

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7663365号
(P7663365)

(45)発行日 令和7年4月16日(2025.4.16)

(24)登録日 令和7年4月8日(2025.4.8)

(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 3 F 7/20 5 0 1

請求項の数 9 (全15頁)

(21)出願番号	特願2021-16038(P2021-16038)	(73)特許権者	000001007
(22)出願日	令和3年2月3日(2021.2.3)		キヤノン株式会社
(65)公開番号	特開2022-119065(P2022-119065		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
	A)	(74)代理人	110003281
(43)公開日	令和4年8月16日(2022.8.16)		弁理士法人大塚国際特許事務所
審査請求日	令和6年1月31日(2024.1.31)	(72)発明者	金石 守
			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	今井 彰

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 露光装置、物品製造方法、およびステージ装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

原版と基板とを走査しながら前記基板を露光する露光装置であって、
前記基板を保持して移動する基板ステージと、
駆動プロファイルに従って前記基板ステージの移動を制御する制御部と、
を有し、

前記駆動プロファイルは、非露光区間における駆動プロファイルである第1プロファイルと、前記非露光区間の次の露光区間における駆動プロファイルである第2プロファイルとを含み、

前記第2プロファイルに含まれる加速度のプロファイルは、正弦波を含むプロファイルであり、

10

前記第1プロファイルに含まれる加速度のプロファイルは、前記正弦波の最大振幅の加速度である第1加速度より大きい第2加速度を含む、

ことを特徴とする露光装置。

【請求項2】

前記第1プロファイルと前記第2プロファイルとを接続する接続点において、前記基板ステージの位置、速度、および加速度が連続するように接続される、ことを特徴とする請求項1に記載の露光装置。

【請求項3】

前記基板を露光するための光を射出する光源を更に有し、

20

前記制御部は、ショット領域を露光する間、前記基板ステージの速度に応じた光量で前記基板に光を照射するように、前記第2プロファイルの正弦波に対応する正弦波をもつ露光量プロファイルに基づいて前記光源または照明光学系を制御する、

ことを特徴とする請求項1に記載の露光装置。

【請求項4】

前記基板の単位面積当たりの露光量を許容範囲内に維持する制約の下で、前記露光区間における前記基板ステージの最高速度および速度変化率および前記第2プロファイルの開始時の位相が決定されている、ことを特徴とする請求項3に記載の露光装置。

【請求項5】

前記第2プロファイルの前記正弦波は、前記基板ステージの固有振動数より低い周波数を有する、ことを特徴とする請求項1に記載の露光装置。

10

【請求項6】

前記第2プロファイルは、前記露光区間において前記基板ステージが最高速度で駆動されるように規定されている、ことを特徴とする請求項1から5のいずれか1項に記載の露光装置。

【請求項7】

前記第1プロファイルと前記第2プロファイルとを接続する接続点において、更に前記基板ステージのジャークが連続するように決定されている、ことを特徴とする請求項2に記載の露光装置。

【請求項8】

20

請求項1から7のいずれか1項に記載の露光装置を用いて基板を露光する工程と、
前記露光された基板を現像する工程と、
を含み、前記現像された基板から物品を製造することを特徴とする物品製造方法。

【請求項9】

原版と基板とを走査しながら前記基板を露光する露光装置において用いられるステージ装置であって、

前記基板を保持して移動する移動部と、

駆動プロファイルに従って前記移動部の移動を制御する制御部と、

を有し、

前記駆動プロファイルは、非露光区間における駆動プロファイルである第1プロファイルと、前記非露光区間の次の露光区間における駆動プロファイルである第2プロファイルとを含み、

30

前記第2プロファイルに含まれる加速度のプロファイルは、正弦波を含むプロファイルであり、

前記第1プロファイルに含まれる加速度のプロファイルは、前記正弦波の最大振幅の加速度である第1加速度より大きい第2加速度を含む、

ことを特徴とするステージ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

40

本発明は、露光装置、物品製造方法、およびステージ装置に関する。

【背景技術】

【0002】

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する走査露光装置が主流となっている。露光装置では、露光精度や重ね合わせ精度と同時に生産性の向上が求められている。これまでは、ステージ駆動時の加速度と速度を向上させることにより露光時間を短縮し、生産性を向上させてきた。しかし、加速度、速度を向上させることで、ステージ制御の精度が低下してしまうため、従来の等速露光では生産性の向上には限界がある。このような課題に対し、特許文献1には、加減速区間においても露光を行う技術が開示されている。加減速中に露光を行う場合、

50

ウエハに照射される単位面積あたりの露光量（以下「DOSE量」ともいう。）を一定に維持するために、特許文献2のようにステージ速度に比例して照明のエネルギー量を変化させることも提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2012-142463号公報

【文献】特開2002-373839号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0004】

露光領域内でステージ速度を変化させる場合、DOSE量を一定にするためには、照明のエネルギー量を速度に応じて変化させる必要があるが、変化できる量には限度がある。速度変化に対応可能な範囲で正弦波プロファイルを決定すると、プロファイルの振幅及び角速度の値が小さくなるので、隣接する露光領域間をつなぐステージ駆動区間（以下「非露光区間」という。）が長くなってしまい、生産性が低下する。生産性を向上させるためには、プロファイルの振幅及び角速度の値を大きくして、非露光区間を短縮したいが、その時の露光領域内の照明のエネルギー量の変化が大きくなってしまうため、DOSE量を一定にできず露光精度が低下する。

【0005】

20

本発明は、例えば、露光精度と生産性の両立に有利な露光装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一側面によれば、原版と基板とを走査しながら前記基板を露光する露光装置であって、前記基板を保持して移動する基板ステージと、駆動プロファイルに従って前記基板ステージの移動を制御する制御部と、を有し、前記駆動プロファイルは、非露光区間における駆動プロファイルである第1プロファイルと、前記非露光区間の次の露光区間における駆動プロファイルである第2プロファイルとを含み、前記第2プロファイルに含まれる加速度のプロファイルは、正弦波を含むプロファイルであり、前記第1プロファイルに含まれる加速度のプロファイルは、前記正弦波の最大振幅の加速度である第1加速度より大きい第2加速度を含む、ことを特徴とする露光装置が提供される。

30

【発明の効果】

【0007】

本発明によれば、例えば、露光精度と生産性の両立に有利な露光装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】露光装置の構成を示す概略図である。

【図2】非露光駆動プロファイルと露光駆動プロファイルの関係を示す図。

【図3】非露光駆動プロファイルと露光駆動プロファイルとの接続について説明する図。

40

【図4】非露光駆動プロファイルと露光駆動プロファイルとの接続についての変形例を説明する図。

【図5】非露光駆動プロファイルと露光駆動プロファイルとの接続点においてジャークが一致せず位置決め誤差が大きくなる例を示す図。

【図6】非露光駆動プロファイルと露光駆動プロファイルとの接続点においてジャークを一致させる例を説明する図。

【図7】非露光駆動プロファイルと露光駆動プロファイルの関係を示す図。

【図8】露光開始直前の加速度プロファイルが緩やかになるようにプロファイルを調整することを説明する図。

【図9】基板のショットレイアウトと基板ステージの移動の軌跡の例を示す図。

50

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下、添付図面を参照して実施形態を詳しく説明する。なお、以下の実施形態は特許請求の範囲に係る発明を限定するものではない。実施形態には複数の特徴が記載されているが、これらの複数の特徴の全てが発明に必須のものとは限らず、また、複数の特徴は任意に組み合わせられてもよい。さらに、添付図面においては、同一若しくは同様の構成に同一の参照番号を付し、重複した説明は省略する。

【0010】

<第1実施形態>

図1は、実施形態における露光装置100の概略図である。本明細書および図面においては、水平面をXY平面とするXYZ座標系において方向が示される。一般には、被露光基板である基板104はその表面が水平面(XY平面)と平行になるように基板ステージ105の上に置かれる。よって以下では、基板104の表面に沿う平面内で互いに直交する方向にX軸およびY軸をとり、X軸およびY軸に垂直な方向にZ軸をとる。また、以下では、XYZ座標系におけるX軸、Y軸、Z軸にそれぞれ平行な方向をX方向、Y方向、Z方向といい、X軸周りの回転方向、Y軸周りの回転方向、Z軸周りの回転方向をそれぞれ x 方向、 y 方向、 z 方向という。

【0011】

露光装置100は、原版であるマスク102と基板104を走査しながらマスク102のパターンを基板104に転写する。一例において、露光装置100は、露光領域を矩形又は円弧スリット形状とし、マスク102と基板104とを相対的に走査して大画角を高精度に露光するステップ・アンド・スキャン方式の露光装置(スキャナー)である。露光装置100は、図1に示すように、投影光学系101と、位置決め装置としてのマスクステージ103及び基板ステージ105と、照明光学系106と、主制御部111を有する。

【0012】

図1において、投影光学系101の光軸AXはZ方向に伸びており、投影光学系101の像面はZ方向と垂直な面(すなわち、XY平面)に存する。マスク102は、マスクステージ103に保持される。マスク102のパターンは、投影光学系101の倍率(例えば、1/4、1/2、1/5)で投影され、投影光学系101の像面に像が形成される。

【0013】

基板104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である。基板104には、先の露光処理で形成された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。基板ステージ105は、基板104を保持して移動するステージであって、基板104を吸着することにより固定するチャックを有する。また、基板ステージ105は、X方向及びY方向のそれぞれに移動可能なXYステージや投影光学系101の光軸AXと平行なZ方向(基板104の高さ方向)に移動可能なZステージを含みうる。更に、基板ステージ105は、 x 方向および y 方向に回転(傾斜)可能なレベリングステージや、 z 方向に回転可能な回転ステージも含みうる。このように、基板ステージ105は、マスク102のパターンの像を基板104のショット領域に一致させるための6軸駆動系を構成しうる。基板ステージ105のX方向、Y方向、及びZ方向の位置は、基板ステージ105に配置されたバーミラー108と、干渉計110とによって常に計測されている。

【0014】

マスク102は、マスクステージ103によって保持される。マスクステージ103は、投影光学系101の光軸AXに垂直な面内で、Y方向(矢印103aの方向)に走査される。この際、マスクステージ103は、マスクステージ103のY方向の位置が常に目標位置を維持するように走査(補正駆動)される。マスクステージ103のX方向及びY方向の位置は、マスクステージ103に配置されたバーミラー107と、干渉計109とによって常に計測されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 5 】

照明光学系 1 0 6 は、基板 1 0 4 を露光するための光を射出する光源を含みうる。光源は、エキシマレーザなどのパルス光を発生する光源でありうる。照明光学系 1 0 6 は、光源からの光を用いて、マスク 1 0 2 を照明する。照明光学系 1 0 6 は、ビーム整形光学系、オプティカルインテグレータ、コリメータレンズ、ミラー、及びマスキングブレードなどを含み、遠紫外領域のパルス光を効率的に透過又は反射する。ビーム整形光学系は、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。オプティカルインテグレータは、光の配光特性を均一にしてマスク 1 0 2 を均一な照度で照明する。マスキングブレードは、チップサイズに対応する矩形の照明領域を規定する。かかる照明領域で部分照明されたマスク 1 0 2 のパターンは、投影光学系 1 0 1 を介して、基板 1 0 4 に投影される。

10

【 0 0 1 6 】

主制御部 1 1 1 は、CPU やメモリなどを含み、露光装置 1 0 0 の各部を統括的に制御する。主制御部 1 1 1 は、マスク 1 0 2 のパターンからの光を基板 1 0 4 の所定領域に結像させるために、マスク 1 0 2 を保持するマスクステージ 1 0 3 や基板 1 0 4 を保持する基板ステージ 1 0 5 を制御する。例えば、主制御部 1 1 1 は、マスクステージ 1 0 3 や基板ステージ 1 0 5 を介して、マスク 1 0 2 や基板 1 0 4 の X Y 面内の位置（X 方向及び Y 方向の位置、及び、Z 方向の回転）や Z 方向の位置（X 方向及び Y 方向それぞれの回転）を調整する。また、主制御部 1 1 1 は、マスクステージ 1 0 3 と基板ステージ 1 0 5 とを、投影光学系 1 0 1 に対して同期させて走査する。このように、主制御部 1 1 1 は、基板ステージ 1 0 5 により基板 1 0 4 を走査しながら基板 1 0 4 のショット領域のそれぞれを露光領域において露光する露光処理を制御する。

20

【 0 0 1 7 】

マスクステージ 1 0 3 を矢印 1 0 3 a の方向に走査する場合、基板ステージ 1 0 5 は、矢印 1 0 5 a の方向に、投影光学系 1 0 1 の倍率（縮小倍率）に応じて補正された速度で走査する。

【 0 0 1 8 】

図 9 は、基板ステージ 1 0 5 の移動の軌跡の例を、基板 1 0 4 に対する投影光学系 1 0 1 の相対的な移動として示した図である。図 9 には、基板 1 0 4 の複数のショット領域の配列（ショットレイアウト）が示されている。基板 1 0 4 は 6 4 個のショット領域を含む。各ショット領域内の数字は、ショット領域の番号を示し、各ショット領域内の矢印は、露光時の基板ステージ 1 0 5 の走査移動方向を示している。また、破線は、ショット領域間の基板ステージ 1 0 5 の移動方向を概略的に示しており、ショット領域毎の露光順序が示されている。例えば、ショット領域 1 とショット領域 2 の露光に関しては、ショット領域 1 では - Y 方向への走査露光が行われ、その後、ショット領域 2 の露光が開始されるまでの間に図の左側にステップ動作が行われる。ステップ動作の完了後、ショット領域 2 で、+ Y 方向への走査露光が行われる。

30

【 0 0 1 9 】

ステージの加減速中に露光を行う場合、特開 2 0 0 2 - 3 7 3 8 3 9 号公報（特許文献 2）に示されるように、ショット領域の全域が均一の DOSE 量になるように、速度に応じて照明のエネルギー量を制御する必要がある。照明のエネルギー制御にはくさび型のプリズムやガルバノミラー等の振動ミラーが用いられ、均一の DOSE 量になるようにモータの回転数とステージ速度の関係式が求められる。しかし、このような光学部材の駆動を用いた照明のエネルギー制御方法は、光学部材の配置や駆動アクチュエータの制約によって、照明のエネルギー可変量に限度がある。そのため、加減速露光を行うには照明のエネルギー可変量を考慮に入れてステージの駆動プロファイルを設定する必要がある。

40

【 0 0 2 0 】

以下では、図 9 に示されたショットレイアウトにおいて、ショット領域 2 とショット領域 3 に対する駆動方法を説明する。

【 0 0 2 1 】

図 2 には、本実施形態における、基板ステージ 1 0 5 の位置、速度、及び加速度のプロ

50

ファイル（駆動プロファイル）が示されている。本実施形態において、駆動プロファイルは、非露光区間における駆動プロファイルである第１プロファイルと、非露光区間の次の露光区間における駆動プロファイルである第２プロファイルとを含みうる。本実施形態ではまず、非露光駆動２０１が行われ、ショット領域２の露光開始速度まで加速駆動が行われる。この非露光駆動２０１においては、第１プロファイルが使用される。露光駆動２０２には、第２プロファイルが使用される。露光終了後は、ショット領域３の露光開始速度まで非露光駆動２０３が行われ、その後、ショット領域３の露光駆動２０４が行われる。なお、図２では、ショット領域の中心を０として位置プロファイルを表示している。

【００２２】

前述したように、非露光区間と露光区間とを含む全体区間で１つの正弦波の形状をなす駆動プロファイルが使用される従来技術がある。このような駆動プロファイルを「基準駆動プロファイル」とする。本実施形態では、基準駆動プロファイルにしたがって制御される基板ステージ１０５の最高加速度以上の最高加速度が非露光区間で出るように第１プロファイルが規定される。また、第２プロファイルは、露光区間において基板ステージ１０５が最高速度で駆動されるように規定されうる。

【００２３】

非露光区間に係る第１プロファイルと露光区間に係る第２プロファイルは、両者の接続状態が改善されるように調整される。第２プロファイルは、正弦波のプロファイルを持つことができる。この場合、第１プロファイルおよび第２プロファイルは、両者の接続点において、基板ステージ１０５の位置、速度、および加速度が連続するように接続される。

【００２４】

以下、上記のような特徴を実現する手法について詳しく説明する。図３は、非露光駆動２０３及び露光駆動２０４の速度プロファイルと加速度プロファイルを拡大した図である。露光駆動２０４の位置、速度、加速度はそれぞれ、式１、式２、式３により示される。

【００２５】

位置： $A_0 / \omega_0^2 \times (1 - \cos(\omega_0 \times (t - t_0))) + V_{min} \times (t - t_0) \cdots (1)$

速度： $A_0 / \omega_0 \times \sin(\omega_0 \times (t - t_0)) + V_{min} \cdots (2)$

加速度： $A_0 \times \cos(\omega_0 \times (t - t_0)) \cdots (3)$

ただし、 A_0 は加速度の振幅、 ω_0 は角速度、 t は時間、 t_0 は露光駆動２０４の位相が０となる時刻、 V_{min} は露光駆動２０４の $t=t_0$ における速度を示している。

【００２６】

計算する条件として、最高速度 V_{max} 、露光領域内の最高速度と最低速度の割合（以下「速度変化率」という。） V_{rate} 、露光領域（画角） Y_d 、露光開始時刻 t_s における位相（初期位相） $\omega_0 \times (t_s - t_0) = a$ に基づいて、プロファイルの振幅 A_0 及び角速度 ω_0 が決定される。

【００２７】

速度変化率 V_{rate} に関して、DOSE量を一定にできる範囲で速度が設定され、位相 a は、 $0 < a < \pi/2$ を満たすことができる任意の位相に設定される。

【００２８】

露光駆動２０４の平均速度を V_{ave} とすると、距離と時間の関係から式４が成り立つ。

$V_{ave} = Y_d / (t_e - t_s) \cdots (4)$

【００２９】

また、式２の速度プロファイルからも平均速度を求めることができる。それは式５のよう示される。

【００３０】

【数１】

$$V_{ave} = \frac{1}{t_e - t_s} \int_{t_s}^{t_e} \frac{A_0}{\omega_0} \cdot \sin \omega_0(t - t_0) dt + V_{min} \cdots (5)$$

10

20

30

40

50

【 0 0 3 1 】

式 4 と式 5 は等しいため、式 4 および式 5 は、式 6 のように整理することができる。

【 0 0 3 2 】

$$A_0 / \omega^2 \times (-\cos(\omega \times (t_e - t_0)) + \cos(\omega \times (t_s - t_0))) + V_{\min} \times (t_e - t_s) = Y_d \cdots (6)$$

【 0 0 3 3 】

式 6 を角速度 ω のみを変数とした式にする。まず、露光開始速度を V_{\min_exp} とすると、 V_{\min_exp} と V_{\max} と V_{rate} の関係は、式 7 のように示される。

$$V_{\min_exp} = V_{\max} / V_{rate} \cdots (7)$$

【 0 0 3 4 】

最高速度 V_{\max} は、式 2 に関して位相 $\omega \times (t - t_0) = \pi/2$ のときの速度であるため、最高速度 V_{\max} は式 8 のように示される。

$$V_{\max} = V_{\min} + A_0 / \omega \cdots (8)$$

【 0 0 3 5 】

また、露光開始速度 V_{\min_exp} は、式 2 に関して位相 a のときの速度であるため、露光開始速度 V_{\min_exp} は式 9 のように示される。

$$V_{\min_exp} = V_{\min} + A_0 / \omega \times \sin(a) \cdots (9)$$

【 0 0 3 6 】

式 7 ~ 9 を組み合わせることで、 A_0 及び V_{\min} は、式 10 及び式 11 のように示される。

【 0 0 3 7 】

$$A_0 = \omega \times V_{\max} \times (1 - 1/V_{rate}) / (1 - \sin(a)) \cdots (10)$$

$$V_{\min} = V_{\max} \times (1/V_{rate} - \sin(a)) / (1 - \sin(a)) \cdots (11)$$

【 0 0 3 8 】

次に、時間 $t_s - t_0$ は、位相 $\omega \times (t_s - t_0) = a$ であるため、式 12 のように示される。

【 0 0 3 9 】

$$t_s - t_0 = a / \omega \cdots (12)$$

【 0 0 4 0 】

更に、時間 $t_e - t_0$ について露光終了時刻 t_e における位相 $\omega \times (t_e - t_0) = b$ とすると、図 3 に示されているように、露光終了時の速度と露光開始時の速度は等しい。そのため、位相 b は、位相 a を用いて、式 13 のように示される。

$$b = -a \cdots (13)$$

【 0 0 4 1 】

時間 $t_s - t_0$ を求めたときと同様に、時間 $t_e - t_0$ は式 14 のように示すことができる。

$$t_e - t_0 = b / \omega \cdots (14)$$

【 0 0 4 2 】

式 13 と式 14 から、時間 $t_e - t_0$ は、式 15 のように示される。

$$t_e - t_0 = (-a) / \omega \cdots (15)$$

【 0 0 4 3 】

式 12 と式 15 から、露光時間 $t_e - t_s$ は、式 16 のように示される。

$$t_e - t_s = (-2a) / \omega \cdots (16)$$

【 0 0 4 4 】

以上の式 10、11、12、15、16 を、式 6 に代入すると、式 17 のように、 ω のみの方程式が得られる。

$$1 / \omega \times (V_{\max} \times (1 - 1/V_{rate}) / (1 - \sin(a))) \times (-\cos(-a) + \cos(a)) + (V_{\max} \times (1/V_{rate} - \sin(a)) / (1 - \sin(a))) \times ((-2a) / \omega) = Y_d \cdots (17)$$

【 0 0 4 5 】

式 17 を ω について解くと、 ω は、式 18 のように示される。

$$\omega = V_{\max} / (Y_d \times (1 - \sin(a))) \times ((1/V_{rate} - \sin(a)) \times (-2a) + 2\cos(a) \times (1 - 1/V_{rate})) \cdots (18)$$

【 0 0 4 6 】

また、式 18 で求めた ω を式 10 に代入することで、 A_0 を求めることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 7 】

露光駆動では、駆動中の位置決め誤差を発生させないようにするために、基板ステージ 1 0 5 の固有振動数より低い周波数で基板ステージ 1 0 5 を駆動させることが有効である。角速度と周波数は比例関係にあるため、角速度 ω_0 から計算される周波数が基板ステージ 1 0 5 の固有振動数より高い周波数の場合、速度変化率または最高速度を低くして再計算を行い、角速度 ω_0 の値を低くすることができる。

【 0 0 4 8 】

非露光駆動 2 0 3 の速度プロファイル及び加速度プロファイルは、図 2 及び図 3 に示すように、プロファイル開始時刻 t_1) において、速度及び加速度を、露光駆動 2 0 2 の終了時と一致（連続）させる必要がある。また、三角関数のプロファイルを使用するため、速度及び加速度はそれぞれ、式 1 9 及び式 2 0 のように示すことができる。

10

【 0 0 4 9 】

速度： $A_1 / \omega_1 \times (\sin(\omega_1 \times (t - t_1) + c) - \sin(c)) + V_{\min_exp} \cdots (19)$

加速度： $A_1 \times (\cos(\omega_1 \times (t - t_1) + c) \cdots (20)$

ただし、 A_1 は加速度の振幅、 ω_1 は角速度、 c は初期位相、 t は時間、 t_1 は非露光駆動 2 0 3 の開始時刻である。非露光駆動 2 0 3 と露光駆動 2 0 4 は、 $t = t_s$ の接続点 2 1 0 において接続される。

【 0 0 5 0 】

時刻 t_1 から時刻 t_s の間は、ショット領域 2 からショット領域 3 へのステップ動作が行われているため、時刻 t_s は、その駆動時間よりも後に設定する必要がある。

20

【 0 0 5 1 】

非露光駆動の変数 A_1 、 ω_1 、 c を求める方法について説明する。接続点 2 1 0 において、非露光駆動 2 0 3 と露光駆動 2 0 4 の位置、速度、加速度を一致（連続）させる必要がある。まず、速度の一致については、式 2 と式 1 9 が時刻 t_s において一致するため、式 2 1 のように示される。

$A_1 / \omega_1 \times (\sin(\omega_1 \times (t_s - t_1) + c) - \sin(c)) - V_{\min_exp} = V_{\min_exp} \cdots (21)$

【 0 0 5 2 】

加速度の一致については、式 3 と式 2 0 が時刻 t_s において一致するため、式 2 2 のように示される。

$A_1 \times (\cos(\omega_1 \times (t_s - t_1) + c) = A_0 \times (\cos(\omega_0 \times (t_s - t_0) + c) \cdots (22)$

30

【 0 0 5 3 】

また、時刻 t_1 のときの非露光駆動 2 0 3 の加速度は、露光駆動 2 0 2 の露光終了時の加速度と一致し、露光駆動 2 0 2 と露光駆動 2 0 4 は同じ駆動であるため、式 2 3 が示される。

$A_1 \times \cos(c) = A_0 \times \cos(a) \cdots (23)$

【 0 0 5 4 】

式 2 2 は、三角関数の加減法から式 2 4 のように変形できる。

$A_1 \times (\cos(\omega_1 \times (t_s - t_1)) \times \cos(c) - \sin(\omega_1 \times (t_s - t_1)) \times \sin(c)) = A_0 \times \cos(\omega_0 \times (t_s - t_0)) \cdots (24)$

40

【 0 0 5 5 】

式 2 3 を式 2 4 に代入することで、式 2 5 が得られる。

$A_0 \times \cos(a) \times \cos(\omega_1 \times (t_s - t_1)) - A_1 \times \sin(\omega_1 \times (t_s - t_1)) \times \sin(c) = A_0 \times \cos(\omega_0 \times (t_s - t_0)) \cdots (25)$

【 0 0 5 6 】

式 2 5 を $A_1 \times \sin(c)$ について解くと、式 2 6 が得られる。

$A_1 \times \sin(c) = A_0 \times (\cos(a) \times \cos(\omega_1 \times (t_s - t_1)) - \cos(\omega_0 \times (t_s - t_0)) / \sin(\omega_1 \times (t_s - t_1))) \cdots (26)$

【 0 0 5 7 】

式 2 6 に式 2 3 を代入すると、式 2 7 が得られる。

$(A_0 \times \sin(c) \times \cos(a)) / \cos(c) = \cos(a) \times (\cos(\omega_1 \times (t_s - t_1)) - \cos(\omega_0 \times (t_s - t_0))) / (\cos(\omega_1 \times (t_s - t_1)) \times \sin(c)) \cdots (27)$

50

$$s(a) \times \sin(\theta_1 \times (t_s - t_1))) \cdots (27)$$

【0058】

式27をcについて解くと、式28が得られる。

$$\tan(c) = (\cos(a) \times \cos(\theta_1 \times (t_s - t_1)) - \cos(\theta_0 \times (t_s - t_0))) / (\cos(a) \times \sin(\theta_1 \times (t_s - t_1))) \cdots (28)$$

【0059】

θ_1 の値が求まると、式28は逆三角関数を用いて解くことが可能になる。

【0060】

式24と同様に、三角関数の加減法を用いて式21を変形すると、式29が得られる。

$$A_1 / \theta_1 \times (\sin(\theta_1 \times (t_s - t_1)) \times \cos(c) - \cos(\theta_1 \times (t_s - t_1)) \times \sin(c) - \sin(c)) - V_{\min_exp} = V_{\min_exp} \cdots (29)$$

【0061】

式29に式23と式26を代入すると、 θ_1 のみを変数とした方程式30が得られる。

$$1 / \theta_1 \times (\sin(\theta_1 \times (t_s - t_1)) \times A_0 \times \cos(a) - (1 + \cos(\theta_1 \times (t_s - t_1))) \times A_0 \times (\cos(a) \times \cos(\theta_1 \times (t_s - t_1))) - (\cos(\theta_0 \times (t_s - t_0))) / \sin(\theta_1 \times (t_s - t_1))) - 2 \times V_{\min_exp} = 0 \cdots (30)$$

【0062】

式30は非線形方程式であるため、2分探索法などを用いて θ_1 の最適値を求める必要がある。また、 θ_1 の値が求まると、式28からcの値を求めることができ、cの値を求めることで式23から A_1 の値を求めることができる。振幅 A_1 の値が最高加速度となるように時刻 t_s を決めることにより、非露光駆動が高い加速度で駆動するため、非露光時間を短縮することができる。

【0063】

上記のように決定されたプロファイルによれば、露光駆動中に基板ステージ105は最高速度で駆動しうる。また、非露光駆動中に基板ステージ105は最高加速度で駆動しうる。主制御部111は、ショット領域を露光する間、基板ステージ105の速度に応じた光量で基板104に光を照射するように、第2プロファイルの正弦波に対応する正弦波をもつ露光量プロファイルに基づいて光源または照明光学系を制御しうる。ただし、露光駆動中における基板ステージ105の最高速度、速度変化率、および第2プロファイル開始時の位相は、基板の単位面積当たりの露光量(DOSE量)を一定(許容範囲内)に維持する制約の下で決定される。したがって、露光駆動は照明エネルギー量に変化可能な速度変化率で駆動するため、DOSE量を一定にできる。また、非露光区間は、基板ステージ105の最高加速度に近い値で駆動するため、非露光時間を短縮でき、生産性の向上が可能になる。

【0064】

また、変形例として、図4に示すように、時刻 t_s において露光を開始せずに、時刻 t_{s2} から露光を開始することで非露光駆動203から露光駆動204への切り替え時に発生する位置決め誤差が低減してから露光を開始することができる。このように露光制御を行うことで、図3に従う露光制御よりも露光精度を高めることができる。

【0065】

ここまでは、露光区間と非露光区間の接続点において、速度と加速度のプロファイルが連続となることを条件として設定した。しかしながら、図5に示すように、加速度の傾きが急激に変化すると、接続点510で位置決め誤差が大きくなり、露光精度に影響を及ぼす可能性がある。そのため、図6に示すように、露光駆動と非露光駆動の加速度の微分値つまりジャークを、接続点510において、さらに一致(連続)させるような調整を入れてもよい。ジャークが一致するとき、式31が成り立つ。

$$A_1 \times \theta_1 \times (\sin(\theta_1 \times (t_s - t_1)) + c) = A_0 \times \theta_0 \times (\sin(\theta_0 \times (t_s - t_0))) \cdots (31)$$

【0066】

式31にも、三角関数の加減法と式23および式26とを適用すると、式32が成り立つ。

$$\theta_1 \times (\sin(\theta_1 \times (t_s - t_1)) \times \cos(a) + \cos(\theta_1 \times (t_s - t_1)) \times (\cos(a) \times \cos(\theta_1 \times (t_s - t_1))) - \cos$$

10

20

30

40

50

$$s(0 \times (t_s - t_0)) / \sin(1 \times (t_s - t_1)) = 0 \times \sin(1 \times (t_s - t_0)) \cdots (32)$$

【0067】

式30と32を ω_1 及び t_s について解く必要があるが、上記2つの式は非線形連立方程式であるため、先ほどのような2分探索法ではなく、ニュートン法などを用いて、変数 ω_1 及び時刻 t_s の値を逐次変更し最適解を見つけることで方程式を解く。角速度 ω_1 及び時刻 t_s の値を計算後、初期位相 c を計算し、その後加速度 A_1 を計算する。

【0068】

上記のようにジャークが一致することで、接続点510における位置決め誤差を小さくすることができ、露光精度を高めることができる。

【0069】

本実施形態では、露光プロファイルに単一の三角関数を使用し、非露光プロファイルには露光プロファイルと異なる振幅、角速度を持つ単一の三角関数を使用することで、非露光時間を短縮してスループットを向上させた。スループット向上のための非露光プロファイルとして、等加速度プロファイルや2次関数等の多項式、あるいは三角関数を合成したプロファイルなどの使用も考えられる。

【0070】

<第2実施形態>

第1実施形態では、非露光駆動を1つのプロファイルで示していたが、図7のように、複数のプロファイルを組み合わせることも可能である。図7の例において、ショット領域2の露光駆動703からショット領域3の露光駆動707へつながる非露光駆動は、非露光駆動704、非露光駆動705、及び非露光駆動706を含む。非露光駆動704、非露光駆動705、及び非露光駆動706には、それぞれ別個の非露光プロファイルが適用される。ショット領域2の露光駆動703が終了後、非露光駆動704で基板ステージ105が出力可能な最高加速度 A_1 まで短時間で上昇させる。その後、非露光駆動705で最高加速度 A_1 のまま、等加速駆動を行い、非露光駆動706で露光駆動707の露光開始の加速度まで加速度を落とす。

【0071】

上記のようなプロファイルを決定することで、第1実施形態に比べて更に非露光時間を短縮することができ、生産性向上につながる。

【0072】

露光開始前に非露光駆動706のような急峻な加速度変化があると、位置決め誤差が発生し、露光精度に影響を及ぼす可能性がある。そのため、図8に示すように、露光開始直前の加速度プロファイルが緩やかになるようにプロファイルを調整してもよい。例えば、等加速駆動804から基板ステージ105の固有振動より低い周波数の正弦波の駆動805で基板ステージ105を駆動させることで、非露光駆動から露光駆動への加速度変化が緩やかになり、位置決め誤差が低減しうる。

【0073】

上記のようにプロファイルを決定することで、図7の例よりも露光精度を高めることができる。

【0074】

<物品製造方法の実施形態>

本発明の実施形態に係る物品製造方法は、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。本実施形態の物品製造方法は、基板に塗布された感光剤に上記の露光装置を用いて潜像パターンを形成する工程（基板を露光する工程）と、かかる工程で潜像パターンが形成された基板を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。

【0075】

発明は上記実施形態に制限されるものではなく、発明の精神及び範囲から離脱することなく、様々な変更及び変形が可能である。従って、発明の範囲を公にするために請求項を添付する。

【符号の説明】

【 0 0 7 6 】

1 0 0 : 露光装置、1 0 1 : 投影光学系、1 0 2 : マスク (原版) 、1 0 3 : マスクステージ、1 0 4 : 基板、1 0 5 : 基板ステージ、1 0 6 : 照明光学系、1 1 1 : 主制御部

10

20

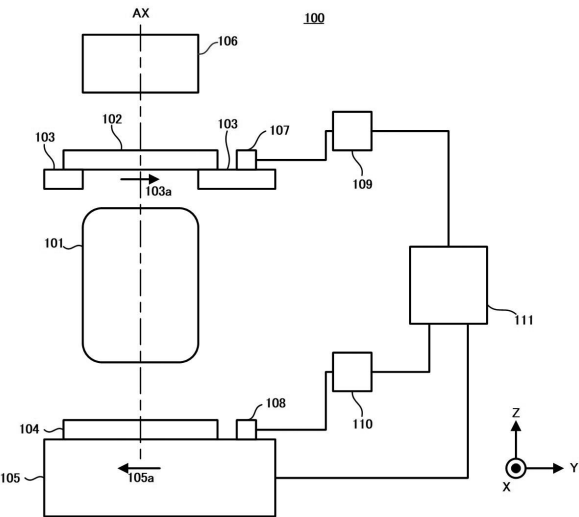
30

40

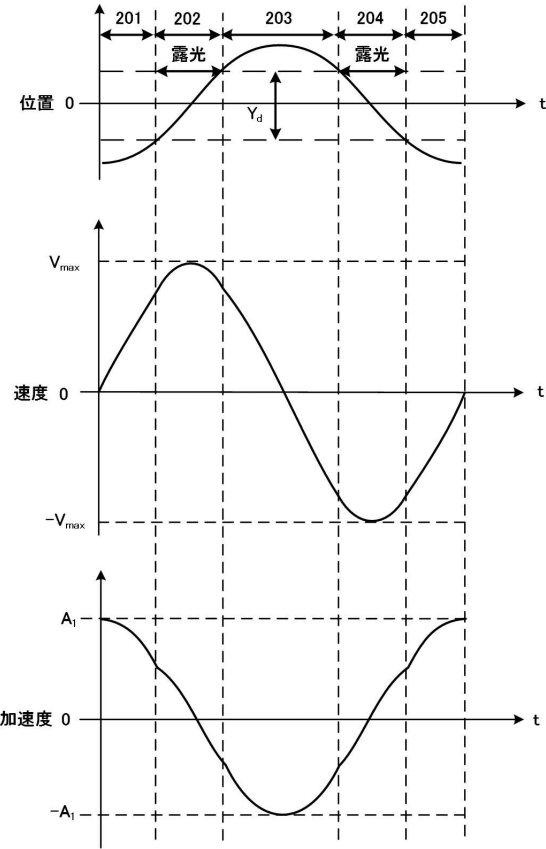
50

【図面】

【図 1】



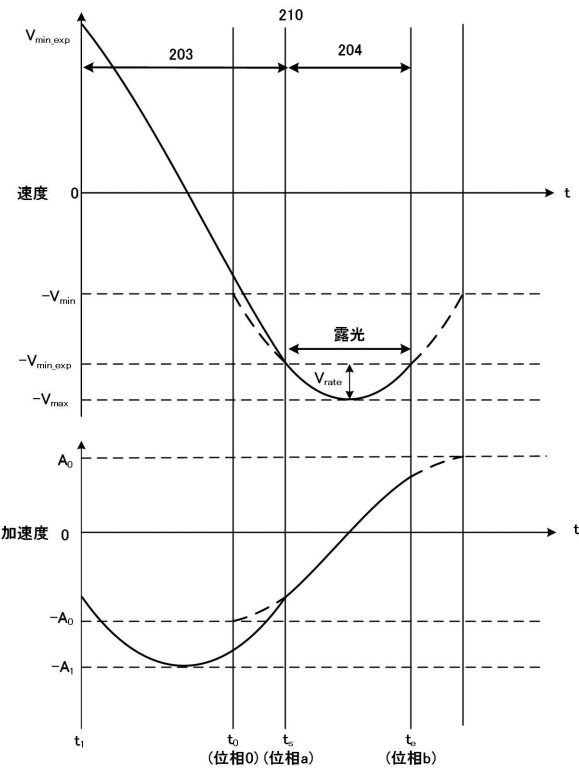
【図 2】



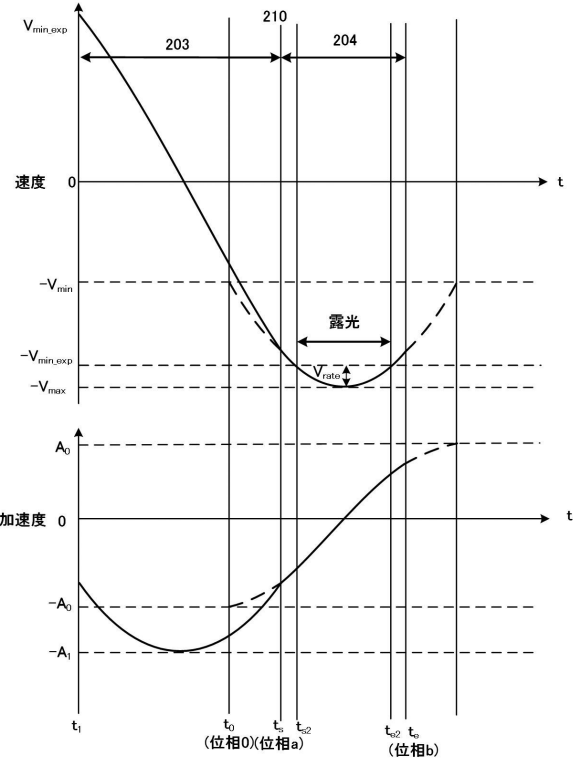
10

20

【図 3】



【図 4】

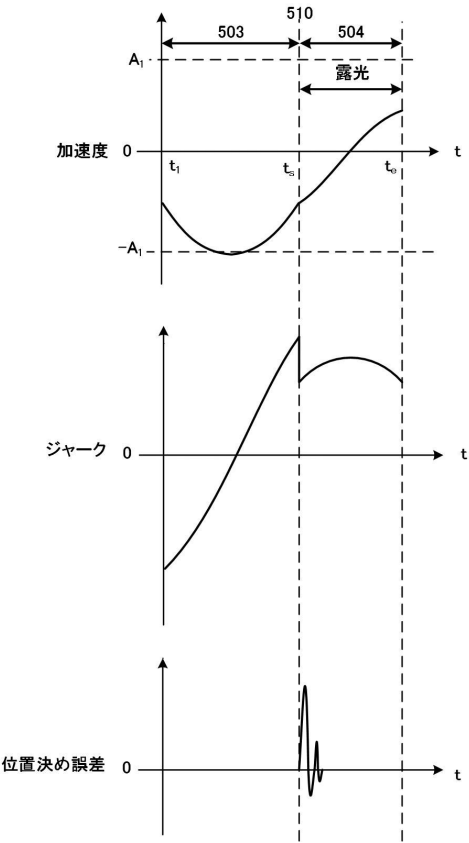


30

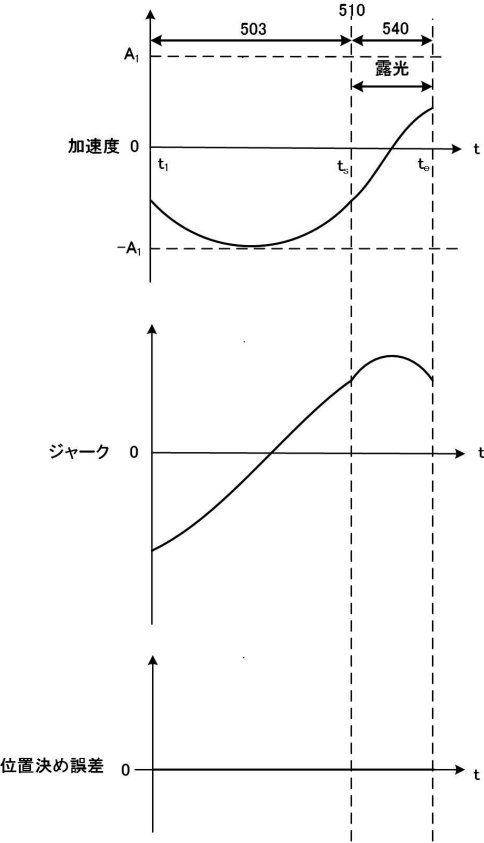
40

50

【図 5】



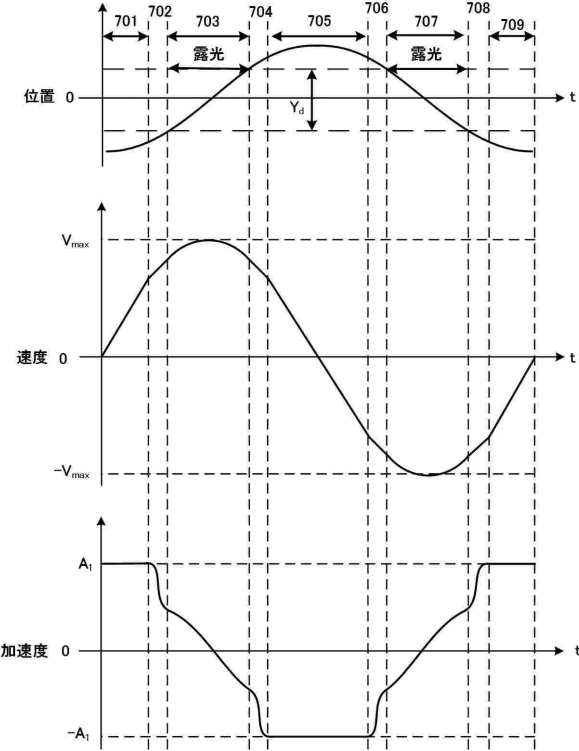
【図 6】



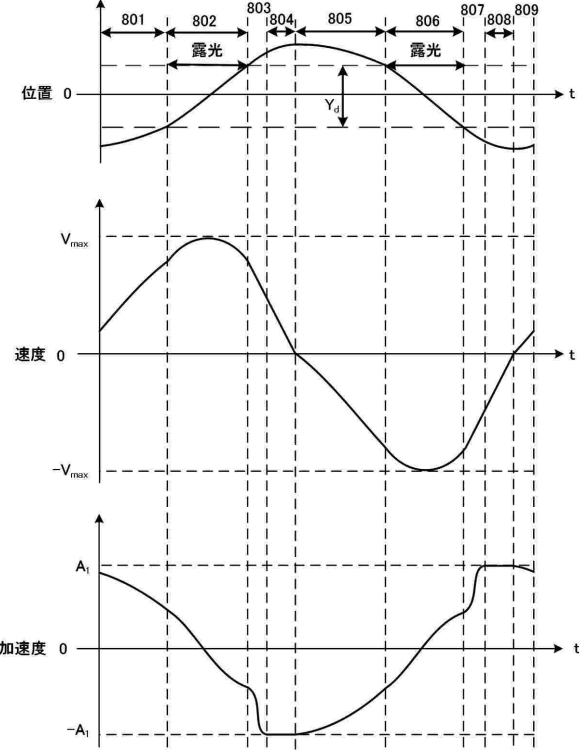
10

20

【図 7】



【図 8】

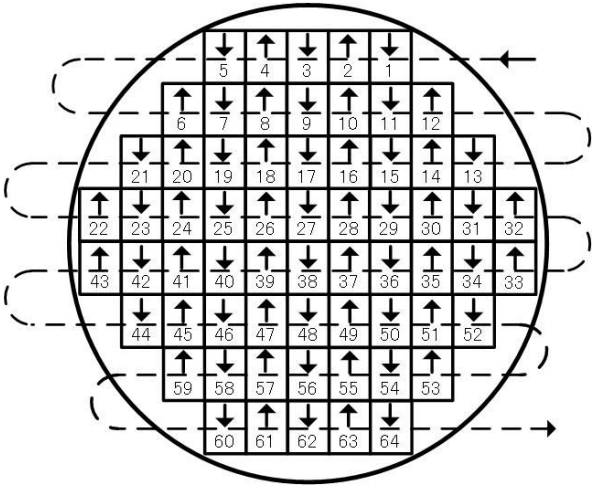


30

40

50

【 図 9 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 1 2 - 1 4 2 4 6 3 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 3 / 0 1 6 9 9 4 6 (U S , A 1)
特開 2 0 1 5 - 2 0 1 5 2 6 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 2 7 2 6 7 3 (J P , A)
米国特許第 0 6 3 2 0 3 4 5 (U S , B 1)
特開 2 0 1 8 - 1 8 9 7 4 8 (J P , A)
特開 2 0 1 1 - 1 0 9 0 1 4 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
G 0 3 F 7 / 2 0 - 7 / 2 4、9 / 0 0 - 9 / 0 2
H 0 1 L 2 1 / 0 2 7、2 1 / 3 0、2 1 / 6 8
G 0 5 D 3 / 1 2