られたウエハ上の集積回路チップを製品として完成させる後工程を経ることにより製造される。前工程は、前述のステージ装置を使用して感光剤が塗布されたウエハを露光する工程と、ウエハを現像する工程を含む。後工程は、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）と、パッケージング工程（封入）を含む。液晶表示デバイスは、透明電極を形成する工程を経ることにより製造される。透明電極を形成する工程は、透明導電膜が蒸着されたガラス基板に感光剤を塗布する工程と、前述のステージ装置を使用して感光剤が塗布されたガラス基板を露光する工程と、ガラス基板を現像する工程を含む。本実施形態のデバイス製造方法によれば、従来よりも高品位のデバイスを製造することができる。

【0065】

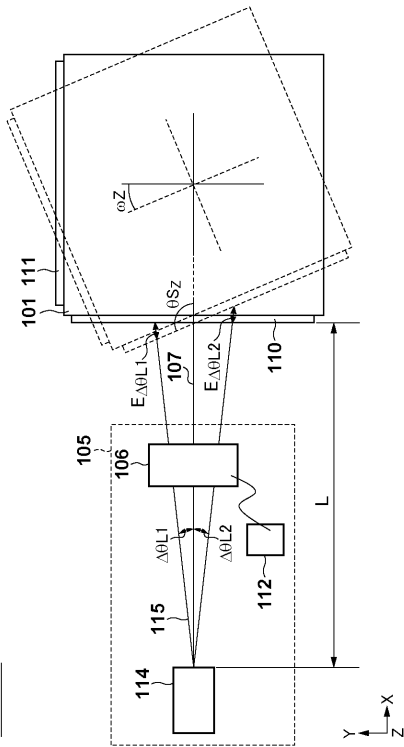
以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

10

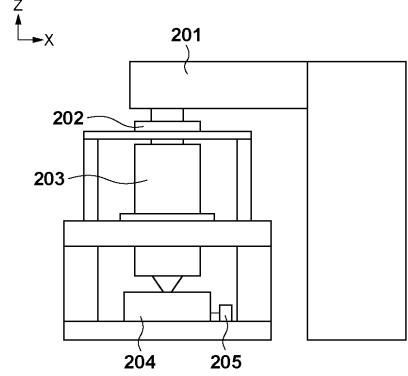
20

【図 10】

従来技術



【図 11】



フロントページの続き

- (72)発明者 濱 谷 善一
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
- (72)発明者 江本 圭司
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
- (72)発明者 高井 亮
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
- (72)発明者 平井 真一郎
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

審査官 赤尾 隼人

- (56)参考文献 特開2005-134400(JP,A)
特開平10-261570(JP,A)
特開平10-260009(JP,A)
特開平11-233403(JP,A)
特開平04-122013(JP,A)
特開平03-010105(JP,A)
特開平04-254317(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|----------------------------|
| H01L | 21/027; 21/67 - 21/683 |
| G03F | 7/20; 9/00 - 9/02 |
| G01B | 9/00 - 9/10; 11/00 - 11/30 |