

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7532131号
(P7532131)

(45)発行日 令和6年8月13日(2024.8.13)

(24)登録日 令和6年8月2日(2024.8.2)

(51)国際特許分類

F I

G 0 3 F 7/20 (2006.01)

G 0 3 F 7/20 5 2 1

G 0 5 D 3/12 (2006.01)

G 0 5 D 3/12 3 0 5 S

請求項の数 14 (全19頁)

(21)出願番号	特願2020-127585(P2020-127585)	(73)特許権者	000001007
(22)出願日	令和2年7月28日(2020.7.28)		キヤノン株式会社
(65)公開番号	特開2022-24792(P2022-24792A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43)公開日	令和4年2月9日(2022.2.9)	(74)代理人	100094112
審査請求日	令和5年7月14日(2023.7.14)		弁理士 岡部 譲
		(74)代理人	100101498
			弁理士 越智 隆夫
		(74)代理人	100106183
			弁理士 吉澤 弘司
		(74)代理人	100136799
			弁理士 本田 亜希
		(72)発明者	早川 崇志
			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

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 露光装置、及び物品の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

光源からの露光光を用いて原版に形成されたパターンを基板に転写するように前記基板を露光する露光装置であって、

前記基板が載置される基板ステージと、

第1推力を前記基板ステージに発生させる第1アクチュエータ、及び第2推力を前記基板ステージに発生させる第2アクチュエータを有し、前記基板ステージを走査方向に駆動する駆動部と、

前記基板上の複数のショット領域の各々を露光する露光期間において、前記基板ステージを前記走査方向に移動させながら前記基板上の複数のショット領域の各々を露光するように前記駆動部を制御する制御部と、

を備え、

前記制御部は、前記露光期間において前記基板ステージを前記走査方向に移動させるために、前記第1アクチュエータにより前記第1推力を前記走査方向における第1方向に前記基板ステージに付与させ、前記第2アクチュエータにより前記第2推力を前記走査方向における前記第1方向とは逆の第2方向に前記基板ステージに付与させ、前記第1推力と前記第2推力のそれぞれが変化することにより前記第1推力と前記第2推力の合力は正弦関数に従い変化し、前記合力の向きが変化するとき前記第1推力の大きさと前記第2推力の大きさとがいずれも0にならないように前記駆動部を制御することを特徴とする露光装置。

10

【請求項 2】

前記制御部は、前記基板上の一部のショット領域の各々を露光する際に前記基板ステージの前記走査方向における加速度が正の値をとる区間から所定の時刻において 0 になった後、負の値をとる区間に移行するように生成された前記加速度のプロファイルに従って、前記基板ステージを前記走査方向に移動させるように前記駆動部を制御することを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置。

【請求項 3】

前記制御部は、前記基板上の残りのショット領域の各々を露光する際に前記基板ステージの前記走査方向における前記加速度が負の値をとる区間から所定の時刻において 0 になった後、正の値をとる区間に移行するように生成された前記加速度のプロファイルに従って、前記基板ステージを前記走査方向に移動させるように前記駆動部を制御することを特徴とする請求項 2 に記載の露光装置。

10

【請求項 4】

前記制御部は、前記複数のショット領域の各々を露光する際の前記加速度のプロファイルを、時間に関する微分可能関数から生成することを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の露光装置。

【請求項 5】

前記制御部は、前記複数のショット領域の各々を露光する際の前記加速度のプロファイルから生成された加速指令値に基づいて前記第 1 推力及び前記第 2 推力それぞれのプロファイルを生成することを特徴とする請求項 2 乃至 4 のいずれか一項に記載の露光装置。

20

【請求項 6】

前記制御部は、前記複数のショット領域の各々を露光する際の前記第 1 推力及び前記第 2 推力それぞれのプロファイルを、時間に関する微分可能関数から生成することを特徴とする請求項 5 に記載の露光装置。

【請求項 7】

前記制御部は、前記所定の時刻において、前記第 1 アクチュエータ及び前記第 2 アクチュエータそれぞれが前記基板ステージに前記第 1 推力及び前記第 2 推力を発生させるように前記駆動部を制御することを特徴とする請求項 2 乃至 6 のいずれか一項に記載の露光装置。

【請求項 8】

30

前記制御部は、前記露光期間のいずれの時刻においても前記第 1 アクチュエータ及び前記第 2 アクチュエータそれぞれが前記基板ステージに前記第 1 推力及び前記第 2 推力を発生させるように前記駆動部を制御することを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の露光装置。

【請求項 9】

前記露光期間に含まれる第 1 期間において前記合力は前記第 1 方向に前記基板ステージに付与され、前記露光期間に含まれ前記第 1 期間の後の第 2 期間において前記合力は前記第 2 方向に前記基板ステージに付与され、前記第 1 期間と前記第 2 期間との間の期間において前記合力の大きさは 0 になることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の露光装置。

40

【請求項 10】

前記第 1 アクチュエータ及び前記第 2 アクチュエータはそれぞれ、電磁石アクチュエータであることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか一項に記載の露光装置。

【請求項 11】

光源からの露光光を用いて原版に形成されたパターンを基板に転写するように前記基板を露光する露光装置であって、

前記基板が載置される基板ステージと、

第 1 推力を前記基板ステージに発生させる第 1 アクチュエータ、及び第 2 推力を前記基板ステージに発生させる第 2 アクチュエータを有し、前記基板ステージを走査方向に駆動する駆動部と、

50

前記基板上の複数のショット領域の各々を露光する露光期間において、前記基板ステージを前記走査方向に移動させながら前記基板上の複数のショット領域の各々を露光するように前記駆動部を制御する制御部と、
を備え、

前記制御部は、前記露光期間において前記基板ステージを前記走査方向に移動させるために、前記第 1 アクチュエータにより前記第 1 推力を前記走査方向における第 1 方向に前記基板ステージに付与させ、前記第 2 アクチュエータにより前記第 2 推力を前記走査方向における前記第 1 方向とは逆の第 2 方向に前記基板ステージに付与させ、前記第 1 推力と前記第 2 推力のそれぞれが変化することにより前記第 1 推力と前記第 2 推力の合力は正弦関数に従い変化し、前記合力の向きが変化するとき前記第 1 推力の大きさと前記第 2 推力の大きさとがいずれも 0 にならないように前記駆動部を制御し、

10

前記露光期間に含まれる第 1 期間において前記合力は前記第 1 方向に前記基板ステージに付与され、前記露光期間に含まれ前記第 1 期間の後の第 2 期間において前記合力は前記第 2 方向に前記基板ステージに付与され、前記第 1 期間と前記第 2 期間との間の期間において前記合力の大きさは 0 になることを特徴とする露光装置。

【請求項 1 2】

請求項 1 乃至 1 1 のいずれか一項に記載の露光装置を用いて前記基板を露光するステップと、

露光された前記基板を現像するステップと、

現像された前記基板を加工して物品を製造するステップと、
を含むことを特徴とする物品の製造方法。

20

【請求項 1 3】

基板が載置される基板ステージと、第 1 推力を前記基板ステージに発生させる第 1 アクチュエータ、及び第 2 推力を前記基板ステージに発生させる第 2 アクチュエータを有し、前記基板ステージを走査方向に駆動する駆動部とを備える露光装置において、光源からの露光光を用いて原版に形成されたパターンを前記基板に転写するように前記基板を露光する方法であって、

前記基板上の複数のショット領域の各々を露光する露光期間において、前記基板ステージを前記走査方向に移動させながら前記基板上の複数のショット領域の各々を露光するように前記駆動部を制御するステップを含み、

30

該制御するステップは、前記露光期間において前記基板ステージを前記走査方向に移動させるために、前記第 1 アクチュエータにより前記第 1 推力を前記走査方向における第 1 方向に前記基板ステージに付与させ、前記第 2 アクチュエータにより前記第 2 推力を前記走査方向における前記第 1 方向とは逆の第 2 方向に前記基板ステージに付与させ、前記第 1 推力と前記第 2 推力のそれぞれが変化することにより前記第 1 推力と前記第 2 推力の合力は正弦関数に従い変化し、前記合力の向きが変化するとき前記第 1 推力の大きさと前記第 2 推力の大きさとがいずれも 0 にならないように前記駆動部を制御するステップを含むことを特徴とする基板を露光する方法。

【請求項 1 4】

基板が載置される基板ステージと、第 1 推力を前記基板ステージに発生させる第 1 アクチュエータ、及び第 2 推力を前記基板ステージに発生させる第 2 アクチュエータを有し、前記基板ステージを走査方向に駆動する駆動部とを備える露光装置において、光源からの露光光を用いて原版に形成されたパターンを前記基板に転写するように前記基板を露光する方法であって、

40

前記基板上の複数のショット領域の各々を露光する露光期間において、前記基板ステージを前記走査方向に移動させながら前記基板上の複数のショット領域の各々を露光するように前記駆動部を制御するステップを含み、

該制御するステップは、前記露光期間において前記基板ステージを前記走査方向に移動させるために、前記第 1 アクチュエータにより前記第 1 推力を前記走査方向における第 1 方向に前記基板ステージに付与させ、前記第 2 アクチュエータにより前記第 2 推力を前記

50

走査方向における前記第 1 方向とは逆の第 2 方向に前記基板ステージに付与させ、前記第 1 推力と前記第 2 推力のそれぞれが変化することにより前記第 1 推力と前記第 2 推力の合力は正弦関数に従い変化し、前記合力の向きが変化するとき前記第 1 推力の大きさと前記第 2 推力の大きさがいずれも 0 にならないように前記駆動部を制御するステップを含み、前記露光期間に含まれる第 1 期間において前記合力は前記第 1 方向に前記基板ステージに付与され、前記露光期間に含まれ前記第 1 期間の後の第 2 期間において前記合力は前記第 2 方向に前記基板ステージに付与され、前記第 1 期間と前記第 2 期間との間の期間において前記合力の大きさは 0 になることを特徴とする基板を露光する方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、露光装置、及び物品の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、基板ステージを走査方向に走査移動させながら、基板ステージ上に載置された基板を露光する露光装置が知られている。

そして、そのような露光装置では、基板を露光する際のスループットを増加させることで生産性を向上させることが求められている。

特許文献 1 は、基板を露光する際に正弦関数から構成される駆動プロファイルに従って基板ステージを変速させながら走査移動させることで、露光時間を短縮しスループットを向上させた露光装置を開示している。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2012 - 142463 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 では、基板上の所定のショット領域を露光する際に、基板ステージの走査方向における加速度が正の値をとる第 1 の区間から所定の時刻において 0 になった後、負の値をとる第 2 の区間に移行するように基板ステージを走査移動させている。

30

【0005】

一方、基板ステージに走査方向の正の向きを有する第 1 の推力を発生させる第 1 のアクチュエータと走査方向の負の向きを有する第 2 の推力を発生させる第 2 のアクチュエータとを用いて基板ステージを走査移動させる露光装置が知られている。

ここで、そのような露光装置において基板を露光する際に、特許文献 1 に開示されているように基板ステージを変速させながら走査移動させる場合には、第 1 のアクチュエータから第 2 のアクチュエータへの切り替えが発生することが考えられる。

すなわち、第 1 の区間では第 1 のアクチュエータによって第 1 の推力のみを発生させることで基板ステージの加速度を正の値にする一方で、第 2 の区間では第 2 のアクチュエータによって第 2 の推力のみを発生させることで基板ステージの加速度を負の値にする。

40

【0006】

このとき、基板ステージの加速度が 0 になる所定の時刻において第 1 の推力の発生が終了すると同時に第 2 の推力の発生が開始する。

すなわち、所定の時刻において第 1 の推力及び第 2 の推力が同時に 0 になることで、基板ステージの位置に関する制御偏差が発生し、これにより重ね合わせ精度が低下してしまう。

そこで本発明は、スループットの向上を維持しつつ、基板ステージの位置に関する制御偏差の発生を抑制することができる露光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】

50

【 0 0 0 7 】

本発明に係る露光装置は、光源からの露光光を用いて原版に形成されたパターンを基板に転写するように基板を露光する露光装置であって、基板が載置される基板ステージと、第1推力を基板ステージに発生させる第1アクチュエータ、及び第2推力を基板ステージに発生させる第2アクチュエータを有し、基板ステージを走査方向に駆動する駆動部と、基板上の複数のショット領域の各々を露光する露光期間において、基板ステージを走査方向に移動させながら基板上の複数のショット領域の各々を露光するように駆動部を制御する制御部とを備え、制御部は、露光期間において基板ステージを走査方向に移動させるために、第1アクチュエータにより第1推力を走査方向における第1方向に基板ステージに付与させ、第2アクチュエータにより第2推力を走査方向における第1方向とは逆の第2方向に基板ステージに付与させ、第1推力と第2推力のそれぞれが変化することにより第1推力と第2推力の合力は正弦関数に従い変化し、合力の向きが変化するとき第1推力の大きさと第2推力の大きさがいずれも0にならないように駆動部を制御することを特徴とする。

10

【発明の効果】

【 0 0 0 8 】

本発明によれば、スループットの向上を維持しつつ、基板ステージの位置に関する制御偏差の発生を抑制することができる露光装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 9 】

20

【図1】第一実施形態に係る露光装置の模式的断面図及び基板ステージの上面図。

【図2】第一実施形態に係る露光装置における加速度プロファイル、速度プロファイル、推力プロファイル及び合力プロファイル。

【図3】第一実施形態に係る露光装置における基板の露光処理を示したフローチャート。

【図4】第二実施形態に係る露光装置における推力プロファイル及び合力プロファイル。

【図5】従来の露光装置における加速度プロファイル及び速度プロファイル。

【図6】別の従来の露光装置における加速度プロファイル、速度プロファイル、推力プロファイル及び合力プロファイル。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 0 】

30

以下に、本実施形態に係る露光装置を添付の図面に基づいて詳細に説明する。なお、以下に示す図面は、本実施形態を容易に理解できるようにするために、実際とは異なる縮尺で描かれている。

なお以下では、基板ステージの基板載置面に垂直な方向をZ方向、基板載置面内において互いに直交する（垂直な）二つの方向をそれぞれX方向及びY方向と定義する。

【 0 0 1 1 】

現在、半導体デバイスの製造装置である露光装置では、光学系に対してマスクとウエハとを走査しながら露光を行う走査露光装置が主流となっている。

また、露光装置では露光精度や重ね合わせ精度の向上と同時に生産性の向上が求められている。

40

【 0 0 1 2 】

そして、そのような要望に応えるために、マスクステージや基板ステージを走査移動させて露光を行う際の加速度及び速度を向上させることで、露光時間を短縮することによって生産性を向上させてきた。

しかしながら、加速度及び速度の向上にはハード的な限界があるため、露光を行う際にマスクステージや基板ステージを変速させながら走査移動させることによって露光時間をさらに短縮する露光装置が提案されている。

【 0 0 1 3 】

一方、リニアモータを用いてマスクステージや基板ステージを走査移動させる露光装置では、マスクステージや基板ステージの加速度の向上に伴って、リニアモータで用いられ

50

るコイルの発熱量が増大する。

それにより、マスクステージや基板ステージにおいて熱膨張が発生することで計測基準が変形したり、レーザ干渉計の光路において空気密度が擾乱したりすることによって、位置計測の精度が低下してしまう虞がある。

【 0 0 1 4 】

これに対しては、発熱量が小さい電磁石アクチュエータを用いてマスクステージや基板ステージを走査移動させる露光装置が提案されている。

そして、そのような露光装置では、走査方向の正の向きを有する第 1 の推力を発生させる第 1 の電磁石アクチュエータと走査方向の負の向きを有する第 2 の推力を発生させる第 2 の電磁石アクチュエータとを用いて各ステージを走査方向に駆動する方法が採られる。

10

【 0 0 1 5 】

ここで、基板上の所定のショット領域を露光する際に、基板ステージの加速度が正の値をとる第 1 の区間から所定の時刻において 0 になった後、負の値をとる第 2 の区間に移行するように基板ステージを走査移動させる場合を考える。

このとき、第 1 の区間では第 1 の電磁石アクチュエータによって第 1 の推力のみを発生させる一方で、第 2 の区間では第 2 の電磁石アクチュエータによって第 2 の推力のみを発生させる方法を採用することが考えられる。

すなわちこの場合、第 1 の区間では第 1 の推力のみを発生させることで基板ステージの加速度を正の値にする一方で、第 2 の区間では第 2 の推力のみを発生させることで基板ステージの加速度を負の値にすることができる。

20

【 0 0 1 6 】

このとき、基板ステージの加速度が正の値をとる第 1 の区間から所定の時刻において 0 になった後、負の値をとる第 2 の区間に移行する際に、第 1 の電磁石アクチュエータから第 2 の電磁石アクチュエータへの瞬間的な切り替えが発生する。

そしてこの場合、基板ステージを駆動するアクチュエータが瞬間的に切り替わることで、基板ステージの位置に関して制御偏差が発生することによって重ね合わせ精度が低下してしまう虞がある。

【 0 0 1 7 】

そこで本実施形態に係る露光装置では、以下に示す構成を採用することで、基板ステージの加速度（加速方向）が正から負に切り替わる変曲点を有する駆動プロファイルに従って基板ステージを駆動する際に生じるそのような制御偏差の発生を抑制することができる。

30

【 0 0 1 8 】

[第一実施形態]

図 1 (a) は、第一実施形態に係る露光装置 1 0 0 の模式的断面図を示している。

【 0 0 1 9 】

本実施形態に係る露光装置 1 0 0 は、光源からの露光光を用いてマスク 1 0 2 (原版) に形成されたパターンを基板 1 0 4 に転写するように基板 1 0 4 を露光する。

ここで基板 1 0 4 としては、例えばその表面にレジスト (感光剤) が塗布されたウエハが用いられ、基板 1 0 4 上には、先の露光処理で形成された互いに同一のパターン構造を有する複数のショット領域が配列されている。

40

そして本実施形態に係る露光装置 1 0 0 は、マスク 1 0 2 と基板 1 0 4 とを互いに同期して Y 方向に走査移動させながら基板 1 0 4 上の各ショット領域を高精度に露光するステップ・アンド・スキャン方式を採用している。なおこの際、露光領域は矩形又は円弧スリット形状とされる。

【 0 0 2 0 】

図 1 (a) に示されているように、本実施形態に係る露光装置 1 0 0 は、投影光学系 1 0 1、マスクステージ 1 0 3、基板ステージ 1 0 5、照明光学系 1 0 6 及び制御部 1 1 1 を備えている。

【 0 0 2 1 】

投影光学系 1 0 1 は、光軸 A X が Z 方向に平行になるように配置されており、マスク 1

50

０２の 패턴の像を投影光学系１０１の像面、すなわち基板１０４上に投影する。

なお、投影光学系１０１の倍率は、例えば１／４、１／２及び１／５から選択することができる。

【００２２】

マスクステージ１０３は、マスク１０２を保持しており、露光を行う際に投影光学系１０１の光軸ＡＸに垂直なＸＹ面内において、Ｙ方向に平行な矢印１０３ａの方向に走査移動する。

このとき、マスクステージ１０３は、マスクステージ１０３のＸ方向における位置が目標位置に維持されるように補正駆動される。

そして、マスクステージ１０３のＸ方向及びＹ方向における位置は、干渉計１０９がマスクステージ１０３上に配置されたバーミラー１０７からの反射光を計測することで決定される。

10

【００２３】

基板ステージ１０５は、載置される基板１０４を不図示のチャックを用いて吸着保持しており、露光を行う際に投影光学系１０１の光軸ＡＸに垂直なＸＹ面内において、Ｙ方向に平行な矢印１０５ａの方向に走査移動する。

具体的には、基板ステージ１０５は、Ｘ方向及びＹ方向それぞれに移動可能なＸＹステージと、投影光学系１０１の光軸ＡＸに平行なＺ方向（基板１０４の高さ方向）に移動可能なＺステージとを含む。

さらに、基板ステージ１０５は、Ｘ軸及びＹ軸の回りに回転可能なレベリングステージと、Ｚ軸の回りに回転可能な回転ステージとを含む。

20

このように、基板ステージ１０５では、マスク１０２に形成されている 패턴の像を基板１０４上の所望のショット領域に一致させるための六軸駆動系が構成されている。

そして、基板ステージ１０５のＸ方向、Ｙ方向及びＺ方向における位置は、干渉計１１０が基板ステージ１０５上に配置されたバーミラー１０８からの反射光を計測することで決定される。

【００２４】

照明光学系１０６は、エキシマレーザ等のパルス光を発生する不図示の光源からの光をマスク１０２に照明する。

具体的には、照明光学系１０６は、入射光の断面形状（寸法）を予め定められた形状に整形するためのビーム整形光学系と、入射光の配光特性を均一にしてマスク１０２を均一な照度で照明するためのオプティカルインテグレータとを有している。

30

また照明光学系１０６は、チップサイズに対応する矩形の照明領域を規定するためのマスキングブレード、コリメータレンズ及びミラー等を有している。

これにより、照明光学系１０６は、遠紫外領域のパルス光を効率的に透過又は反射することができる。

【００２５】

制御部１１１は、ＣＰＵやメモリ等を含んでおり、本実施形態に係る露光装置１００の各構成部材を統括的に制御する。

具体的には、制御部１１１は、マスク１０２に形成されている patternからの光を基板１０４の所定のショット領域に結像させるために、マスク１０２を保持するマスクステージ１０３と基板１０４を保持する基板ステージ１０５との駆動を制御する。

40

例えば制御部１１１は、マスクステージ１０３及び基板ステージ１０５のＸＹ面内における位置（Ｘ方向及びＹ方向における位置、及びＺ軸周りの角度）及びＺ方向における位置（Ｘ軸周り及びＹ軸周りそれぞれにおける角度）を調整する。

また制御部１１１は、基板１０４上の所定のショット領域を露光する際にはマスクステージ１０３及び基板ステージ１０５を互いに同期して走査移動させると共に、露光するショット領域を切り替える際には、基板ステージ１０５をステップ移動させる。

これにより制御部１１１は、基板ステージ１０５によって保持されている基板１０４を走査しながら基板１０４の各ショット領域を露光する露光処理を制御することができる。

50

【 0 0 2 6 】

また、マスクステージ 1 0 3 を矢印 1 0 3 a の方向に走査移動させる際には、基板ステージ 1 0 5 は、投影光学系 1 0 1 の倍率（縮小倍率）だけ補正した速度で矢印 1 0 5 a の方向に走査移動する。

そして、マスク 1 0 2 に形成されているパターンの X Y 面内における位置合わせは、マスクステージ 1 0 3 の位置、基板ステージ 1 0 5 の位置、及び基板ステージ 1 0 5 に対する基板 1 0 4 上の各ショット領域の位置に基づいて行われる。

ここで、マスクステージ 1 0 3 及び基板ステージ 1 0 5 それぞれの位置は、上述したように干渉計 1 0 9 及び 1 1 0 によって計測される。

そして、基板ステージ 1 0 5 に対する基板 1 0 4 上の各ショット領域の位置は、不図示のアライメント顕微鏡によって基板ステージ 1 0 5 上に設けられたマークの位置及び基板 1 0 4 上に形成されたアライメントマークの位置を検出することで計測される。

10

【 0 0 2 7 】

図 1 (b) は、本実施形態に係る露光装置 1 0 0 に設けられた基板ステージ 1 0 5 の上面図を示している。

【 0 0 2 8 】

図 1 (b) に示されているように、基板ステージ 1 0 5 は、基板 1 0 4 を搭載して短距離駆動及び長距離駆動それぞれを行う微動ステージ 2 0 1 及び粗動ステージ 2 0 2 から構成される。

具体的には、粗動ステージ 2 0 2 は、X スライダ 2 0 3 及び Y スライダ 2 0 4 によって移動可能に支持されていると共に、リニアモータ可動子 2 0 5、2 0 6、2 0 7 及び 2 0 8 に接続されている。

20

リニアモータ可動子 2 0 5、2 0 6、2 0 7 及び 2 0 8 はそれぞれ、リニアモータ固定子 2 0 9、2 1 0、2 1 1 及び 2 1 2 との間に生じるローレンツ力によって、粗動ステージ 2 0 2 を X 方向及び Y 方向に駆動することができる。

【 0 0 2 9 】

微動ステージ 2 0 1 は、複数の電磁石アクチュエータ 2 1 3、2 1 4、2 1 5 及び 2 1 6 によって、X 方向及び Y 方向に移動可能であるように粗動ステージ 2 0 2 に非接触で連結される。

そして、電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 は微動ステージ 2 0 1 を Y 方向に駆動させることができる一方で、電磁石アクチュエータ 2 1 4 及び 2 1 6 は微動ステージ 2 0 1 を X 方向に駆動させることができる。

30

【 0 0 3 0 】

なお、電磁石アクチュエータ 2 1 3 乃至 2 1 6 は、吸引力のみを発生させることが可能であり、制御部 1 1 1 によって制御される。

また、微動ステージ 2 0 1 では、不図示の X Y Z リニアモータによって、Z 方向、X 軸周りの回転方向、Y 軸周りの回転方向及び Z 軸周りの回転方向に駆動されることで、六軸駆動系が構成されている。

【 0 0 3 1 】

そして、微動ステージ 2 0 1 を + Y 方向、すなわち Y 方向の正の向きに駆動させる場合には、電磁石アクチュエータ 2 1 3 によって吸引力である推力を Y 方向の正の向き（第 1 方向）に生じさせる。

40

一方、微動ステージ 2 0 1 を - Y 方向、すなわち Y 方向の負の向きに駆動させる場合には、電磁石アクチュエータ 2 1 5 によって吸引力である推力を Y 方向の負の向き（第 2 方向）に生じさせる。

【 0 0 3 2 】

また、微動ステージ 2 0 1 を + X 方向、すなわち X 方向の正の向きに駆動させる場合には、電磁石アクチュエータ 2 1 4 によって吸引力である推力を X 方向の正の向きに生じさせる。

一方、微動ステージ 2 0 1 を - X 方向、すなわち X 方向の負の向きに駆動させる場合に

50

は、電磁石アクチュエータ 2 1 6 によって吸引力である推力を X 方向の負の向きに生じさせる。

すなわち本実施形態に係る露光装置 1 0 0 では、複数のアクチュエータの各々が微動ステージ 2 0 1 に対して互いに異なる向きの推力を発生させる。

【 0 0 3 3 】

本実施形態に係る露光装置 1 0 0 では、上記のように基板ステージ 1 0 5 を構成することによって、基板 1 0 4 を高速かつ高精度に位置決めすることが可能となる。

また本実施形態に係る露光装置 1 0 0 では、微動ステージ 2 0 1 を駆動するための駆動部は、電磁石アクチュエータ 2 1 3 (第 1 のアクチュエータ)、2 1 4、2 1 5 (第 2 のアクチュエータ)、2 1 6 から構成される。

10

なお、微動ステージ 2 0 1 を Y 方向に駆動するための電磁石アクチュエータの数は上記の二個に限らず、三個以上の電磁石アクチュエータを用いて微動ステージ 2 0 1 を Y 方向に駆動することもできる。

【 0 0 3 4 】

図 5 は、従来の露光装置 4 0 0 において基板 1 0 4 上の所定のショット領域に露光を行う際の微動ステージ 2 0 1 の Y 方向における加速度プロファイル A_p 及び速度プロファイル V_p を示している。

なおここで示す従来の露光装置 4 0 0 は、本実施形態に係る露光装置 1 0 0 と同一の構成であるため、同一の部材には同一の符番を付して、説明を省略する。

また以下では、Y 方向における加速度 A 及び速度 V をそれぞれ、単に加速度 A 及び速度 V と称する。

20

【 0 0 3 5 】

図 5 に示されているように、露光装置 4 0 0 において基板 1 0 4 上の所定のショット領域に露光を行う際の微動ステージ 2 0 1 の駆動は、制御部 1 1 1 によって以下に示すように制御される。

具体的には、まず時刻 t_0 から t_3 までの加速区間 5 0 1 において微動ステージ 2 0 1 を Y 方向に加速する際に、時刻 t_1 において A_{max} に到達するように時刻 t_0 から時刻 t_1 まで加速度 A を増加させる。

そして、時刻 t_1 から時刻 t_2 の間では加速度 A を A_{max} に維持した後、時刻 t_3 において 0 になるように時刻 t_2 から時刻 t_3 まで加速度 A を減少させることで、微動ステージ 2 0 1 の速度 V は露光速度 V_s に到達する。

30

【 0 0 3 6 】

次に、時刻 t_3 から t_4 までの等速区間 5 0 2 において微動ステージ 2 0 1 の Y 方向における速度 V を露光速度 V_s に維持したまま、基板 1 0 4 上の所定のショット領域を走査しながら露光する。

そして、時刻 t_4 から t_7 までの減速区間 5 0 3 において微動ステージ 2 0 1 を Y 方向に減速する際に、時刻 t_5 において $-A_{max}$ に到達するように時刻 t_4 から時刻 t_5 まで加速度 A を減少させる。

その後、時刻 t_5 から時刻 t_6 の間では加速度 A を $-A_{max}$ に維持し、最後に時刻 t_7 において 0 になるように時刻 t_6 から時刻 t_7 まで加速度 A を増加させることで、微動ステージ 2 0 1 の速度 V は 0 に到達する。

40

【 0 0 3 7 】

そして、上記に示した走査駆動とステップ駆動とを連続的に繰り返すことによって、基板 1 0 4 上の全体に設けられた複数のショット領域を露光することができる。

ここで、生産性を向上させるためには、露光速度 V_s や最高加速度 A_{max} を向上させることによって、加速区間 5 0 1、露光区間 5 0 2 及び減速区間 5 0 3 それぞれにおける時間を短縮することで、基板 1 0 4 の一枚当たりの処理時間を短縮することが考えられる。

しかしながら、最高加速度 A_{max} の向上にはハード的な制約があるために、それによる生産性の向上には限界がある。

【 0 0 3 8 】

50

図 6 (a) は、別の従来の露光装置 5 0 0 において基板 1 0 4 上の所定のショット領域に露光を行う際の微動ステージ 2 0 1 の Y 方向における加速度プロファイル A_p 及び速度プロファイル V_p を示している。

なおここで示す別の従来の露光装置 5 0 0 は、本実施形態に係る露光装置 1 0 0 と同一の構成であるため、同一の部材には同一の符番を付して、説明を省略する。

また以下では、Y 方向における加速度 A 、速度 V 及び推力 F をそれぞれ、単に加速度 A 、速度 V 及び推力 F と称する。

【 0 0 3 9 】

露光装置 5 0 0 では、加速度 A が正弦関数に従って周期的に変化することで、速度 V も周期的に変化する。なお図 6 (a) では、加速度 A 及び速度 V の一周期における時間変化しか示されていないことに注意されたい。

10

【 0 0 4 0 】

具体的には、まず所定の時刻 t_0 において加速度 A 及び速度 V がそれぞれ A_0 及び $-V_0$ であったとする。

そして、変速区間 6 0 1 では、時刻 t_0 から時刻 t_1 までの間において加速度 A が A_{max} まで増加した後に A_0 まで減少することで、速度 V は $-V_0$ から V_0 まで増加する。

次に、露光区間 6 0 2 では、時刻 t_1 から時刻 t_3 までの間において加速度 A が $-A_0$ まで減少することで、速度 V は V_0 から V_{max} まで増加した後に V_0 まで減少する。

そして、変速区間 6 0 3 では、時刻 t_3 から時刻 t_4 までの間において加速度 A が $-A_{max}$ まで減少した後に $-A_0$ まで増加することで、速度 V は V_0 から $-V_0$ まで減少する。

20

【 0 0 4 1 】

このとき、露光装置 5 0 0 では、加速度 A 及び速度 V がそれぞれ 0 及び V_{max} に到達する時刻 t_2 が時刻 t_1 と時刻 t_3 との中間、すなわち $(t_1 + t_3) / 2$ となるように、露光区間 6 0 2 を設定している。

そして、この露光区間 6 0 2 において基板 1 0 4 上の所定のショット領域に露光を行うことで、微動ステージ 2 0 1 の走査速度を略一定に保ちながら安定した露光を行うことができる。なお、このとき時刻 t_2 において所定のショット領域の中心を走査露光することになる。

【 0 0 4 2 】

このように、露光装置 5 0 0 では、変速しながら露光を行うことで、変速区間 6 0 1、露光区間 6 0 2 及び変速区間 6 0 3 を短縮することができる。

30

これにより、基板 1 0 4 の一枚当たりの処理時間を短縮することができる。

【 0 0 4 3 】

図 6 (b) は、露光装置 5 0 0 における電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 それぞれの推力プロファイル F_{1p} 及び F_{2p} 並びに電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 の合力プロファイル F_p を示している。

なおここでは、電磁石アクチュエータ 2 1 3 の推力 F_1 は微動ステージ 2 0 1 を + Y 方向に駆動させるために正の値で示す一方で、電磁石アクチュエータ 2 1 5 の推力 F_2 は微動ステージ 2 0 1 を - Y 方向に駆動させるために負の値で示すことに注意されたい。

【 0 0 4 4 】

40

図 6 (b) に示されているように、電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 の合力プロファイル F_p (合力 F の時間依存性) は、微動ステージ 2 0 1 の加速度プロファイル A_p (加速度 A の時間依存性) に基づいて出力されることになる。

すなわち、電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 の合力プロファイル F_p は、微動ステージ 2 0 1 の加速度 A が $\pm A_{max}$ になるときに合力 F が $\pm F_{max}$ になるように、加速度プロファイル A_p と同じ周期且つ位相で変化する。

そして、電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 それぞれの推力プロファイル F_{1p} 及び F_{2p} は、それぞれの和が電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 の合力プロファイル F_p になるように、すなわち合力プロファイル F_p から分配される。

【 0 0 4 5 】

50

このとき、合力プロファイル F_p からそれぞれの推力プロファイル F_{1p} 及び F_{2p} への分配の方法としては、従来、合力 F の正負に従って分配を行う方法が採られる。

すなわち、図 6 (b) に示されているように、微動ステージ 2 0 1 を + Y 方向に駆動させるように合力 F が正である、時刻 t_2 より前の区間では、電磁石アクチュエータ 2 1 3 に吸引力である推力 F_1 を生じさせる。

一方、微動ステージ 2 0 1 を - Y 方向に駆動させるように合力 F が負である、時刻 t_2 より後の区間では、電磁石アクチュエータ 2 1 5 に吸引力である推力 F_2 を生じさせる。

このように、微動ステージ 2 0 1 の加速度 A の符号に応じて、電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 の一方のみに推力を生じさせるように、電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 は制御される。

【 0 0 4 6 】

このため、図 6 (b) に示されているように、露光区間 6 0 2 において時刻 t_1 では F_0 であった電磁石アクチュエータ 2 1 3 の推力 F_1 は減少し始めた後、時刻 t_2 において 0 に到達し、時刻 t_2 以降においては 0 のまま維持される。

一方、露光区間 6 0 2 において時刻 t_1 では 0 であった電磁石アクチュエータ 2 1 5 の推力 F_2 は、時刻 t_2 から減少し始め、時刻 t_3 において $-F_0$ に到達する。

【 0 0 4 7 】

そして、図 6 (b) に示されているように、推力プロファイル F_{1p} 及び F_{2p} の和が合力プロファイル F_p になるため、電磁石アクチュエータ 2 1 3 の推力 F_1 は、時刻 t_2 において急峻に変化する。

換言すると、電磁石アクチュエータ 2 1 3 の推力プロファイル F_{1p} (推力 F_1 の時間依存性) は、時刻 t_2 において微分不連続になる。

同様に、電磁石アクチュエータ 2 1 5 の推力 F_2 も時刻 t_2 において急峻に変化する。換言すると、電磁石アクチュエータ 2 1 5 の推力プロファイル F_{2p} (推力 F_2 の時間依存性) も、時刻 t_2 において微分不連続になる。

さらに換言すると、露光装置 5 0 0 では、露光区間 6 0 2 における推力プロファイル F_{1p} 及び F_{2p} はそれぞれ、推力 F_1 及び F_2 が 0 になる時刻 t_2 において時間に関して微分可能ではない関数から生成される。

【 0 0 4 8 】

すなわち、露光装置 5 0 0 における微動ステージ 2 0 1 の加速度プロファイル A_p のように加速度 A が連続的に変化する場合、加速度 A が正から負に瞬間的に切り替わる変曲点 t_2 が露光区間 6 0 2 内に存在する。

そして、変曲点 t_2 において、電磁石アクチュエータ 2 1 3 の推力 F_1 が微分不連続に 0 に到達すると同時に、電磁石アクチュエータ 2 1 5 の推力 F_2 も微分不連続に 0 から変化し始める。

【 0 0 4 9 】

そのため、微動ステージ 2 0 1 への推力の印加は、変曲点 t_2 において電磁石アクチュエータ 2 1 3 から電磁石アクチュエータ 2 1 5 へ瞬間的に切り替わるため、微動ステージ 2 0 1 において制御偏差が生じる可能性がある。

すなわち、露光装置 5 0 0 では、露光を行っている露光区間 6 0 2 において微動ステージ 2 0 1 に制御偏差が生じることで、重ね合わせ精度が低下してしまう。

【 0 0 5 0 】

そこで、本実施形態に係る露光装置 1 0 0 では、以下に示すような制御を行うことで、そのような微動ステージ 2 0 1 における制御偏差の発生を抑制することができる。

【 0 0 5 1 】

図 2 (a) は、本実施形態に係る露光装置 1 0 0 において基板 1 0 4 上の所定のショット領域に露光を行う際の微動ステージ 2 0 1 の Y 方向における加速度プロファイル A_p 及び速度プロファイル V_p を示している。

なお以下では、Y 方向における加速度 A 、速度 V 及び推力 F をそれぞれ、単に加速度 A 、速度 V 及び推力 F と称する。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 2 】

本実施形態に係る露光装置 1 0 0 では、微動ステージ 2 0 1 の加速度 A を正弦関数に従って周期的に変化するように構成することで、微動ステージ 2 0 1 の速度 V も周期的に変化する。なお図 2 (a) では、加速度 A 及び速度 V の一周期における時間変化しか示されていないことに注意されたい。

【 0 0 5 3 】

具体的には、まず所定の時刻 t_0 において加速度 A 及び速度 V がそれぞれ A_0 及び $-V_0$ であったとする。

そして、時刻 t_0 から時刻 t_1 までの間の变速区間 3 0 1 では、時刻 t_1 において加速度 A が A_{max} まで増加した後、時刻 t_1 において A_0 まで減少することで、速度 V は $-V_0$ から V_0 まで増加する。

10

次に、時刻 t_1 から時刻 t_3 までの間の露光区間 3 0 2 では、時刻 t_2 において加速度 A が 0 まで減少した後、時刻 t_3 において $-A_0$ まで減少することで、速度 V は V_0 から V_{max} まで増加した後に V_0 まで減少する。

そして、時刻 t_3 から時刻 t_4 までの間の变速区間 3 0 3 では、時刻 t_4 において加速度 A が $-A_{max}$ まで減少した後、時刻 t_4 において $-A_0$ まで増加することで、速度 V は V_0 から $-V_0$ まで減少する。

【 0 0 5 4 】

このとき、本実施形態に係る露光装置 1 0 0 では、加速度 A 及び速度 V がそれぞれ 0 及び V_{max} に到達する時刻 t_2 が時刻 t_1 と時刻 t_3 との間、すなわち $(t_1 + t_3) / 2$ となるように、露光区間 3 0 2 を設定している。

20

そして本実施形態に係る露光装置 1 0 0 では、この露光区間 3 0 2 において基板 1 0 4 上の所定のショット領域に露光を行うことで、微動ステージ 2 0 1 の走査速度を略一定に保ちながら安定した露光を行うことができる。なお、このとき時刻 t_2 において所定のショット領域の中心を走査露光することになる。

【 0 0 5 5 】

このように、本実施形態に係る露光装置 1 0 0 では、变速しながら露光を行うことで、变速区間 3 0 1、露光区間 3 0 2 及び变速区間 3 0 3 を短縮することができる。

これにより、基板 1 0 4 の一枚当たりの処理時間を短縮することができる。

【 0 0 5 6 】

30

そして図 2 (a) に示されているように、本実施形態に係る露光装置 1 0 0 では、露光区間 3 0 2 における加速度プロファイル A_p は、時間に関する微分可能関数から生成される。

換言すると、本実施形態に係る露光装置 1 0 0 では、露光区間 3 0 2 における加速度プロファイル A_p は、露光区間 3 0 2 における任意の時刻において $dA(t) / dt$ の値が存在する、時間 t に依存する関数 $A(t)$ から生成される。

【 0 0 5 7 】

図 2 (b) は、本実施形態に係る露光装置 1 0 0 における電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 それぞれの推力プロファイル F_{1p} 及び F_{2p} 並びに電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 の合力プロファイル F_p を示している。

40

【 0 0 5 8 】

図 2 (b) に示されているように、電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 の合力プロファイル F_p は、微動ステージ 2 0 1 の加速度プロファイル A_p に基づいて生成されることになる。

すなわち、電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 の合力プロファイル F_p は、微動ステージ 2 0 1 の加速度 A が $\pm A_{max}$ になるときに合力 F が $\pm F_{max}$ になるように、加速度プロファイル A_p と同じ周期及び位相で変化する。

そして、電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 それぞれの推力プロファイル F_{1p} 及び F_{2p} は、それぞれの和が電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 の合力プロファイル F_p になるように、すなわち合力プロファイル F_p から分配される。

50

換言すると、電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 それぞれの推力プロファイル F_{1p} 及び F_{2p} は、微動ステージ 2 0 1 の加速度プロファイル A_p から生成された加速指令値に基づいて生成される。

【 0 0 5 9 】

このとき、本実施形態に係る露光装置 1 0 0 では、露光区間 3 0 2 において電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 それぞれの推力 F_1 及び F_2 が同時に 0 にならないように、合力プロファイル F_p から推力プロファイル F_{1p} 及び F_{2p} への分配を行う。

【 0 0 6 0 】

具体的には、例えば時刻 t' において F_{max} であった電磁石アクチュエータ 2 1 3 (第 1 のアクチュエータ) の推力 F_1 (第 1 の推力) は、露光区間 3 0 2 が始まる時刻 t_1 において F_0 となった後、時刻 t_3 において 0 に到達するように単調減少する。

10

一方、0 であった電磁石アクチュエータ 2 1 5 (第 2 のアクチュエータ) の推力 F_2 (第 2 の推力) は、時刻 t_1 から減少し始め、露光区間 3 0 2 が終わる時刻 t_3 において $-F_0$ となった後、時刻 t'' において $-F_{max}$ に到達するように単調減少する。

これにより、時刻 t_2 において微動ステージ 2 0 1 へ推力を印加するアクチュエータが電磁石アクチュエータ 2 1 3 から電磁石アクチュエータ 2 1 5 へ瞬間的に切り替わらないように、微動ステージ 2 0 1 へ印加される推力を制御することができる。

【 0 0 6 1 】

すなわち、本実施形態に係る露光装置 1 0 0 では、露光区間 3 0 2 において電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 の一方の推力が 0 に到達する又は 0 から変化し始める際に、他方の推力を発生させておく。

20

換言すると、本実施形態に係る露光装置 1 0 0 では、露光区間 3 0 2 のうち少なくとも一部の区間において、電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 の推力 F_1 及び F_2 が共に 0 ではない。

さらに換言すると、本実施形態に係る露光装置 1 0 0 では、露光区間 3 0 2 のうち少なくとも一部の区間において、微動ステージ 2 0 1 に対して電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 の合力が印加されている。

【 0 0 6 2 】

すなわち、基板 1 0 4 上の一部のショット領域の各々を露光する際に、微動ステージ 2 0 1 の Y 方向における加速度 A が正の値をとる区間から所定の時刻において 0 になった後、負の値をとる区間に移行するように加速度プロファイル A_p が生成される。

30

同様に、基板 1 0 4 上の残りのショット領域の各々を露光する際に、微動ステージ 2 0 1 の Y 方向における加速度 A が負の値をとる区間から所定の時刻において 0 になった後、正の値をとる区間に移行するように加速度プロファイル A_p が生成される。

そして、本実施形態に係る露光装置 1 0 0 では、制御部 1 1 1 が、生成された加速度プロファイル A_p に従って微動ステージ 2 0 1 を走査移動させるように駆動部を制御する。

【 0 0 6 3 】

このとき、本実施形態に係る露光装置 1 0 0 では、基板 1 0 4 上の複数のショット領域を露光する際の各走査移動の少なくとも一部の時間において、複数のアクチュエータそれぞれが微動ステージ 2 0 1 に推力を発生させるように駆動部が制御される。

40

特に、基板 1 0 4 上の複数のショット領域を露光する際の各走査移動における加速度 A が 0 になる所定の時刻において、複数のアクチュエータそれぞれが微動ステージ 2 0 1 に推力を発生させるように駆動部が制御される。

これにより、本実施形態に係る露光装置 1 0 0 では、露光を行っている露光区間 3 0 2 において微動ステージ 2 0 1 における制御偏差の発生を抑制することができ、重ね合わせ精度の低下を抑制することができる。

【 0 0 6 4 】

また、本実施形態に係る露光装置 1 0 0 では、図 2 (b) に示されているように、電磁石アクチュエータ 2 1 3 の推力 F_1 は、時刻 t_3 において 0 に到達する際に微分連続で変化させることが好ましい。

50

同様に、電磁石アクチュエータ 2 1 5 の推力 F_2 は、時刻 t_1 において 0 から微分連続で変化させることが好ましい。

換言すると、露光区間 3 0 2 における推力プロファイル F_{1p} 及び F_{2p} はそれぞれ、時間に関する微分可能関数から生成されることが好ましい。

これにより、露光を行っている露光区間 3 0 2 において微動ステージ 2 0 1 における制御偏差の発生をさらに抑制することができ、重ね合わせ精度の低下をさらに抑制することができる。

【 0 0 6 5 】

また具体的には、例えば露光区間 3 0 2 における電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 それぞれの推力プロファイル F_{1p} 及び F_{2p} は、以下の式 (1) 及び (2) のように表すことができる。

【 数 1 】

$$F_{1p} = \frac{F_{max}}{4} \left[1 + \cos \left(\frac{t - t'}{t_3 - t'} \pi \right) \right]^2 \cdots (1)$$

【 数 2 】

$$F_{2p} = -\frac{F_{max}}{4} \left[1 - \cos \left(\frac{t - t_1}{t'' - t_1} \pi \right) \right]^2 \cdots (2)$$

【 0 0 6 6 】

図 3 は、本実施形態に係る露光装置 1 0 0 における基板 1 0 4 の露光処理を示したフローチャートである。

【 0 0 6 7 】

図 3 に示されているように、基板 1 0 4 の露光処理が開始されると (ステップ S 1) 、基板 1 0 4 が基板ステージ 1 0 5 上に搬送される (ステップ S 2) 。

次に、制御部 1 1 1 によって、基板 1 0 4 のアライメントが行われ (ステップ S 3) 、基板 1 0 4 上において露光されるショット領域のレイアウト情報から基板ステージ 1 0 5 及びマスクステージ 1 0 3 の駆動プロファイルが算出される (ステップ S 4) 。

【 0 0 6 8 】

そして、ステップ S 4 において算出された基板ステージ 1 0 5 及びマスクステージ 1 0 3 の駆動プロファイルから、各ステージに設けられている電磁石アクチュエータの推力指令値を算出し (ステップ S 5) 、出力タイミングを設定する (ステップ S 6) 。

その後、ステップ S 5 及び S 6 によって算出された電磁石アクチュエータの推力指令値及び出力タイミングに基づいて、基板ステージ 1 0 5 及びマスクステージ 1 0 3 の走査駆動が行われる。この走査駆動とステップ駆動とを繰り返すことによって、基板 1 0 4 の各ショット領域に対して露光が行われる (ステップ S 7) 。

そして、基板 1 0 4 の全てのショット領域に対して露光が完了すると、基板 1 0 4 が基板ステージ 1 0 5 上から回収され (ステップ S 8) 、基板 1 0 4 の露光処理が終了する (ステップ S 9) 。

【 0 0 6 9 】

以上のように、本実施形態に係る露光装置 1 0 0 では、基板 1 0 4 上の複数のショット領域を露光する際の各走査移動の少なくとも一部の時間において、複数のアクチュエータそれぞれが微動ステージ 2 0 1 に推力を発生させるように駆動部が制御される。

これにより、露光区間 3 0 2 の時刻 t_2 における合力 F の符号反転に伴う電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 の一方から他方への切り替えは行われない。

そのため、露光を行っている露光区間 3 0 2 において微動ステージ 2 0 1 における制御偏差の発生を抑制することができ、重ね合わせ精度の低下を抑制することができる。

【 0 0 7 0 】

なお本実施形態に係る露光装置 1 0 0 では、露光区間 3 0 2 における電磁石アクチュエ

10

20

30

40

50

ータ 2 1 3 及び 2 1 5 の推力プロファイル F_{1p} 及び F_{2p} を、式 (1) 及び (2) に示される関数から生成しているが、上記の条件が満たされていればこれに限られない。

また、上記の制御方法は、電磁石アクチュエータ 2 1 4 及び 2 1 6 による微動ステージ 2 0 1 の X 方向における駆動やマスクステージ 1 0 3 の駆動においても同様に適用することができる。

【 0 0 7 1 】

[第二実施形態]

図 4 は、第二実施形態に係る露光装置における電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 それぞれの推力プロファイル F_{1p} 及び F_{2p} 並びに電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 の合力プロファイル F_p を示している。

10

なお、本実施形態に係る露光装置は、第一実施形態に係る露光装置 1 0 0 と同一の構成であるため、同一の部材には同一の符番を付して説明を省略する。

【 0 0 7 2 】

また、本実施形態に係る露光装置において基板 1 0 4 上の所定のショット領域に露光を行う際の微動ステージ 2 0 1 の Y 方向における加速度プロファイル A_p 及び速度プロファイル V_p は、第一実施形態に係る露光装置 1 0 0 と同様であるため、説明を省略する。

また、本実施形態に係る露光装置における電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 の合力プロファイル F_p も、第一実施形態に係る露光装置 1 0 0 と同様であるため、説明を省略する。

【 0 0 7 3 】

20

図 4 に示すように、本実施形態に係る露光装置では、第一実施形態に係る露光装置 1 0 0 と同様に、露光区間 3 0 2 において電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 の一方の推力が 0 に到達する又は 0 から変化し始める際に、他方の推力を発生させておく。

換言すると、本実施形態に係る露光装置では、露光区間 3 0 2 のうち少なくとも一部の区間において、電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 の推力 F_1 及び F_2 が共に 0 ではない。

さらに換言すると、本実施形態に係る露光装置では、露光区間 3 0 2 のうち少なくとも一部の区間において、微動ステージ 2 0 1 に対して電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 の合力が印加されている。

【 0 0 7 4 】

30

しかしながら、本実施形態に係る露光装置では、第一実施形態に係る露光装置 1 0 0 とは異なり、電磁石アクチュエータ 2 1 3 の推力 F_1 は、露光区間 3 0 2 より後の時刻において 0 に到達する。

一方、電磁石アクチュエータ 2 1 5 の推力 F_2 は、露光区間 3 0 2 より前の時刻から減少し始める。

【 0 0 7 5 】

具体的には、時刻 t' において f_{max} であった電磁石アクチュエータ 2 1 3 の推力 F_1 は、露光区間 3 0 2 が始まる時刻 t_1 において F_0 となった後、露光区間 3 0 2 より後の時刻 t_+ において 0 に到達するように単調減少する。

一方、0 であった電磁石アクチュエータ 2 1 5 の推力 F_2 は、露光区間 3 0 2 より前の時刻 t_- から減少し始め、露光区間 3 0 2 が始まる時刻 t_1 において $-F_0'$ となった後、時刻 t'' において $-nf_{ax}$ に到達するように単調減少する。

40

【 0 0 7 6 】

このように、本実施形態に係る露光装置では、電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 それぞれの推力 F_1 及び F_2 が 0 に到達する又は 0 から変化し始める時刻を露光区間 3 0 2 以外の変速区間 3 0 1 又は 3 0 3 内に設定する。

換言すると、本実施形態に係る露光装置では、基板 1 0 4 上の複数のショット領域を露光する際の各走査移動のいずれの時刻においても複数のアクチュエータそれぞれが微動ステージ 2 0 1 に推力を発生させるように駆動部が制御される。

これにより、露光区間 3 0 2 において、電磁石アクチュエータ 2 1 3 及び 2 1 5 を、推

50

力が0に到達する又は0から変化し始めるように、オンにするか又はオフにする際に発生する可能性がある微動ステージ201における制御偏差の発生も抑制することができる。

【0077】

また、本実施形態に係る露光装置においても、図4に示されているように、電磁石アクチュエータ213の推力 F_1 は、時刻 t_+ において0に到達する際に微分連続で変化させることが好ましい。換言すると、電磁石アクチュエータ213の推力 F_1 は、時刻 t_+ において時間 t に関して微分可能な関数から生成されることが好ましい。

同様に、電磁石アクチュエータ215の推力 F_2 は、時刻 t_- において0から微分連続で変化させることが好ましい。換言すると、電磁石アクチュエータ215の推力 F_2 は、時刻 t_- において時間 t に関して微分可能な関数から生成されることが好ましい。

10

【0078】

以上のように、本実施形態に係る露光装置では、基板104上の複数のショット領域を露光する際の各走査移動のいずれの時刻においても複数のアクチュエータそれぞれが微動ステージ201に推力を発生させるように駆動部が制御される。

これにより、露光を行っている露光区間302において微動ステージ201における制御偏差の発生をさらに抑制することができ、重ね合わせ精度の低下をさらに抑制することができる。

【0079】

[物品の製造方法]

本実施形態に係る露光装置を用いた物品の製造方法は、例えば、半導体素子、磁気記憶媒体や液晶表示素子等のデバイスを製造するのに好適である。

20

本実施形態に係る物品の製造方法は、本実施形態に係る露光装置を用いて、感光剤が塗布された基板を露光する工程と、露光された基板を現像する工程とを含む。

また、本実施形態に係る物品の製造方法は、現像された基板を加工するための他の周知の工程（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）を含みうる。

本実施形態に係る物品の製造方法は、従来に比べて、物品の性能、品質、生産性及び生産コストの少なくとも一つにおいて有利である。

【符号の説明】

【0080】

30

100 露光装置

102 マスク（原版）

104 基板

111 制御部

201 微動ステージ（基板ステージ）

213 電磁石アクチュエータ（アクチュエータ）

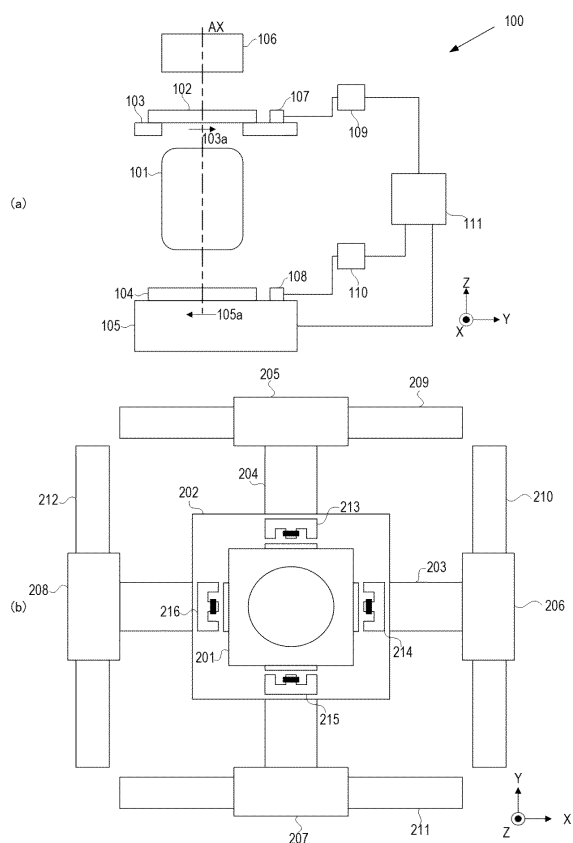
215 電磁石アクチュエータ（アクチュエータ）

40

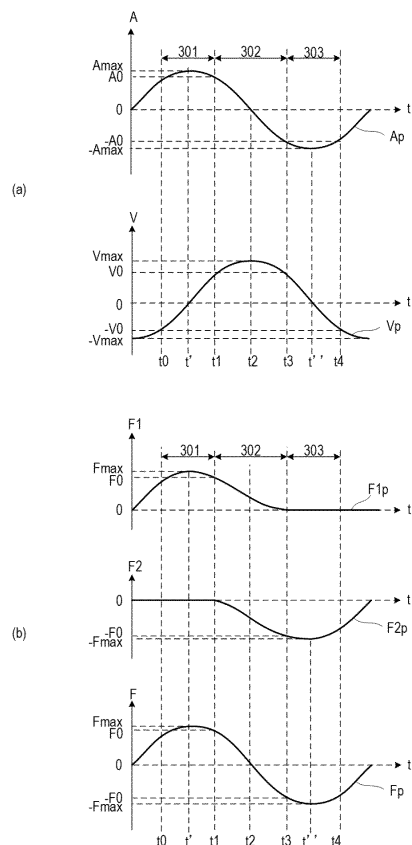
50

【図面】

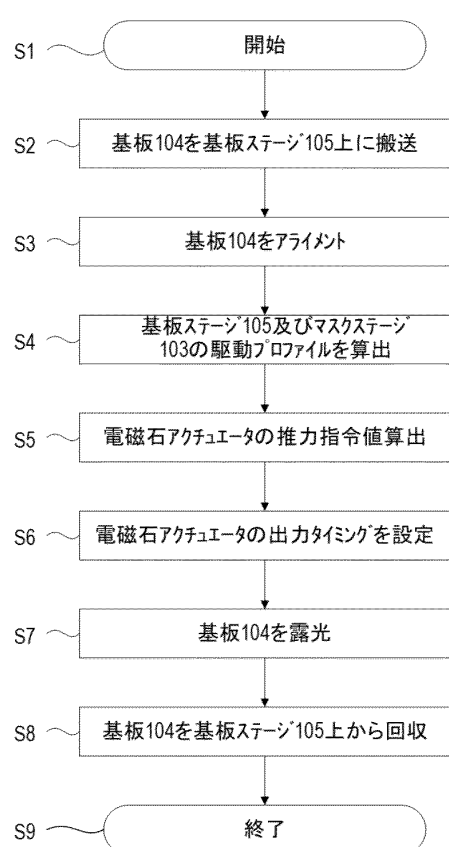
【 図 1 】



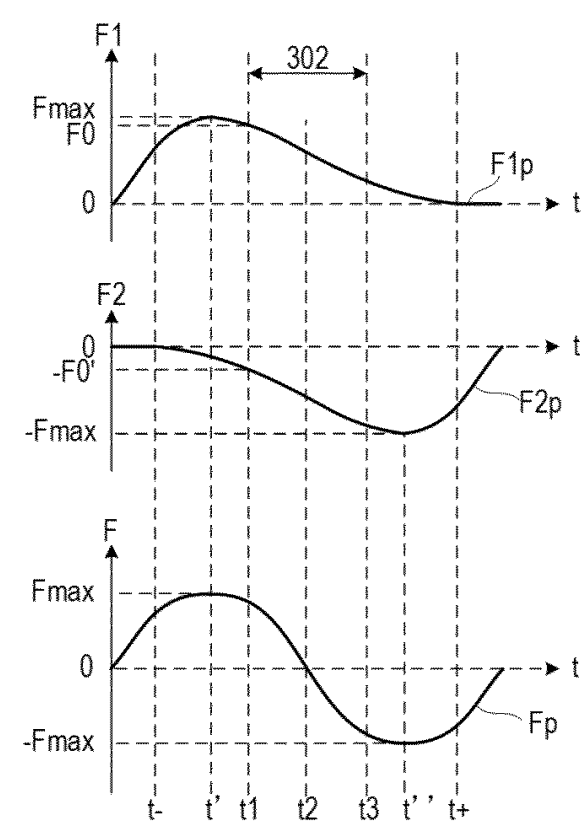
【圖 2】



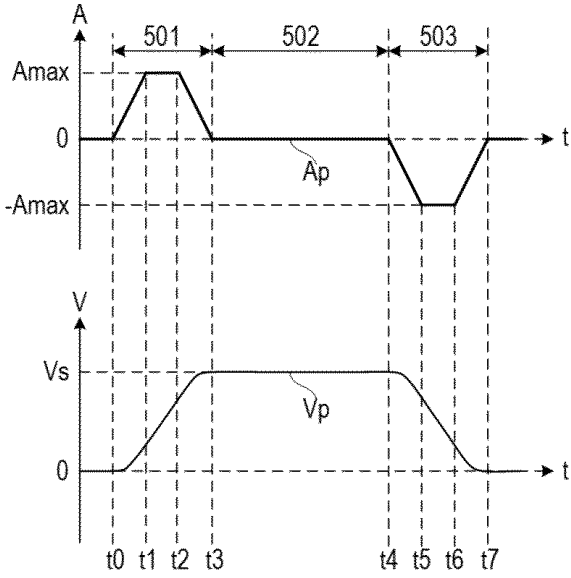
【圖 3】



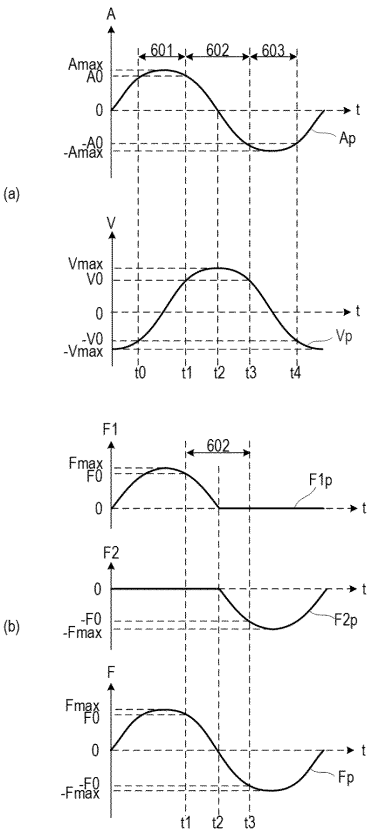
【圖 4】



【 図 5 】



【 図 6 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

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 植木 隆和

(56)参考文献 米国特許出願公開第2005/0218842 (US, A1)

特開2011-035381 (JP, A)

特開2012-142463 (JP, A)

特開2019-121656 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H01L 21/027

G03F 7/20

H01L 21/68