

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6438219号  
(P6438219)

(45) 発行日 平成30年12月12日 (2018.12.12)

(24) 登録日 平成30年11月22日 (2018.11.22)

(51) Int. Cl.

F I

G05D 3/12 (2006.01)  
H01L 21/027 (2006.01)  
G03F 7/20 (2006.01)  
H01L 21/68 (2006.01)

G05D 3/12 305Z  
H01L 21/30 503A  
H01L 21/30 503F  
G03F 7/20 501  
H01L 21/68 K

請求項の数 13 (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2014-124684 (P2014-124684)  
(22) 出願日 平成26年6月17日 (2014.6.17)  
(65) 公開番号 特開2016-4440 (P2016-4440A)  
(43) 公開日 平成28年1月12日 (2016.1.12)  
審査請求日 平成29年5月22日 (2017.5.22)

(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 康徳  
(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、リソグラフィ装置、物品の製造方法、および決定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

移動可能なステージを含むステージ装置であって、  
前記ステージに推力を与えることにより前記ステージを所定方向に駆動する駆動部と、  
前記ステージの前記所定方向の位置を計測する計測部と、  
前記計測部により計測された前記ステージの位置と目標位置との偏差を低減するための  
第1信号と、前記推力に含まれる推力リップルによる前記ステージの前記所定方向の振動  
を低減するための第2信号とから得られる合成信号を前記駆動部に供給することにより、  
前記ステージの前記所定方向の位置を制御する制御部と、  
を含み、  
前記制御部は、  
振幅及び位相の少なくとも1つが互いに異なる複数の任意信号を設定する設定工程と、

前記複数の任意信号のうちの1つを用い、時刻に対する前記ステージの目標位置を示す目標位置プロファイルに従って前記駆動部に前記ステージを駆動させたときに前記計測部によって計測される前記ステージの位置を、前記複数の任意信号の各々について、共通の目標位置プロファイルを用いて取得する取得工程と、

前記取得工程で前記複数の任意信号の各々について取得された前記ステージの位置に基づいて、前記推力リップルによる前記ステージの振動の振幅が許容範囲に収まるように前記第2信号を決定する決定工程と、

10

20

を行うことにより前記第 2 信号を生成することを特徴とするステージ装置。

【請求項 2】

前記取得工程で取得される前記ステージの位置は、前記ステージが前記所定方向に等速で移動している期間における前記ステージの位置プロファイルを含み、

前記制御部は、当該期間の前記位置プロファイルを用いて前記第 2 信号を決定する、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】

前記取得工程で取得される前記ステージの位置は、前記ステージが前記所定方向に等速で移動し且つ前記振動が一定になっている期間における前記ステージの位置プロファイルを含み、

前記制御部は、当該期間の前記位置プロファイルを用いて前記第 2 信号を決定する、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 4】

前記制御部は、

前記取得工程で前記複数の任意信号の各々について取得された前記ステージの位置に基づいて、前記第 2 信号を入力とし前記ステージの位置を出力とする関数を決定し、

前記関数を用いて求められる前記ステージの振動の振幅が許容範囲に収まるように前記第 2 信号を決定する、ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のうちいずれか 1 項に記載のステージ装置。

【請求項 5】

前記制御部は、前記関数を用いて求められる前記ステージの振動の振幅が前記関数を用いずに前記ステージを駆動する場合に比べて小さくなるように前記第 2 信号を決定する、ことを特徴とする請求項 4 に記載のステージ装置。

【請求項 6】

前記制御部は、前記推力リップルによる前記ステージの振動の振幅が許容範囲に収まるように前記第 2 信号の振幅および位相を求めることにより前記第 2 信号を決定する、ことを特徴とする請求項 1 乃至 5 のうちいずれか 1 項に記載のステージ装置。

【請求項 7】

前記複数の任意信号の各々は、正弦波信号であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のうちいずれか 1 項に記載のステージ装置。

【請求項 8】

前記制御部は、前記設定工程において、前記複数の任意信号の各々を前記第 2 信号の代わりに用いて前記ステージを駆動させたときの前記ステージの振動が、前記推力リップルによる前記ステージの振動より大きくなるように、前記複数の任意信号を設定する、ことを特徴とする請求項 1 乃至 7 のうちいずれか 1 項に記載のステージ装置。

【請求項 9】

前記設定工程で設定される任意信号の数は、前記第 2 信号において決定すべきパラメータの数より多い、ことを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載のステージ装置。

【請求項 10】

基板上にパターンを形成するリソグラフィ装置であって、

前記基板を移動させるための請求項 1 乃至 9 のうちいずれか 1 項に記載のステージ装置を含む、ことを特徴とするリソグラフィ装置。

【請求項 11】

前記制御部は、複数の基板の各々にパターンを形成する複数の処理の間において前記ステージを移動させるときに前記取得工程を行う、ことを特徴とする請求項 10 に記載のリソグラフィ装置。

【請求項 12】

請求項 10 又は 11 に記載のリソグラフィ装置を用いて基板にパターンを形成する工程と、

10

20

30

40

50

前記工程でパターンを形成された前記基板を加工する工程と、を含み、  
前記加工した基板を用いて物品を製造することを特徴とする物品の製造方法。

【請求項 13】

移動可能なステージと、前記ステージの所定方向の位置を計測する計測部と、前記ステージに推力を与えることにより前記ステージを前記所定方向に駆動する駆動部とを含み、前記計測部により計測された前記ステージの位置と目標位置との偏差を低減するための第1信号と、前記推力に含まれる推力リップルによる前記ステージの前記所定方向の振動を低減するための第2信号とから得られる合成信号を前記駆動部に供給することにより、前記ステージの前記所定方向の位置を制御するステージ装置において、前記第2信号を決定する決定方法であって、

10

振幅及び位相の少なくとも1つが互いに異なる複数の任意信号を設定する設定工程と、  
前記複数の任意信号のうちの1つを用い、時刻に対する前記ステージの目標位置を示す目標位置プロファイルに従って前記駆動部に前記ステージを駆動させたときに前記計測部によって計測される前記ステージの位置を、前記複数の任意信号の各々について、共通の目標位置プロファイルを用いて取得する取得工程と、

前記取得工程で前記複数の任意信号の各々について取得された前記ステージの位置に基づいて、前記推力リップルによる前記ステージの振動の振幅が許容範囲に収まるように前記第2信号を決定する決定工程と、

を含むことを特徴とする決定方法。

【発明の詳細な説明】

20

【技術分野】

【0001】

本発明は、ステージ装置、リソグラフィ装置、物品の製造方法、および決定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスなどの製造において用いられるリソグラフィ装置では、基板やマスクを保持するステージを高精度に位置決めすることが求められている。リソグラフィ装置では、一般に、ステージに推力を与えることによりステージを駆動する駆動部が設けられ、ステージの現在位置と目標位置との偏差を低減するための信号（第1信号）を駆動部に供給することによりステージの位置が制御される。

30

【0003】

このように構成されたリソグラフィ装置では、駆動部がステージに与える推力にリップル（推力リップル）が含まれるため、当該推力リップルによってステージが振動してしまうことが知られている。特許文献1および2には、推力リップルに起因して生じるステージの振動を低減するための信号（第2信号）を第1信号とともに駆動部に供給して、ステージの位置を制御する方法が提案されている。特許文献1には、駆動部（例えばリニアモータ）の設計データを用いたモデル式から推力リップルを求め、求めた推力リップルを相殺させるように第2信号を決定する方法が記載されている。また、特許文献2には、推力リップルの周波数が駆動部に含まれるモータの電気角周波数の整数倍であることに着目して第2信号を決定する方法が記載されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2001-175332号公報

【特許文献2】特開2003-88159号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1に記載された方法のように、駆動部の設計データを用いたモデル式から求め

50

られた推力リップルに基づいて第2信号を決定するだけでは、推力リップルによるステージの振動を低減することが不十分になりうる。また、特許文献2には、推力リップルによるステージの振動が低減されるように第2信号の振幅および位相を決定することについては記載されていない。

【0006】

そこで、本発明は、ステージを高精度に位置決めするために有利な技術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】

【0007】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としてのステージ装置は、移動可能なステージを含むステージ装置であって、前記ステージに推力を与えることにより前記ステージを所定方向に駆動する駆動部と、前記ステージの前記所定方向の位置を計測する計測部と、前記計測部により計測された前記ステージの位置と目標位置との偏差を低減するための第1信号と、前記推力に含まれる推力リップルによる前記ステージの前記所定方向の振動を低減するための第2信号とから得られる合成信号を前記駆動部に供給することにより、前記ステージの前記所定方向の位置を制御する制御部と、を含み、前記制御部は、振幅及び位相の少なくとも1つが互いに異なる複数の任意信号を設定する設定工程と、前記複数の任意信号のうちの1つを用い、時刻に対する前記ステージの目標位置を示す目標位置プロファイルに従って前記駆動部に前記ステージを駆動させたときに前記計測部によって計測される前記ステージの位置を、前記複数の任意信号の各々について、共通の目標位置プロファイルを用いて取得する取得工程と、前記取得工程で前記複数の任意信号の各々について取得された前記ステージの位置に基づいて、前記推力リップルによる前記ステージの振動の振幅が許容範囲に収まるように前記第2信号を決定する決定工程と、を行うことにより前記第2信号を生成することを特徴とする。

【0008】

本発明の更なる目的又はその他の側面は、以下、添付図面を参照して説明される好ましい実施形態によって明らかにされるであろう。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、例えば、ステージを高精度に位置決めするための有利な技術を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】第1実施形態のステージ装置を示す概略図である。

【図2】第1実施形態における制御システムを示すブロック線図である。

【図3】第2信号を生成する方法を示すフローチャートである。

【図4】第1実施形態における制御システムを示すブロック線図である。

【図5】ステージを駆動させている間におけるステージの位置と目標位置との偏差を示す図である。

【図6】第2信号を駆動部に供給した場合と供給しない場合とにおけるステージの振動の実験結果を示す図である。

【図7】第2実施形態のステージ装置を示す概略図である。

【図8】第2実施形態における制御システムを示すブロック線図である。

【図9】第2実施形態における制御システムを示すブロック線図である。

【図10】ステージ装置を適用した露光装置300を示す概略図である。

【図11】露光装置が複数の基板の各々を露光する工程を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、添付図面を参照して、本発明の好適な実施の形態について説明する。なお、各図において、同一の部材ないし要素については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略

10

20

30

40

50

する。

#### 【0012】

##### <第1実施形態>

本発明の第1実施形態のステージ装置100について、図1を参照しながら説明する。図1は、第1実施形態のステージ装置100を示す概略図である。第1実施形態のステージ装置100は、移動可能なステージ11と、ステージ11を駆動する駆動部12と、ステージ11の位置を計測する計測部13と、制御部15とを含みうる。制御部15は、例えばCPUやメモリなどを含み、ステージ装置100の各部を制御する。ここで、第1実施形態では、説明を簡単にするため、Y方向におけるステージ11の位置を制御する方法について説明するが、X方向においても同様の構成でステージ11の位置を制御することができる。

10

#### 【0013】

駆動部12は、ステージ11に推力を与えることによりステージ11を駆動する。第1実施形態では、駆動部12は、固定子12a<sub>1</sub>および可動子12a<sub>2</sub>を有するリニアモータ12a<sub>1</sub>と、制御部15から供給された信号に応じてリニアモータ12a<sub>1</sub>（例えば可動子12a<sub>2</sub>）に電流を供給するドライバ12a<sub>2</sub>とを含みうる。リニアモータ12a<sub>1</sub>の固定子12a<sub>2</sub>は定盤14に固定され、可動子12a<sub>2</sub>はステージ11に固定されている。そして、ドライバ12a<sub>2</sub>は、制御部15から供給された信号に応じてリニアモータ12a<sub>1</sub>に電流を供給することにより、ステージ11をY方向に沿って駆動することができる。ここで、ステージ11の位置は、定盤14に設けられた計測部13によ

20

#### 【0014】

図2は、第1実施形態における制御システムを示すブロック線図である。図2において、制御部15は、第1供給器15a、減算器15b、補償器15c、加算器15d、生成器15eおよび第2供給器15fを含むものとする。第1供給器15aは、ステージ11の目標位置REFについての指令値を減算器15bに供給する。減算器15bは、第1供給部15aから供給された指令値に基づいて、計測部13によって計測されたステージ11の現在位置POSと目標位置REFとの偏差ERRを算出する。補償器15cは、例えばPID補償器であり、減算器15bによって算出された偏差ERRを低減するための信号（第1信号）を生成する。補償器15cは、減算器15bによって算出された偏差ERRが零に近づくように第1信号を生成するとよい。補償器15cにおいて生成された第1信号は、駆動部12のドライバ12a<sub>2</sub>に供給される。ドライバ12a<sub>2</sub>は、供給された信号に応じてリニアモータ12a<sub>1</sub>に電流を供給する。このような制御により、ステージ装置100は、ステージ11の現在位置POSと目標位置REFとの偏差ERRが零に近づくようにステージ11の位置決めを行うことができる。

30

40

#### 【0015】

一方で、このように構成されたステージ装置100では、駆動部12（リニアモータ12a<sub>1</sub>）がステージ11に与える推力にリップル（推力リップルd）が含まれるため、その推力リップルdによってステージ11が振動してしまうことが知られている。そのため、第1実施形態の制御部15は、推力リップルによるステージ11の振動を低減するための信号（第2信号）を生成する生成器15eと、生成器15eで生成された第2信号を加算器15dに供給する第2供給器15fとを含みうる。生成器15eによって生成された第2信号は、第2供給器15fに設定され、第2供給部15fによって加算器15dに供給される。加算器15dに供給された第2信号は、第1信号に加算されて駆動部12のドライバ12a<sub>2</sub>に供給される。駆動部12のドライバ12a<sub>2</sub>は、第1信号と第2信号と

50

を合わせた信号（合成信号  $u$ ）に応じてリニアモータ  $12a_1$  に電流を供給する。このような制御により、ステージ装置  $100$  は、ステージ  $11$  の現在位置  $POS$  と目標位置  $REF$  との偏差  $ERR$  が低減されるように、且つ推力リップルによるステージ  $11$  の振動が低減されるようにステージ  $11$  の位置決めを行うことができる。ここで、制御部  $15$  は、図  $2$  に示すように、第  $1$  供給部  $15a$  からフィードフォワード信号  $FF$  を加算器  $15d$  に供給し、第  $1$  信号、第  $2$  信号およびフィードフォワード信号  $FF$  を合わせた信号をドライバ  $12a_2$  に供給するように構成されてもよい。

【 $0016$ 】

ここで、制御部  $15$ （生成器  $15e$ ）において第  $2$  信号を生成する方法について、図  $3$  を参照しながら説明する。図  $3$  は、制御部  $15$  において第  $2$  信号を生成する方法を示すフローチャートである。  $S101$  では、制御部  $15$  は、第  $2$  信号の代わりに加算器  $15d$  に供給する任意の信号（以下、任意信号）を決定する。第  $2$  信号としては、例えば式（ $1$ ）によって表される正弦波信号  $S$  が用いられうる。式（ $1$ ）において、 $A$  は振幅を、 $\theta$  は位相を、 $\alpha$  はリニアモータ  $12a_1$  の電気角を示す。そのため、第  $2$  信号の代わりに用いられる任意信号としても、式（ $1$ ）によって表される正弦波信号  $S$  が用いられうる。第  $1$  実施形態では、任意信号における振幅  $A$  および位相  $\theta$  が、波形を特定するパラメータとして設定される。パラメータの値は、例えば、推力リップルによるステージ  $11$  の振動に対して、 $2 \sim 5$  倍程度の振動が発生するように設定されることが好ましい。また、式（ $1$ ）は、加法定理を用いて式（ $2$ ）のように表される。ここで、第  $1$  実施形態では、任意信号における振幅  $A$  および位相  $\theta$  の両方がパラメータとして設定されているが、振幅  $A$  および位相  $\theta$  のうち少なくとも  $1$  つがパラメータとして設定されていてもよい。

【 $0017$ 】

【数  $1$ 】

$$S = A \sin(\theta + \alpha) \quad \dots(1)$$

【 $0018$ 】

【数  $2$ 】

$$S = A_1 \sin \theta + A_2 \cos \theta$$

$$A_1 = A \cos \alpha, \quad A_2 = A \sin \alpha \quad \dots(2)$$

【 $0019$ 】

$S102$  では、制御部  $15$  は、 $S101$  において決定された任意信号と第  $1$  信号とを合わせた信号を駆動部  $12$  に供給し、駆動部  $12$  にステージ  $11$  を駆動させる。このとき、制御部  $15$  は、計測部  $13$  による計測結果から、任意信号を第  $2$  信号の代わりに用いたときのステージ  $11$  の応答に関する情報を取得する。ステージの応答に関する情報とは、例えば、時刻に対するステージ  $11$  の位置を示す位置プロファイルに関する情報を含みうる。 $S103$  では、制御部  $15$  は、 $S102$  において取得したステージ  $11$  の応答に関する情報を記憶する。また、制御部  $15$  は、 $S102$  においてステージ  $11$  を駆動させる際に使用した目標位置プロファイルを記憶しておくもよい。目標位置プロファイルとは、時刻に対するステージ  $11$  の目標位置  $REF$  を示すプロファイルのことであり、第  $1$  供給部  $15a$  から出力される指令値（目標位置  $REF$ ）のデータ列のことである。

【 $0020$ 】

$S104$  では、制御部  $15$  は、 $S102$  において取得し且つ  $S103$  において記憶した情報の数が規定数に達したか否かを判断する。情報の数が規定数に達した場合は  $S105$  に進む。一方で、情報の数が規定数に達していない場合は  $S101$  に進み、制御部  $15$  は、任意信号におけるパラメータ（振幅  $A$  および位相  $\theta$ ）の値を変える。そして、制御部  $15$  は、パラメータの値を変えた任意信号を第  $2$  信号の代わりに用いたときのステージ  $11$  の応答に関する情報を新たに取得し（ $S102$ ）、新たに取得した情報を記憶する（ $S103$ ）。このように、制御部  $15$  は、パラメータの値が互いに異なる複数の任意信号の各々を第  $2$  信号の代わりに駆動部  $12$  に供給することによって、ステージ  $11$  の位置プロフ

10

20

30

40

50

ファイルに関する複数の情報を取得することができる。ここで、任意信号を用いてステージ 11 を駆動することによって取得される情報の数は、第 2 信号において決定すべきパラメータの種類の数より多いことが好ましい。そのため、制御部 15 は、規定数を、第 2 信号において決定すべきパラメータの種類の数より 1 つ多い数に設定するとよい。例えば、式 (1) によって表される第 2 信号では、決定すべきパラメータは振幅 A および位相 であるため、パラメータの種類は「2」である。この場合、制御部 15 は、規定数を「3」に設定するとよい。

#### 【0021】

S105 では、制御部 15 は、S101 ~ S103 を繰り返すことにより取得された複数の情報に基づいて、推力リップルによるステージ 11 の振動の振幅が許容範囲に収まるように第 2 信号を決定する。S106 では、制御部 15 は、S105 で決定した第 2 信号を第 2 供給部 15f に設定する。

#### 【0022】

次に、S105 において第 2 信号を決定する方法について説明する。以下の説明では、定式化のため、図 2 に示すブロック線図を、図 4 に示すブロック線図に置き換えて説明する。図 2 のブロック線図における推力リップル d は、図 4 のブロック線図では、定式化のために等価変換され、加算器 15d の後に推力リップルのデータ列 D として記載されている。また、図 2 に示すフィードフォワード信号 FF は、第 2 信号を決定する上で不要であるため、図 4 に示すブロック線図ではフィードフォワード信号 FF の図示を省略する。このとき、第 1 実施形態におけるステージ装置 100 が線形で時不変なシステム (LTI システム) であると仮定すると、図 4 のブロック線図では式 (3) が成り立つ。

#### 【0023】

#### 【数 3】

$$Y = GU + GD$$

$$Y = \begin{bmatrix} \text{POS}[0] \\ \text{POS}[1] \\ \vdots \\ \text{POS}[N-1] \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} u[0] \\ u[1] \\ \vdots \\ u[N-1] \end{bmatrix}, \quad G = \begin{bmatrix} g_0 & 0 & 0 & 0 \\ g_1 & g_0 & 0 & 0 \\ g_2 & g_1 & g_0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \quad \dots (3)$$

#### 【0024】

式 (3) において、Y は、ステージ 11 の位置の時刻 0 ~ N - 1 におけるデータ列を表し、U は、第 1 信号と第 2 信号とを合わせた合成信号 u の時刻 0 ~ N - 1 におけるデータ列を表す。また、D は、推力リップル d を加算器 15d の位置に加算するように等価変換した信号の時刻 0 ~ N - 1 におけるデータ列を表す。G は、データ列 U およびデータ列 D を入力とし、データ列 Y を出力とする関数 (例えば伝達関数) を表し、式 (3) が成り立つように定義される。ここで、合成信号 u のデータ列 U は、式 (4) によって表されうる。式 (4) において、U<sub>d</sub> は、第 1 信号の時刻 0 ~ N - 1 におけるデータ列を表す。また、U<sub>sin</sub> は、第 2 信号を示す式 (2) の第 1 項の時刻 0 ~ N - 1 におけるデータ列を表し、U<sub>cos</sub> は、第 2 信号を示す式 (2) の第 2 項の時刻 0 ~ N - 1 におけるデータ列を表す。

#### 【0025】

#### 【数 4】

$$U = A_1 U_{\sin} + A_2 U_{\cos} + U_d \quad \dots (4)$$

#### 【0026】

式 (3) および式 (4) により、ステージ 11 の位置のデータ列 Y は式 (5) によって表される。また、パラメータ A<sub>1</sub> および A<sub>2</sub> について式 (5) をまとめると、データ列 Y は式 (6) によって表される。

#### 【0027】

10

20

30

40

50

【数 5】

$$Y = G(A_1 U_{\sin}) + G(A_2 U_{\cos}) + U_d \quad \dots (5)$$

【 0 0 2 8 】

【数 6】

$$Y = \begin{bmatrix} GU_{\sin} & GU_{\cos} & GU_d + GD \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \dots (6)$$

10

【 0 0 2 9 】

上述の S 1 0 1 ~ S 1 0 3 の工程を i 回目実行したときのパラメータを  $A_{i1}$  および  $A_{i2}$  とし、そのときに取得された情報（位置プロファイル）におけるステージ 1 1 の位置のデータ列を  $Y_i$  とすると、データ列  $Y_i$  は式（7）によって表されうる。したがって、S 1 0 1 ~ S 1 0 3 の工程を n 回実行することによって取得された n 個の情報におけるデータ列  $Y_i$  をまとめると、式（8）を得ることができる。式（8）において  $Y_{ex}$  は、n 個の情報によって得られたステージ 1 1 の位置のデータ列  $Y_i$  による行列を表し、X は、n 個の情報を取得する際に用いられたパラメータ  $A_{i1}$  および  $A_{i2}$  による行列を表す。

【 0 0 3 0 】

20

【数 7】

$$Y_i = \begin{bmatrix} GU_{\sin} & GU_{\cos} & GU_d + GD \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{i1} \\ A_{i2} \\ 1 \end{bmatrix} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad \dots (7)$$

【 0 0 3 1 】

【数 8】

$$Y_{ex} = \Sigma X$$

30

$$Y_{ex} = \begin{bmatrix} Y_1 & Y_2 & \dots & Y_n \end{bmatrix}$$

$$\Sigma = \begin{bmatrix} GU_{\sin} & GU_{\cos} & GU_d + GD \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{21} & \dots & A_{n1} \\ A_{12} & A_{22} & \dots & A_{n2} \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad \dots (8)$$

【 0 0 3 2 】

ここで、式（8）は、行列による線形方程式であるため、X の疑似逆行列を  $X^T (X X^T)^{-1}$  とすることで決定することができる。S 1 0 1 ~ S 1 0 3 の工程において用いられるパラメータは、 $X X^T$  がフルランクになることで式（9）が成り立つため、X が行フルランクになるように設定されることが好ましい。このように複数の情報を用いて決定された は、第 2 信号を入力とし、ステージの位置を出力とする関数であり、式（8）において  $\Sigma = \begin{bmatrix} GU_{\sin} & GU_{\cos} & GU_d + GD \end{bmatrix}$  と定義されていることから、式（10）を得ることができる。式（10）において、 $Y_{th}$  は、第 2 信号のパラメータ  $A_1$  および  $A_2$  として  $A_{th1}$  および  $A_{th2}$  を設定したときに推定されるステージ 1 1 の位置（ステージ 1 1 の推定位置）のデータ列を表す。

40

【 0 0 3 3 】



【数 9】

$$\Sigma = Y_{ex} X^T (X X^T)^{-1} \quad \dots (9)$$

【 0 0 3 4 】

【数 1 0】

$$Y_{th} = \Sigma \begin{bmatrix} A_{th1} \\ A_{th2} \\ 1 \end{bmatrix} \quad \dots (10)$$

10

【 0 0 3 5 】

S 1 0 2 においてステージ 1 1 を駆動させる際に使用した目標位置 R E F の時刻 0 ~ N - 1 におけるデータ列を  $Y_{ref}$  とすると、データ列  $Y_{ref}$  は式 ( 1 1 ) によって表される。これにより、データ列  $Y_{th}$  とデータ列  $Y_{ref}$  との差  $Y_{err}$  が式 ( 1 2 ) によって表される。式 ( 1 0 ) よりデータ列  $Y_{th}$  がパラメータ  $A_{th1}$  および  $A_{th2}$  の関数であることから、差  $Y_{err}$  についてもパラメータ  $A_{th1}$  および  $A_{th2}$  の関数である。即ち、差  $Y_{err}$  は式 ( 1 3 ) によって表される。

【 0 0 3 6 】

【数 1 1】

$$Y_{ref} = \begin{bmatrix} REF[0] \\ REF[1] \\ \vdots \\ REF[N-1] \end{bmatrix} \quad \dots (11)$$

20

【 0 0 3 7 】

【数 1 2】

$$Y_{err} = Y_{ref} - Y_{th} \quad \dots (12)$$

【 0 0 3 8 】

【数 1 3】

$$Y_{err}(A_{th1}, A_{th2}) = Y_{ref} - \Sigma \begin{bmatrix} A_{th1} \\ A_{th2} \\ 1 \end{bmatrix} \quad \dots (13)$$

30

【 0 0 3 9 】

ここで、データ列  $Y_{th}$  は、上述したようにステージ 1 1 の推定位置のデータ列を示しており、推力リップルによるステージ 1 1 の振動が含まれる。一方で、データ列  $Y_{ref}$  は、ステージ 1 1 の目標位置のデータ列を示しており、推力リップルに起因したステージ 1 1 の振動が含まれない。つまり、差  $Y_{err}$  は、推力リップルによるステージ 1 1 の振動を表す。そのため、制御部 1 5 は、この差  $Y_{err}$  が許容範囲に収まるようにパラメータ  $A_{th1}$  および  $A_{th2}$  を求めることにより、ステージ 1 1 の振動の振幅が許容範囲に収まるように第 2 信号を決定することができる。特に、制御部 1 5 は、差  $Y_{err}$  が小さくなる（例えば最小になる）ようにパラメータ  $A_{th1}$  および  $A_{th2}$  を求めることが好ましい。

40

【 0 0 4 0 】

式 ( 1 3 ) のような多変数関数について、評価関数（目的関数）を最小化するような問題は、一般に、最適化問題と呼ばれ、最小二乗法や N e l d e r と M e a d による滑降シンプレックス法などによって解を求めることができる。シンプレックス法については、数

50

値解析ソフトとして知られているMATLABにおいてはfminsearchコマンドのような形で実装されているので、そのようなツールを利用すると解を求めることができる。例えば、評価関数を式(14)によって表した場合、差 $Y_{err}$ を最小化するパラメータ( $A_{th1}$ および $A_{th2}$ )の解( $A_{opt1}$ および $A_{opt2}$ )は、最小二乗法を用いることにより、式(15)のように求められる。また、評価関数を式(16)のように表して振幅の絶対値を最小化する場合や、評価関数を式(17)のように表して振幅の最大値と最小値との差を最小化する場合には、シンプレックス法により解を得ることもできる。さらに、ステージ11の位置と目標位置との偏差の値を周波数解析し、推力リップルに相当する周波数スペクトルを最小化するように評価関数を表してもよい。

【0041】

【数14】

$$J = \|Y_{err}(A_{th1}, A_{th2})\| \quad \dots(14)$$

【0042】

【数15】

$$\begin{bmatrix} A_{opt1} \\ A_{opt2} \\ 1 \end{bmatrix} = \Sigma^T (\Sigma \Sigma^T)^{-1} Y_{ref} \quad \dots(15)$$

【0043】

【数16】

$$J = \max |Y_{err}(A_{th1}, A_{th2})| \quad \dots(16)$$

【0044】

【数17】

$$J = \max\{Y_{err}(A_{th1}, A_{th2})\} - \min\{Y_{err}(A_{th1}, A_{th2})\} \quad \dots(17)$$

【0045】

ここで、ステージ11を加速している期間および減速している期間では、推力リップル以外の外乱によってステージ11が振動することがある。図5は、ステージ11を駆動させている間におけるステージ11の位置と目標位置との偏差 $E_{RR}$ を示す図である。図5における縦軸はステージ11の位置と目標位置との偏差 $E_{RR}$ を示し、横軸は時刻を示す。図5に示すように、ステージ11を加速している期間および減速している期間では、ステージ11を等速で移動させている期間に比べ、偏差 $E_{RR}$ が大きくなっていることがわかる。そのため、第2信号を決定するために用いられる各情報の位置プロファイルに、このように偏差 $E_{RR}$ が大きくなる期間が含まれてしまうと、推力リップルによるステージ11の振動を低減するための第2信号を精度よく決定することが困難になりうる。したがって、制御部15は、S101～S103の工程において、ステージ11が等速で移動している期間におけるステージ11の位置プロファイルが各情報に含まれるようにステージ11の位置を制御するとよい。この場合、制御部15は、ステージ11が等速で移動している期間におけるステージ11の位置プロファイルを用いて第2信号を決定するとよい。

【0046】

また、ステージ11を等速で移動させている期間であっても、ステージ11の加速を終了した直後では、ステージ11の振動が安定している(一定となっている)期間に比べて偏差 $E_{RR}$ が大きい。したがって、制御部15は、S101～S103の工程において、ステージ11が等速で移動し且つステージ11の振動が一定になっている期間におけるステージ11の位置プロファイルが各情報に含まれるようにステージの位置を制御するとよい。この場合、制御部15は、ステージ11が等速で移動し且つステージ11の振動が一定になっている期間におけるステージ11の位置プロファイルを用いて第2信号を決定す

10

20

30

40

50

るとよい。

【 0 0 4 7 】

例えば、図 5 に示すように、時刻  $t_1 \sim t_2$  の期間においてステージ 1 1 の振動が一定になっているとすると、制御部 1 5 は、時刻  $t_1 \sim t_2$  の期間におけるステージ 1 1 の位置プロファイルが含まれるように各情報を取得する。そして、制御部 1 5 は、各情報を用いて S 1 0 4 の工程を行うことにより第 2 信号を決定するとよい。このとき、式 ( 3 ) で表されるデータ列  $Y_i$ 、および式 ( 1 1 ) で表されるデータ列  $Y_{ref}$  は、式 ( 1 8 ) によってそれぞれ表されうる。これにより、制御部 1 5 は、推力リップルによるステージ 1 1 の振動を低減するための第 2 信号を精度よく決定することができる。

【 0 0 4 8 】

10

【 数 1 8 】

$$Y_i = \begin{bmatrix} \text{POS}[t_1] \\ \text{POS}[t_1 + \Delta] \\ \vdots \\ \text{POS}[t_2] \end{bmatrix}, \quad Y_{ref} = \begin{bmatrix} \text{REF}[t_1] \\ \text{REF}[t_1 + \Delta] \\ \vdots \\ \text{REF}[t_2] \end{bmatrix} \quad \dots (18)$$

【 0 0 4 9 】

さらに、推力リップルは複数の周波数成分を含む場合がある。この場合、S 1 0 1 ~ S 1 0 3 の工程において第 2 信号の代わりに用いられる任意信号として、式 ( 1 9 ) によって表される正弦波信号 S を用いるとよい。このとき、式 ( 8 ) における X は、式 ( 2 0 ) によって表されうる。

20

【 0 0 5 0 】

【 数 1 9 】

$$S = A_1 \sin \theta + A_2 \cos \theta + A_3 \sin 2\theta + A_4 \cos 2\theta \\ + A_5 \sin 3\theta + A_6 \cos 3\theta \dots \quad \dots (19)$$

【 0 0 5 1 】

【 数 2 0 】

$$X = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{21} & A_{31} & \dots & A_{n1} \\ A_{12} & A_{22} & A_{32} & \dots & A_{n2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{1x} & A_{2x} & A_{3x} & \dots & A_{nx} \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad \dots (20)$$

30

【 0 0 5 2 】

このように S 1 0 4 で決定した第 2 信号を第 2 供給部 1 5 d に設定することにより、駆動部 1 2 ( ドライバ 1 2 a<sub>2</sub> ) には、S 1 0 4 で決定した第 2 信号と第 1 信号とを合わせた合成信号 u が供給される。これにより、推力リップルによるステージ 1 1 の振動の振幅を許容範囲に収めることができる。即ち、推力リップルによるステージ 1 1 の振動を抑制することができる。図 6 は、S 1 0 4 で決定した第 2 信号を駆動部 1 2 に供給した場合と供給しない場合とにおけるステージ 1 1 の振動の実験結果を示す図である。図 6 において縦軸はステージ 1 1 の位置と目標位置との偏差 E R R を示し、横軸は時刻を示す。また、図 6 において実線は、S 1 0 4 で決定した第 2 信号を駆動部 1 2 に供給した場合におけるステージ 1 1 の振動を示し、破線は、当該第 2 信号を駆動部 1 2 に供給しない場合におけるステージ 1 1 の振動を示す。図 6 に示すように、S 1 0 4 で決定した第 2 信号を駆動部 1 2 に供給することにより、推力リップルによるステージ 1 1 の振動が抑制されていることがわかる。

40

【 0 0 5 3 】

50

上述したように、第1実施形態のステージ装置100では、制御部15は、複数の任意信号の各々を第2信号の代わりに用いたときのステージ11の応答を示す複数の情報を取得する。そして、制御部15は、取得した複数の情報に基づいて、ステージ11の振動の振幅が許容範囲に収まるように、推力リップルによるステージ11の振動を低減するための第2信号を決定する。このように決定した第2信号を用いることにより、第1実施形態のステージ装置100は、推力リップルによるステージ11の振動を低減することができる。

#### 【0054】

##### <第2実施形態>

本発明の第2実施形態のステージ装置200について、図7を参照しながら説明する。図7は、第2実施形態のステージ装置200を示す概略図である。第2実施形態のステージ装置200は、Y方向におけるステージの位置だけでなく、方向（Z軸周りの回転方向）におけるステージの位置（回転）も制御するように構成されている。第2実施形態のステージ装置200は、定盤24上を移動可能なステージ21と、ステージ21を駆動する駆動部22と、ステージ21の位置を計測する計測部23と、制御部25とを含みうる。制御部25は、第1実施形態の制御部15と同様に、例えばCPUやメモリなどを含み、ステージ装置200の各部を制御する。ここで、第2実施形態では、説明を簡単にするため、Y方向および方向におけるステージ21の位置を制御する方法について説明するが、X方向においても同様の方法でステージ21の位置を制御することができる。

#### 【0055】

駆動部22は、ステージ21における-X方向側の部分に推力を与える第1駆動部22aと、ステージ21における+X方向側の部分に推力を与える第2駆動部22bとを含みうる。第2実施形態では、第1駆動部22aは、固定子22a<sub>11</sub>および可動子22a<sub>12</sub>を有するリニアモータ22a<sub>1</sub>と、制御部25から供給された信号に応じてリニアモータ22a<sub>1</sub>（例えば可動子22a<sub>12</sub>）に電流を供給するドライバ22a<sub>2</sub>とを含みうる。リニアモータ22a<sub>1</sub>の固定子22a<sub>11</sub>は定盤24に固定され、可動子22a<sub>12</sub>はステージ21に固定されている。そして、ドライバ22a<sub>2</sub>は、制御部25から供給された信号に応じてリニアモータ22a<sub>1</sub>に電流を供給することにより、ステージ21における-X方向側の部分をY方向に沿って駆動することができる。また、第2駆動部22bは、固定子22b<sub>11</sub>および可動子22b<sub>12</sub>を有するリニアモータ22b<sub>1</sub>と、制御部25から供給された信号に応じてリニアモータ22b<sub>1</sub>（例えば可動子22b<sub>12</sub>）に電流を供給するドライバ22b<sub>2</sub>とを含みうる。リニアモータ22b<sub>1</sub>の固定子22b<sub>11</sub>は定盤24に固定され、可動子22b<sub>12</sub>はステージ21に固定されている。そして、ドライバ22b<sub>2</sub>は、制御部25から供給された信号に応じてリニアモータ22b<sub>1</sub>に電流を供給することにより、ステージ21における+X方向側の部分をY方向に沿って駆動することができる。

#### 【0056】

Y方向におけるステージ21の位置は、定盤24に設けられた計測部23によって計測されうる。計測部23は、ステージ21における-X方向側の部分の位置を計測する第1計測部23aと、ステージ21における+X方向側の部分の位置を計測する第2計測部23bとを含みうる。第1計測部23aおよび第2計測部23bの各々は、例えばレーザ干渉計を含みうる。そして、各計測部23aおよび23bは、ステージ21の側面（ミラー）にレーザ光を照射し、当該側面で反射されたレーザ光を用いてステージ21の基準位置からの変位を求め、その変位からステージ21の各部分における現在位置を得ることができる。制御部25は、第1計測部23aによる計測結果および第2計測部23bによる計測結果に対して座標変換を行うことにより、Y方向および方向におけるステージ21の現在位置を求めることができる。そして、制御部25は、ステージ21の現在位置（Y方向および方向）と目標位置との偏差が零に近づくように第1駆動部22aおよび第2駆動部22bを制御することで、ステージ21の位置決めを行う。

#### 【0057】

このように構成されたステージ装置 200 では、第 1 駆動部 22 a および第 2 駆動部 22 b の間においてリニアモータやドライバの特性が異なることにより、第 1 駆動部 22 a および第 2 駆動部 22 b の間において推力リップルが互いに異なることがある。この場合、Y 方向だけでなく、 $\theta$  方向においてもステージ 21 の振動が生じうる。そこで、第 2 実施形態のステージ装置 200 は、推力リップルによるステージ 21 の振動を低減するための第 2 信号を、Y 方向だけでなく、 $\theta$  方向についても生成する。

【0058】

図 8 は、第 2 実施形態における制御システムを示すブロック線図である。第 2 実施形態における制御システムは、Y 方向におけるステージ 21 の位置を制御するための制御システムに加えて、 $\theta$  方向におけるステージ 21 の位置を制御するための制御システムを含みうる。図 2 において、制御部 25 は、第 1 供給器 25 a、第 1 減算器 25 b<sub>1</sub>、第 2 減算器 25 b<sub>2</sub>、第 1 補償器 25 c<sub>1</sub>、第 2 補償器 25 c<sub>2</sub>、第 1 加算器 25 d<sub>1</sub>、第 2 加算器 25 d<sub>2</sub>、生成器 25 e、第 2 供給器 25 f および処理器 25 g を含むものとする。

【0059】

Y 方向におけるステージ 21 の位置を制御するための制御システムでは、ステージ 21 の Y 方向における目標位置 REF についての指令値が第 1 供給部 25 a から第 1 減算器 25 b<sub>1</sub> に供給される。第 1 減算器 25 b<sub>1</sub> は、第 1 供給部 25 a から供給された指令値に基づいて、ステージ 21 の Y 方向における現在位置 POS と目標位置 REF との偏差 ERR を算出する。第 1 補償器 25 c<sub>1</sub> は、例えば PID 補償器であり、第 1 減算器 25 b<sub>1</sub> によって算出された偏差 ERR を低減するための信号 (Y 方向における第 1 信号) を生成する。第 1 補償器 25 c<sub>1</sub> は、第 1 減算器 25 b<sub>1</sub> によって算出された偏差 ERR が零に近づくように Y 方向における第 1 信号を生成するとよい。第 1 補償器 25 c<sub>1</sub> において生成された Y 方向における第 1 信号は、第 1 加算器 25 d<sub>1</sub> に供給される。一方で、生成部 25 e は、推力リップルによって生じる Y 方向におけるステージ 21 の振動を低減するための信号 (Y 方向における第 2 信号) を生成する。生成部 25 e によって生成された Y 方向における第 2 信号は、第 2 供給部 25 f によって第 1 加算器 25 d<sub>1</sub> に供給される。第 1 加算器 25 d<sub>1</sub> は、Y 方向における第 1 信号と Y 方向における第 2 信号とを合わせた合成信号 u を処理器 25 g に供給する。

【0060】

また、 $\theta$  方向におけるステージ 21 の位置を制御するための制御システムでは、ステージ 21 の  $\theta$  方向における目標位置 REF についての指令値が第 1 供給部 25 a から第 2 減算器 25 b<sub>2</sub> に供給される。第 2 減算器 25 b<sub>2</sub> は、第 1 供給部 25 a から供給された指令値に基づいて、ステージ 21 の  $\theta$  方向における現在位置 POS と目標位置 REF との偏差 ERR を算出する。第 2 補償器 25 c<sub>2</sub> は、例えば PID 補償器であり、第 2 減算器 25 b<sub>2</sub> によって算出された偏差 ERR を低減するための信号 ( $\theta$  方向における第 1 信号) を生成する。第 2 補償器 25 c<sub>2</sub> は、第 2 減算器 25 b<sub>2</sub> によって算出された偏差 ERR が零に近づくように  $\theta$  方向における第 1 信号を生成するとよい。第 2 補償器 25 c<sub>2</sub> において生成された  $\theta$  方向における第 1 信号は、第 2 加算器 25 d<sub>2</sub> に供給される。一方で、生成部 25 e は、Y 方向における第 2 信号に加えて、推力リップルによって生じる  $\theta$  方向におけるステージ 21 の振動を低減するための信号 ( $\theta$  方向における第 2 信号) も生成する。生成部 25 e によって生成された  $\theta$  方向における第 2 信号は、第 2 供給部 25 f によって第 2 加算器 25 d<sub>2</sub> に供給される。第 2 加算器 25 d<sub>2</sub> は、 $\theta$  方向における第 1 信号と第 2 信号とを合わせた合成信号 u を処理器 25 g に供給する。

【0061】

処理器 25 g は、供給された合成信号 u および u に基づいて、第 1 駆動部 22 a のドライバ 22 a<sub>2</sub> に供給する信号および第 2 駆動部 22 b のドライバ 22 b<sub>2</sub> に供給する信号を生成する処理を行う。第 1 駆動部 22 a のドライバ 22 a<sub>2</sub> は、処理器 25 g から供給された信号に応じてリニアモータ 22 a<sub>1</sub> に電流を供給する。また、第 2 駆動部 22 b は、処理器 25 g から供給された信号に応じてリニアモータ 22 b<sub>1</sub> に電流を供給する。このような制御により、ステージ装置 200 は、Y 方向および  $\theta$  方向の双方において、ス

10

20

30

40

50

ステージ 21 の現在位置と目標位置との偏差が低減されるように、且つ推力リップルによるステージ 21 の振動が低減されるようにステージ 21 の位置決めを行うことができる。

【 0 0 6 2 】

ここで、制御部 25 (生成部 25 e) において Y 方向における第 2 信号と、 方向における第 2 信号とを生成する方法について説明する。制御部 25 は、 Y 方向における第 2 信号と 方向における第 2 信号とを、図 3 に示すフローチャートに従って生成するものとする。第 2 実施形態のステージ装置 200 では、第 1 実施形態のステージ装置 100 と比べて図 3 の S 105 の工程が異なるため、以下では、 S 105 の工程について説明する。

【 0 0 6 3 】

S 105 では、制御部 25 は、 S 101 ~ S 103 を繰り返すことにより取得された複数の情報に基づいて、推力リップルによるステージ 21 の振動の振幅が許容範囲に収まるように Y 方向における第 2 信号と 方向における第 2 信号とを決定する。以下の説明では、定式化のため、図 8 に示すブロック線図を、図 9 に示すブロック線図に置き換えて説明する。ここで、ステージ 21 に与えられる推力の推力リップルは、図 8 のブロック線図では、第 1 駆動部 22 a における推力リップル  $d_a$  および第 2 駆動部 22 b における推力リップル  $d_b$  として記載されている。一方で、図 9 のブロック線図では、定式化のため、 Y 方向における推力リップルのデータ列 D および 方向における推力リップルのデータ列 D として記載されている。このとき、第 2 実施形態におけるステージ装置 200 が L T I システムであると仮定すると、図 9 のブロック線図では式 ( 21 ) が成り立つ。

【 0 0 6 4 】

【数 21】

$$Y = G_Y(U + D) + G_{Y\theta}(U_\theta + D_\theta)$$

$$\Theta = G_\theta(U_\theta + D_\theta) + G_{\theta Y}(U + D)$$

$$Y = \begin{bmatrix} \text{POS}[0] \\ \text{POS}[1] \\ \vdots \\ \text{POS}[N-1] \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} u[0] \\ u[1] \\ \vdots \\ u[N-1] \end{bmatrix},$$

$$\Theta = \begin{bmatrix} \text{POS}_\theta[0] \\ \text{POS}_\theta[1] \\ \vdots \\ \text{POS}_\theta[N-1] \end{bmatrix}, \quad U_\theta = \begin{bmatrix} u_\theta[0] \\ u_\theta[1] \\ \vdots \\ u_\theta[N-1] \end{bmatrix}$$

... (21)

【 0 0 6 5 】

式 ( 21 ) において、 Y は、 Y 方向におけるステージの位置の時刻 0 ~ N - 1 におけるデータ列を表し、  $\Theta$  は、 方向におけるステージの位置の時刻 0 ~ N - 1 におけるデータ列を表す。 U は、 Y 方向における第 1 信号と第 2 信号とを合わせた合成信号 u の時刻 0 ~ N - 1 におけるデータ列を表し、  $U_\theta$  は、 方向における第 1 信号と第 2 信号とを合わせた合成信号  $u_\theta$  の時刻 0 ~ N - 1 におけるデータ列を表す。 D は、 Y 方向における推力リップルの時刻 0 ~ N - 1 におけるデータ列を表し、  $D_\theta$  は、 方向における推力リップルの時刻 0 ~ N - 1 におけるデータ列を表す。  $G_Y$  は、データ列 U およびデータ列 D を入力とし、 Y 方向におけるステージ 21 の位置を出力とする関数を表し、  $G_{Y\theta}$  は、データ列 U およびデータ列  $D_\theta$  を入力として 方向におけるステージ 21 の位置を出力とする関数を表す。  $G_Y$  および  $G_{Y\theta}$  は、式 ( 21 ) が成り立つように定義される。ここで、データ列 U およびデータ列  $U_\theta$  は、式 ( 22 ) によって表されうる。式 ( 22 ) において、  $U_d$  は、 Y 方向における第 1 信号の時刻 0 ~ N - 1 におけるデータ列を表し、  $U_s$  は、 方向における第 1 信号の時刻 0 ~ N - 1 におけるデータ列を表す。また、第 1 実施形態と同様に、  $U_{s_{in}}$  は、第 2 信号を示す式 ( 2 ) の第 1 項の時刻 0 ~ N - 1 におけるデ

ータ列を表し、 $U_{cos}$  は、第 2 信号を示す式 ( 2 ) の第 2 項の時刻 0 ~ N - 1 におけるデータ列を表す。

【 0 0 6 6 】

【 数 2 2 】

$$U = A_1 U_{sin} + A_2 U_{cos} + U_d$$

$$U_{\theta} = A_3 U_{sin} + A_4 U_{cos} + U_{d\theta}$$

... (22)

【 0 0 6 7 】

式 ( 2 1 ) および式 ( 2 2 ) により、Y 方向におけるステージ 2 1 の位置のデータ列 Y、および X 方向におけるステージ 2 1 の位置のデータ列  $X$  は、式 ( 2 3 ) によって表される。また、パラメータ  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  および  $A_4$  について式 ( 2 2 ) をまとめると、データ列 Y およびデータ列  $X$  は式 ( 2 4 ) によって表される。

10

【 0 0 6 8 】

【 数 2 3 】

$$Y = G_Y(A_1 U_{sin}) + G_Y(A_2 U_{cos}) + G_Y(U_d + D) \\ + G_{Y\theta}(A_3 U_{sin}) + G_{Y\theta}(A_4 U_{cos}) + G_{Y\theta}(U_{d\theta} + D_{\theta})$$

$$\Theta = G_{\theta}(A_3 U_{sin}) + G_{\theta}(A_4 U_{cos}) + G_{\theta}(U_{d\theta} + D_{\theta})$$

$$+ G_{\theta Y}(A_1 U_{sin}) + G_{\theta Y}(A_2 U_{cos}) + G_{\theta Y}(U_d + D)$$

... (23)

20

【 0 0 6 9 】

【 数 2 4 】

$$Y = \begin{bmatrix} G_Y U_{sin} & G_Y U_{cos} & G_{Y\theta} U_{sin} & G_{Y\theta} U_{cos} & G_Y(U_d + D) + G_{Y\theta}(U_{d\theta} + D_{\theta}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \\ 1 \end{bmatrix}$$

30

$$\Theta = \begin{bmatrix} G_{\theta Y} U_{sin} & G_{\theta Y} U_{cos} & G_{\theta} U_{sin} & G_{\theta} U_{cos} & G_{\theta}(U_{d\theta} + D_{\theta}) + G_{\theta Y}(U_d + D) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \\ 1 \end{bmatrix}$$

... (24)

【 0 0 7 0 】

上述の S 1 0 1 ~ S 1 0 3 の工程を i 回目に行うときのパラメータを  $A_{i1}$ 、 $A_{i2}$ 、 $A_{i3}$  および  $A_{i4}$  とし、そのときに取得された情報における Y 方向および X 方向におけるステージ 2 1 の位置のデータ列を  $Y_i$  および  $X_i$  とする。このとき、データ列  $Y_i$  およびデータ列  $X_i$  は式 ( 2 5 ) によって表される。したがって、S 1 0 1 ~ S 1 0 3 の工程を n 回実行することによって取得された n 個の情報におけるデータ列  $Y_i$  をまとめると、式 ( 2 6 ) を得ることができる。式 ( 2 6 ) において  $Y_{ex}$  は、n 個の情報によって得られたステージ 2 1 の位置のデータ列  $Y_i$  による行列を表し、 $X_Y$  は、n 個の情報を取得する際に用いられたパラメータ  $A_{i1}$ 、 $A_{i2}$ 、 $A_{i3}$  および  $A_{i4}$  による行列を表す。また、S 1 0 1 ~ S 1 0 3 の工程を n 回実行することによって取得された n 個の情報におけるデータ列  $X_i$  をまとめると、式 ( 2 7 ) を得ることができる。式 ( 2 7 ) において  $X_{ex}$  は、n 個の情報によって得られたステージ 2 1 の位置のデータ列  $X_i$  による行列

40

50

を表し、 $X$  は、 $n$  個の情報を取得する際に用いられたパラメータ  $A_{i1}$ 、 $A_{i2}$ 、 $A_{i3}$  および  $A_{i4}$  による行列を表す。

【 0 0 7 1 】

【 数 2 5 】

$$Y_i = \begin{bmatrix} G_Y U_{\sin} & G_Y U_{\cos} & G_{Y\theta} U_{\sin} & G_{Y\theta} U_{\cos} & G_Y (U_d + D) + G_{Y\theta} (U_{d\theta} + D_\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{i1} \\ A_{i2} \\ A_{i3} \\ A_{i4} \\ 1 \end{bmatrix} \quad 10$$

$$\Theta_i = \begin{bmatrix} G_{\theta Y} U_{\sin} & G_{\theta Y} U_{\cos} & G_{\theta} U_{\sin} & G_{\theta} U_{\cos} & G_{\theta} (U_{d\theta} + D_\theta) + G_{\theta Y} (U_d + D) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{i1} \\ A_{i2} \\ A_{i3} \\ A_{i4} \\ 1 \end{bmatrix}$$

... (25)

【 0 0 7 2 】

20

【 数 2 6 】

$$Y_{ex} = \sum_Y X_Y$$

$$Y_{ex} = [Y_1 \ Y_2 \ \dots \ Y_n]$$

$$\sum_Y = [G_Y U_{\sin} \ G_Y U_{\cos} \ G_{Y\theta} U_{\sin} \ G_{Y\theta} U_{\cos} \ G_Y (U_d + D) + G_{Y\theta} (U_{d\theta} + D_\theta)]$$

$$X_Y = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{21} & \dots & A_{n1} \\ A_{12} & A_{22} & \dots & A_{n2} \\ A_{13} & A_{23} & \dots & A_{n3} \\ A_{14} & A_{24} & \dots & A_{n4} \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad 30$$

... (26)

【 0 0 7 3 】

【 数 2 7 】

$$\Theta_{ex} = \sum_\theta X_\theta$$

$$Y_{ex} = [Y_1 \ Y_2 \ \dots \ Y_n]$$

$$\sum_\theta = [G_{\theta Y} U_{\sin} \ G_{\theta Y} U_{\cos} \ G_{\theta} U_{\sin} \ G_{\theta} U_{\cos} \ G_{\theta} (U_{d\theta} + D_\theta) + G_{\theta Y} (U_d + D)]$$

$$X_\theta = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{21} & \dots & A_{n1} \\ A_{12} & A_{22} & \dots & A_{n2} \\ A_{13} & A_{23} & \dots & A_{n3} \\ A_{14} & A_{24} & \dots & A_{n4} \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad 40$$

... (27)

【 0 0 7 4 】

ここで、 $S101 \sim S103$  の工程で用いられる任意信号のパラメータを、 $X_Y$  および  $X_\theta$  がそれぞれフルランクになるように選択しておけば、 $X_Y$  および  $X_\theta$  の疑似逆行列から  $Y_{ex}$  および  $\Theta_{ex}$  を決定することができる。式 (28) は、 $Y_{ex}$  および  $\Theta_{ex}$  を示す。このように複数の情報を用いて決定された  $Y_{ex}$  および  $\Theta_{ex}$  は、第 2 信号を入力とし、ステージ

50



の位置を出力とする関数である。そのため、Y方向におけるステージ21の推定位置のデータ列 $Y_{t_h}$ およびX方向におけるステージ21の推定位置のデータ列 $X_{t_h}$ は、式(29)によって表すことができる。式(29)において、 $Y_{t_h}$ は、第2信号のパラメータ $A_1 \sim A_4$ として $A_{t_h1} \sim A_{t_h4}$ を設定したときにおけるステージ21の推定位置のデータ列を表す。また、 $X_{t_h}$ は、第2信号のパラメータ $A_1 \sim A_4$ として $A_{t_h1} \sim A_{t_h4}$ を設定したときにおけるステージ21の推定位置のデータ列を表す。

【0075】

【数28】

$$\begin{aligned}\Sigma_Y &= Y_{ex} X_Y^T (X_Y X_Y^T)^{-1} \\ \Sigma_\theta &= \Theta_{ex} X_\theta^T (X_\theta X_\theta^T)^{-1}\end{aligned}\quad \dots (28)$$

10

【0076】

【数29】

$$Y_{th} = \Sigma_Y \begin{bmatrix} A_{th1} \\ A_{th2} \\ A_{th3} \\ A_{th4} \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \Theta_{th} = \Sigma_\theta \begin{bmatrix} A_{th1} \\ A_{th2} \\ A_{th3} \\ A_{th4} \\ 1 \end{bmatrix}\quad \dots (29)$$

20

【0077】

S102においてステージ21を駆動させる際に使用した目標位置の時刻0～N-1におけるデータ列 $Y_{ref}$ およびデータ列 $X_{ref}$ は式(30)によって表される。そして、データ列 $Y_{t_h}$ とデータ列 $Y_{ref}$ との差 $Y_{err}$ 、およびデータ列 $X_{t_h}$ とデータ列 $X_{ref}$ との差 $X_{err}$ が式(31)によって表される。制御部25は、この差 $Y_{err}$ および差 $X_{err}$ がそれぞれ許容範囲に収まるようにパラメータ $A_{t_h1} \sim A_{t_h4}$ を求める。特に、制御部25は、差 $Y_{err}$ および差 $X_{err}$ がそれぞれ小さくなる(例えば最小になる)ようにパラメータ $A_{t_h1} \sim A_{t_h4}$ を求めることが好ましい。これにより、制御部25は、推力リップルによるステージ21の振動の振幅が許容範囲に収まるようにY方向における第2信号およびX方向における第2信号を決定することができる。

30

【0078】

【数30】

$$Y_{ref} = \begin{bmatrix} REF[0] \\ REF[1] \\ \vdots \\ REF[N-1] \end{bmatrix}, \quad \Theta_{ref} = \begin{bmatrix} REF_\theta[0] \\ REF_\theta[1] \\ \vdots \\ REF_\theta[N-1] \end{bmatrix}\quad \dots (30)$$

【0079】

40

【数 3 1】

$$\begin{aligned}
 Y_{\text{err}}(A_{\text{th}1}, A_{\text{th}2}, A_{\text{th}3}, A_{\text{th}4}) &= Y_{\text{ref}} - \sum_Y \begin{bmatrix} A_{\text{th}1} \\ A_{\text{th}2} \\ A_{\text{th}3} \\ A_{\text{th}4} \\ 1 \end{bmatrix} \\
 \Theta_{\text{err}}(A_{\text{th}1}, A_{\text{th}2}, A_{\text{th}3}, A_{\text{th}4}) &= \Theta_{\text{ref}} - \sum_{\Theta} \begin{bmatrix} A_{\text{th}1} \\ A_{\text{th}2} \\ A_{\text{th}3} \\ A_{\text{th}4} \\ 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}
 \quad \dots(31)$$

【0080】

式(31)のような多変数関数について最適化問題を解く際には、重み付き評価関数を用いることで、複数の多変数関数の最適値を求めることができる。重み付き評価関数の一例としては、例えば、式(32)が挙げられる。制御部25は、差 $Y_{\text{err}}$ および差 $\Theta_{\text{err}}$ の単位系により、データ列 $Y$ およびデータ列 $\Theta$ の評価値が等価になるように $q_Y$ および $q_{\Theta}$ によって重みづけを行う。これにより、制御部25は、推力リップルによるステージ21の振動の振幅が最小になるように $Y$ 方向における第2信号および $\Theta$ 方向における第2信号を決定することができる。ここで、上述の計算例は一例であり、評価関数の定義や、最適化問題の解を得る方法としては、上述の方法に限られるものではない。

【0081】

【数 3 2】

$$\begin{aligned}
 J &= q_Y^2 \|Y_{\text{err}}(A_{\text{th}1}, A_{\text{th}2}, A_{\text{th}3}, A_{\text{th}4})\|^2 \\
 &\quad + q_{\Theta}^2 \|\Theta_{\text{err}}(A_{\text{th}1}, A_{\text{th}2}, A_{\text{th}3}, A_{\text{th}4})\|^2
 \end{aligned}
 \quad \dots(32)$$

【0082】

&lt; リソグラフィ装置の実施形態 &gt;

基板にパターンを形成するリソグラフィ装置において、上述のステージ装置を適用する例について説明する。リソグラフィ装置は、例えば、基板を露光してマスクのパターンを基板に転写する露光装置や、基板上のインプリント材をモールドを用いて成形するインプリント装置、荷電粒子線を基板に照射して基板にパターンを形成する描画装置を含みうる。露光装置においては、マスクおよび基板の少なくとも一方を保持するステージの位置を制御するために上述のステージ装置が用いられうる。インプリント装置においては、モールドおよび基板の少なくとも一方を保持するステージの位置を制御するために上述のステージ装置が用いられうる。また、描画装置においては、基板を保持するステージの位置を制御するために上述のステージ装置が用いられうる。以下では、露光装置において上述のステージ装置を用いる例について説明する。

【0083】

図10は、本発明のステージ装置を適用した露光装置300を示す概略図である。露光装置300は、照明光学系30と、投影光学系50と、マスク45を保持するマスクステージ41の位置を制御するための第1ステージ装置40と、基板65を保持する基板ステージ61の位置を制御するための第2ステージ装置60とを含みうる。また、露光装置300は、露光装置300の各部を制御する制御部70を含みうる。ここで、第1ステージ装置40および第2ステージ装置60はそれぞれ、第1実施形態のステージ装置100または第2実施形態のステージ装置200と同様の構成であるため、ここでは説明を省略する。また、本実施形態における制御部70は、第1ステージ装置40における制御部と第

2ステージ装置60における制御部とを含みうる。

【0084】

マスク45および基板65は、マスクステージ41および基板ステージ61によってそれぞれ保持されており、投影光学系50を介して光学的にほぼ共役な位置（投影光学系50の物体面および像面の位置）に配置される。投影光学系50は、所定の投影倍率（例えば1/2倍）を有し、照明光学系30から射出された露光光31を用いて、マスク45に形成されたパターンを基板65に投影する。その際、第1ステージ装置40および第2ステージ装置60は、投影光学系50の投影倍率に応じた速度比で、マスクステージ41および基板ステージ61を例えばY方向に相対的に移動させる。これにより、マスク45に形成されたパターンを基板65に転写することができる。

10

【0085】

第1ステージ装置40は、真空吸着などによってマスク45を保持するマスクステージ41と、マスクステージ41を駆動する駆動部42と、マスクステージ41の位置を計測する計測部43とを含みうる。駆動部42は、例えば、固定子42a<sub>11</sub>および可動子42a<sub>12</sub>を有するリニアモータ42a<sub>1</sub>と、制御部70から供給された信号に応じてリニアモータ42a<sub>1</sub>に電流を供給するドライバ42a<sub>2</sub>とを含みうる。そして、制御部70は、計測部43によって計測されたマスクステージ41の現在位置と目標位置との偏差を低減するための第1信号と、推力リップルによるマスクステージ41の振動を低減するための第2信号とに基づいて駆動部42を制御する。また、第2ステージ装置60は、真空吸着などによって基板65を保持する基板ステージ61と、基板ステージ61を駆動する駆動部62と、基板ステージ61の位置を計測する計測部63とを含みうる。駆動部62は、例えば、固定子62a<sub>11</sub>および可動子62a<sub>12</sub>を有するリニアモータ62a<sub>1</sub>と、制御部70から供給された信号に応じてリニアモータ62a<sub>1</sub>に電流を供給するドライバ62a<sub>2</sub>とを含みうる。そして、制御部70は、上述したように、計測部63によって計測された基板ステージ61の現在位置と目標位置との偏差を低減するための第1信号と、推力リップルによる基板ステージ61の振動を低減するための第2信号とに基づいて駆動部62を制御する。

20

【0086】

次に、露光装置300が複数の基板65の各々を露光している間において、第2信号を更新する方法について説明する。図11は、露光装置300が複数の基板65の各々を露光する工程を示すフローチャートである。図11のフローチャートにおける各工程は、制御部70によって実行されうる。

30

【0087】

S301では、制御部70は、基板を基板ステージ61上に搭載するように基板搬送部（不図示）を制御し、露光処理を行う位置（露光位置）に基板ステージ61を移動させる。S302では、制御部70は、基板ステージ61に搭載された基板にマスク45のパターンを転写する露光処理を行う。S303では、制御部70は、基板ステージ61に搭載された基板を他の基板に変更する位置（変更位置）に基板ステージ61を移動させ、このときの基板ステージ61の位置プロファイルを取得する。S304では、制御部70は、第2信号を更新するか否かを判断する。第2信号を更新すると判断した場合はS306に進み、第2信号を更新しないと判断した場合はS318に進む。推力リップルは、リニアモータの磁極ピッチに応じて発生することが知られているため、制御部70は、基板ステージ61の移動速度から推力リップルの周波数を求めることができる。これにより、制御部70は、基板ステージ61の位置の偏差データに対して周波数解析を行い、推力リップルに対応する周波数スペクトルの大きさが規定値を超えていた場合、第2信号の更新が必要であると判断することができる。S305では、制御部70は、基板ステージ61に搭載された基板を他の基板に変更するように基板搬送部を制御する。

40

【0088】

S306では、制御部70は、露光処理を行う位置に基板ステージ61を移動させる。S307では、制御部70は、基板ステージ61に搭載された基板に露光処理を行う。S

50

308では、制御部70は、任意信号を第2信号の代わりに設定する。S309では、制御部70は、変更位置に基板ステージ61を移動させ、このときの基板ステージ61の応答（位置プロファイル）に関する情報を取得する。S310では、制御部70は、基板ステージ61に搭載された基板を他の基板に変更するように基板搬送部を制御する。S311では、制御部70は、S302（またはS307）の工程で用いられた第2信号を再び設定する。S312では、制御部70は、取得した情報の数が規定数に達したか否かを判断する。情報の数が規定数に達した場合はS313に進む。一方で、情報の数が規定数に達していない場合はS306に進み、S306～S307の工程を行った後、S308において任意信号におけるパラメータ（振幅Aおよび位相）の値を変えて、当該任意信号を第2信号の代わりに設定する。そして、S309において、制御部70は、変更位置に基板ステージ61を移動させ、このときの基板ステージ61の応答に関する情報を新たに取得する。このように、本実施形態の露光装置300は、複数の露光処理の間において基板ステージ61の応答に関する情報を取得するため、スループットが低下することを抑制することができる。また、本実施形態の露光装置300は、S302で用いられた第2信号をS311において再び設定しているため、複数の情報を取得している場合であったとしても、露光処理を安定して行うことができる。

10

#### 【0089】

S313では、制御部70は、露光処理を行う位置に基板ステージ61を移動させる。S314では、制御部70は、基板ステージ61に搭載された基板に露光処理を行う。S315では、制御部70は、図3に示すフローチャートにおけるS105の工程と同様に、複数の情報に基づいて第2信号を決定し、決定した第2信号を設定することにより、第2信号の更新を行う。S316では、制御部70は、変更位置に基板ステージ61を移動させ、このときの基板ステージ61の位置プロファイルを取得する。

20

#### 【0090】

S317では、制御部70は、S316で取得した基板ステージ61の位置プロファイルにおいて、推力リップルによる基板ステージ61の振動の振幅が許容範囲に収まっているか否かを確認する。当該振幅が許容範囲に収まっていない場合はS318に進み、制御部70は、基板の変更を行い、S302で用いられた第2信号を再び設定した後、S306～S317の工程を再び行う。一方で、当該振幅が許容範囲に収まっている場合はS319に進み、制御部70は、次に露光処理を行う基板（次の基板）があるか否かを判断する。次の基板がある場合は、S320において基板の変更を行い、露光処理を行う位置に基板ステージ61を移動させた後、S302に戻る。一方で、次の基板がない場合は、S321において基板を回収した後、終了する。このように、本実施形態の露光装置300は、複数の露光処理の間において取得した基板ステージ61の位置プロファイルに基づいて、S315で決定した第2信号の良否を確認しているため、スループットが低下することを抑制することができる。また、本実施形態の露光装置300は、S302で用いられた第2信号をS318において再び設定しているため、S315で決定した第2信号が否であったとしても、露光処理を安定して行うことができる。

30

#### 【0091】

##### < 物品の製造方法の実施形態 >

本発明の実施形態における物品の製造方法は、例えば、半導体デバイス等のマイクロデバイスや微細構造を有する素子等の物品を製造するのに好適である。本実施形態の物品の製造方法は、上記のリソグラフィ装置（露光装置）を用いて基板にパターンを形成する工程（基板を露光する工程）と、かかる工程でパターンが形成された基板を加工（例えば現像）する工程とを含む。更に、かかる製造方法は、他の周知の工程（酸化、成膜、蒸着、ドーピング、平坦化、エッチング、レジスト剥離、ダイシング、ボンディング、パッケージング等）を含む。本実施形態の物品の製造方法は、従来の方法に比べて、物品の性能・品質・生産性・生産コストの少なくとも1つにおいて有利である。

40

#### 【0092】

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

50

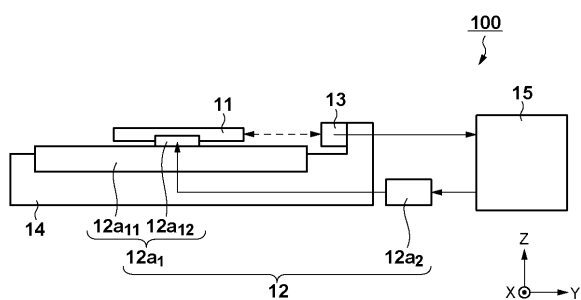
定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形および変更が可能である。

【符号の説明】

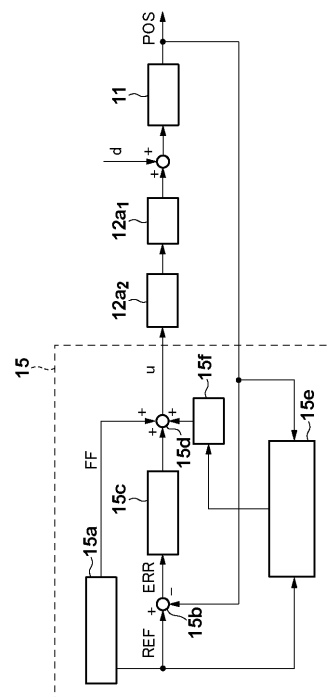
【 0 0 9 3 】

1 2 , 2 2 : 駆動部、1 3 , 2 3 : 計測部、1 5 , 2 5 : 制御部、1 0 0 , 2 0 0 : ステージ装置、3 0 0 : 露光装置

【圖 1】

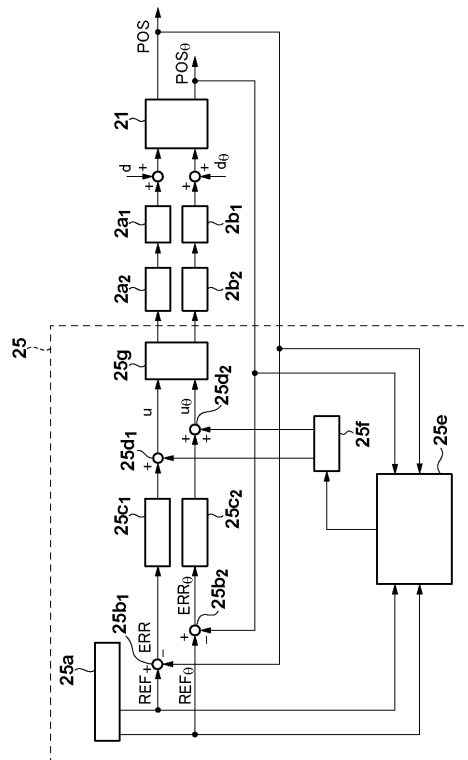


【圖 2】

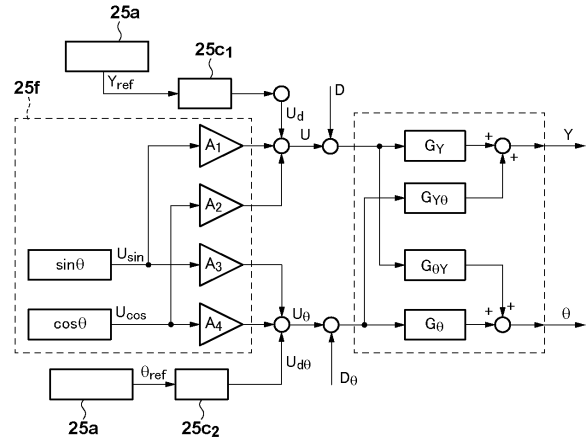




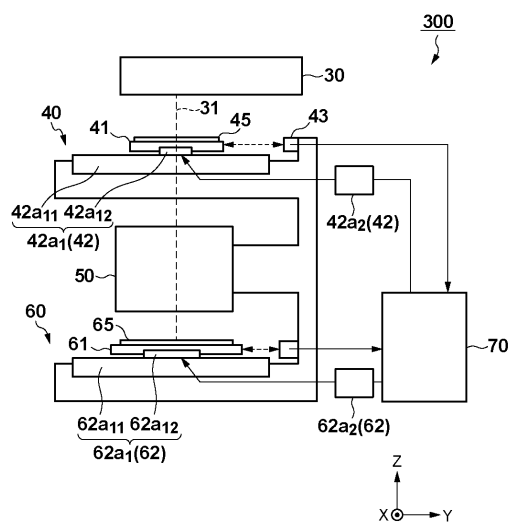
【 図 8 】



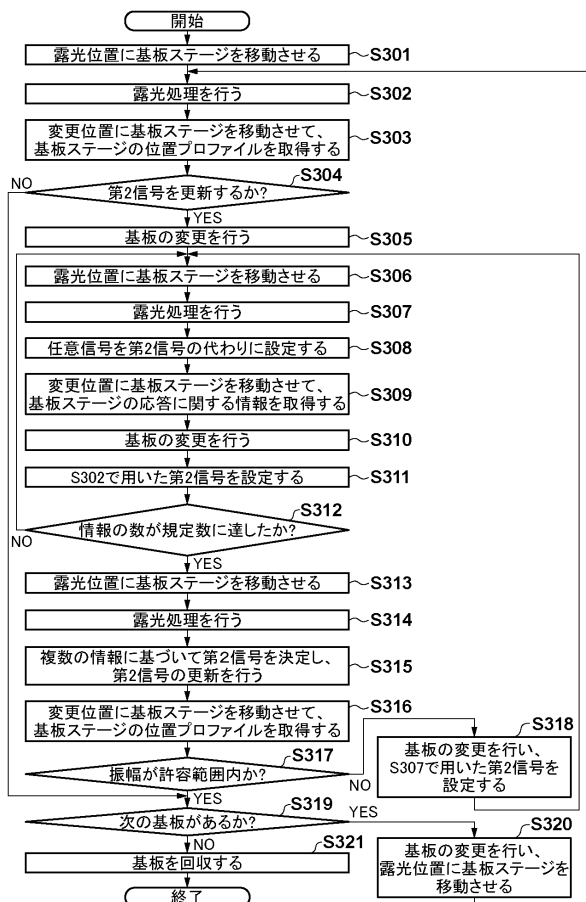
【 図 9 】



【 図 1 0 】



【 図 1 1 】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 圓山 智史  
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 平田 光男  
栃木県宇都宮市陽東7-1-2 国立大学法人宇都宮大学内

審査官 山村 秀政

- (56)参考文献 特開2006-211873(JP,A)  
特開2010-207038(JP,A)  
特開平06-202736(JP,A)  
特開2001-075611(JP,A)  
特開2002-198285(JP,A)  
特開2008-079477(JP,A)  
特開2007-142093(JP,A)  
特開2011-112163(JP,A)  
特開平07-299778(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05D	3/12
G03F	7/20
H01L	21/027
H01L	21/68