

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6613074号  
(P6613074)

(45) 発行日 令和1年11月27日 (2019.11.27)

(24) 登録日 令和1年11月8日 (2019.11.8)

(51) Int. Cl. F 1  
**G 0 3 F 7 / 2 0 (2006.01)** G 0 3 F 7 / 2 0 5 2 1

請求項の数 15 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2015-163092 (P2015-163092)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成27年8月20日 (2015.8.20)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2017-40821 (P2017-40821A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成29年2月23日 (2017.2.23)	(74) 代理人	100076428
審査請求日	平成30年8月7日 (2018.8.7)		弁理士 大塚 康德
		(74) 代理人	100115071
			弁理士 大塚 康弘
		(74) 代理人	100112508
			弁理士 高柳 司郎
		(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】 決定方法、露光装置、プログラム、および物品の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の項目を含む第1露光条件での基板の露光中における投影光学系の光学特性の変動を予測するための第1予測式を決定する決定方法であって、

前記複数の項目を含み且つ前記第1露光条件とは異なる第2露光条件での基板の露光中における前記光学特性の変動を実測する第1工程と、

前記第1工程での実測結果に基づいて、前記第2露光条件での基板の露光中における前記光学特性の変動を予測するための第2予測式を決定する第2工程と、

前記第1露光条件と前記第2露光条件との項目ごとの差に基づいて、前記第1露光条件と前記第2露光条件との相関性の高さを示す相関度を求める第3工程と、

前記相関度が許容範囲内にある場合、前記第2予測式に基づいて前記第1予測式を決定する第4工程と、

を含むことを特徴とする決定方法。

【請求項 2】

前記相関度が前記許容範囲内にない場合、前記第1露光条件での基板の露光中における前記光学特性の変動を実測し、その実測結果に基づいて前記第1予測式を決定する第5工程を含む、ことを特徴とする請求項1に記載の決定方法。

【請求項 3】

前記第5工程では、前記光学特性の変動を実測する内容を前記相関度に応じて変更する、ことを特徴とする請求項2に記載の決定方法。

10

20

**【請求項 4】**

前記第 3 工程では、前記第 1 露光条件と複数の前記第 2 露光条件の各々との前記相関度を求め、

前記第 4 工程では、複数の前記第 2 露光条件のうち、前記相関度が前記許容範囲内にあり且つ前記相関度が最も高い第 2 露光条件についての前記第 2 予測式に基づいて前記第 1 予測式を決定する、ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のうちいずれか 1 項に記載の決定方法。

**【請求項 5】**

前記第 4 工程では、前記第 1 露光条件と前記第 2 露光条件との項目ごとの差および前記第 2 予測式に基づいて、前記第 2 予測式とは異なる予測式を前記第 1 予測式として決定する、ことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のうちいずれか 1 項に記載の決定方法。

10

**【請求項 6】**

前記第 1 予測式および前記第 2 予測式は、予測値を実測値に近づけるための係数をそれぞれ含み、

前記第 4 工程では、前記第 1 露光条件と前記第 2 露光条件との項目ごとの差、および前記第 2 予測式の係数に基づいて、前記第 1 予測式の係数を決定する、ことを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の決定方法。

**【請求項 7】**

前記第 4 工程では、

前記第 1 露光条件と前記第 2 露光条件との項目ごとの差に対して重み付けを行って得られた値の総和を求め、

20

前記総和と前記第 2 予測式とに基づいて前記第 1 予測式を決定する、ことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のうちいずれか 1 項に記載の決定方法。

**【請求項 8】**

前記第 4 工程では、

露光条件の変化に対する前記光学特性の変動率を示す敏感度を、露光条件の項目ごとに求め、

前記総和を、前記敏感度に応じた重み付けを行って得られた値の総和として求める、ことを特徴とする請求項 7 に記載の決定方法。

**【請求項 9】**

30

前記第 3 工程では、

前記第 1 露光条件と前記第 2 露光条件との項目ごとの差に重み付けを行って得られた値の二乗和に基づいて前記相関度を求める、ことを特徴とする請求項 1 乃至 8 のうちいずれか 1 項に記載の決定方法。

**【請求項 10】**

前記第 3 工程では、

露光条件の変化に対する前記光学特性の変動率を示す敏感度を、露光条件の項目ごとに求め、

前記二乗和を、前記敏感度に応じた重み付けを行って得られた値の二乗和として求める、ことを特徴とする請求項 9 に記載の決定方法。

40

**【請求項 11】**

前記第 1 露光条件および前記第 2 露光条件は、照明 N A、照明 および露光画角のうち少なくとも 1 つの項目をそれぞれ含む、ことを特徴とする請求項 1 乃至 10 のうちいずれか 1 項に記載の決定方法。

**【請求項 12】**

前記相関度は、前記第 1 露光条件と前記第 2 露光条件との各項目を座標軸とした空間における前記第 1 露光条件の座標と前記第 2 露光条件の座標との距離で表される、ことを特徴とする請求項 1 乃至 11 のうちいずれか 1 項に記載の決定方法。

**【請求項 13】**

請求項 1 乃至 12 のうちいずれか 1 項に記載の決定方法の各工程をコンピュータに実行

50

させることを特徴とするプログラム。

【請求項 1 4】

投影光学系を介して基板を露光する露光装置であって、

前記投影光学系の光学特性を変更する変更部と、

複数の項目を含む第 1 露光条件での基板の露光中における前記投影光学系の光学特性の変動を予測するための第 1 予測式を決定し、前記第 1 予測式により求められた予測値に基づいて前記変更部を制御する制御部と、

を含み、

前記制御部は、

前記複数の項目を含み且つ前記第 1 露光条件とは異なる第 2 露光条件での基板の露光中における前記光学特性の変動を予測するために前記光学特性の変動を実測し、

前記光学特性の変動の実測結果に基づいて、前記第 2 露光条件での基板の露光中における前記光学特性の変動を予測するための第 2 予測式を決定し、

前記第 1 露光条件と前記第 2 露光条件との項目ごとの差に基づいて、前記第 1 露光条件と前記第 2 露光条件との相関性の高さを示す相関度を求め、

前記相関度が許容範囲内にある場合、前記第 2 予測式に基づいて前記第 1 予測式を決定する、ことを特徴とする露光装置。

【請求項 1 5】

請求項 1 4 に記載の露光装置を用いて基板を露光する工程と、

前記工程で露光された前記基板を現像する工程と、

を含み、現像された前記基板から物品を製造することを特徴とする物品の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、投影光学系の光学特性の変動を予測するための予測式を決定する決定方法、露光装置、プログラム、および物品の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスなどの製造工程（リソグラフィ工程）で用いられる装置の 1 つとして、投影光学系を介して基板を露光し、原版のパターンを基板上のショット領域に転写する露光装置がある。このような露光装置では、投影光学系において露光光の一部が吸収されるため、それにより発生した熱の影響で投影光学系の光学特性が変動し、原版のパターンをショット領域に精度よく転写することが困難になりうる。

【0003】

特許文献 1 には、投影光学系の光学特性の変動を、露光量や露光時間などを変数とした予測式を用いて予測し、予測値に基づいて投影光学系の光学特性を制御する方法が提案されている。また、特許文献 2 には、予測値に生じる誤差が低減されるように、投影光学系の光学特性の変動を実測した結果に基づいて予測式を決定する方法が提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2 0 0 1 - 1 6 0 5 3 3 号公報

【特許文献 2】特開昭 6 3 - 5 8 3 4 9 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

投影光学系では、基板を露光するための露光条件ごとに、光学特性の変動の傾向が変わりうるため、露光条件ごとに予測式を決定することが好ましい。しかしながら、特許文献 2 に記載されたような光学特性の変動の実測を、露光条件を変更する度に行うことは、スループットの向上を妨げる要因となりうる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 6 】

そこで、本発明は、露光装置のスループットを向上させ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】

## 【 0 0 0 7 】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての決定方法は、複数の項目を含む第1露光条件での基板の露光中における投影光学系の光学特性の変動を予測するための第1予測式を決定する決定方法であって、前記複数の項目を含み且つ前記第1露光条件とは異なる第2露光条件での基板の露光中における前記光学特性の変動を実測する第1工程と、前記第1工程での実測結果に基づいて、前記第2露光条件での基板の露光中における前記光学特性の変動を予測するための第2予測式を決定する第2工程と、前記第1露光条件と前記第2露光条件との項目ごとの差に基づいて、前記第1露光条件と前記第2露光条件との相関性の高さを示す相関度を求める第3工程と、前記相関度が許容範囲内にある場合、前記第2予測式に基づいて前記第1予測式を決定する第4工程と、を含むことを特徴とする。

10

## 【 0 0 0 8 】

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】

## 【 0 0 0 9 】

20

本発明によれば、例えば、露光装置のスループットを向上させるために有利な技術を提供することができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 1 0 】

【図1】第1実施形態の露光装置を示す概略図である。

【図2】露光時間と光学特性の変動量との関係、および露光時間と露光光の強度との関係を示す図である。

【図3】予測式を決定する方法を示すフローチャートである。

【図4】第1露光条件での光学特性の変動の実測値と、第2予測式によって求められた光学特性の変動の予測値とを示す図である。

30

【図5】第1予測式を決定する際に実測工程が必要か否かを判断する方法を示すフローチャートである。

【図6】第2予測式の係数と、それに対応する第2露光条件との関係を示す情報の一例を示す図である。

【図7】第1露光条件と第2露光条件との距離を説明するための概念図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 1 1 】

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する。

40

## 【 0 0 1 2 】

## &lt; 第1実施形態 &gt;

本発明に係る第1実施形態の露光装置10について、図1を参照しながら説明する。図1は、第1実施形態の露光装置10を示す概略図である。露光装置10は、例えば、原版1を保持する原版ステージ2と、投影光学系3と、基板4を保持して移動可能な基板ステージ5と、照明光学系6と、制御部9とを含みうる。制御部9は、例えばCPUやメモリなどを含み、原版1のパターンを基板4のショット領域に転写する処理を制御する(露光装置10の各部を制御する)。

## 【 0 0 1 3 】

照明光学系6は、それに含まれるマスキングブレードなどの遮光部材により、光源(不

50

図示)から射出された光を整形し、整形した光で原版1のパターン領域(パターンが形成された領域)を照明する。原版1および基板4は、原版ステージ2および基板ステージ5によってそれぞれ保持されており、投影光学系3を介して光学的にほぼ共役な位置(投影光学系3の物体面および像面)にそれぞれ配置される。投影光学系3は、原版1のパターンを基板4(ショット領域)に投影する。

#### 【0014】

このように構成された露光装置10では、投影光学系3において露光光7の一部が吸収されるため、それにより発生した熱の影響で投影光学系3の光学特性(例えば投影倍率やディストーション)が露光時間とともに変動しうる。例えば、図2(b)に示すように、一定の強度を有する露光光7で露光処理を行うと、投影光学系3の光学特性は、図2(a)に示すように指数関数的に変動するため、原版1のパターンをショット領域に精度よく転写することが困難になりうる。したがって、露光装置10では、露光時間に対する投影光学系3の光学特性の変動についての予測値を予測式によって求め、投影光学系3の光学特性を変更する変更部を予測値に基づいて制御しながら露光処理を行ことが好ましい。ここで、変更部は、例えば、投影光学系3の光学素子3aを駆動する駆動部3b、および基板ステージ5の少なくとも一方を含みうる。第1実施形態では、変更部として駆動部3bを用い、予測式によって求められた予測値に基づいて駆動部3bを制御する例について説明する。また、図1に示す駆動部3bは、1つの光学素子3aを駆動するように構成されているが、それに限られるものではなく、複数の光学素子を駆動するように構成されてもよい。

#### 【0015】

投影光学系3の光学特性の変動についての予測値 $\Phi_k$ は、例えば式(1)で表される予測式によって求められうる。式(1)において、 $E_k$ は露光量を、 $t_k$ は露光時間を、 $Ic$ は予測値を実測値に近づけるための係数(実測値に対する予測値の誤差を補正するための係数)を、 $K$ は投影光学系3の熱伝導に関する時定数をそれぞれ表す。第1実施形態では、式(1)における係数 $Ic$ および時定数 $K$ が、予測式を最適化するために決定されるパラメータであり、投影光学系3の光学特性の種類(例えば、投影倍率、フォーカス、ディストーションなど)ごとに決定されうる。当該パラメータを、以下では補正パラメータと称する。

#### 【0016】

##### 【数1】

$$\Phi_k = Ic \cdot E_k - (Ic \cdot E_k - \Phi_{k-1}) \exp(-t_k / K) \quad \cdots (1)$$

#### 【0017】

予測式によって求められた予測値 $\Phi_k$ には、実測値に対する誤差が生じることがある。実測値に対する誤差が予測値 $\Phi_k$ に生じていると、当該予測値 $\Phi_k$ に従って変更部(駆動部3b)を制御しても、原版1のパターンを基板4のショット領域に精度よく転写することが困難になりうる。したがって、予測式(補正パラメータ)は、基板4の露光中における投影光学系3の光学特性の変動を実測し、その結果に基づいて、予測値 $\Phi_k$ が実測値に近づくよう決定されることが好ましい。

#### 【0018】

ところで、投影光学系3の光学特性(以下では、単に「光学特性」と呼ぶ)の変動は、一般に、例えば照明NA、照明、露光画角、原版における光の透過率、基板における光の反射率などの複数の項目を含む露光条件に依存する。例えば、照明NAおよび照明で決まる照明条件が変化すると、投影光学系3の瞳面に形成される光強度分布が変化する。一方で、露光画角が変化すると、投影光学系3の物体面および像面付近に形成される光強度分布が変化する。このように投影光学系3の瞳面、物体面および像面における光強度分布が変化すると、投影光学系3の光学素子3a(レンズ)における温度分布が変化するため、光学素子3aの変形や屈折率の変化が生じ、光学特性が変動しうる。そのため、露光装置10では、予測式(補正パラメータ)を露光条件ごとに決定することが好ましい。

## 【 0 0 1 9 】

しかしながら、基板 4 の露光中における光学特性の変動を実測する実測工程を、露光条件を変更する度に行うことは、スループットの向上を妨げる要因となりうる。つまり、予測式を決定する際には、できるだけ実測工程を省略することが好ましい。そこで、第 1 実施形態の露光装置 1 0 は、第 1 露光条件での露光中における光学特性の変動を予測するための第 1 予測式を決定する際、第 1 露光条件と、光学特性を予測するための第 2 予測式に対応する第 2 露光条件との相関係数（相関度、相関性）を求める。第 2 予測式は、第 2 露光条件での基板 4 の露光中における光学特性の変動を予測するための式であり、第 1 露光条件と第 2 露光条件との相関係数を求める工程の前に、第 2 露光条件での実測工程を経て予め決定されている。そして、露光装置 1 0 は、求めた相関係数が許容範囲内にある場合には、当該第 2 予測式に基づいて第 1 予測式を決定する。これにより、第 1 露光条件での実測工程を省略することができる。

10

## 【 0 0 2 0 】

[ 第 1 予測式を決定する方法について ]

次に、基板 4 の露光処理で用いられる予測式を決定する方法について、図 3 を参照しながら説明する。図 3 は、露光処理で用いられる予測式を決定する方法を示すフローチャートである。ここでは露光装置 1 0 の制御部 9 によって予測式を決定する例について説明するが、それに限られるものではなく、例えば露光装置 1 0 の外部コンピュータによって予測式を決定してもよい。

## 【 0 0 2 1 】

S 1 1 では、制御部 9 は、基板 4 の露光処理における露光条件（第 1 露光条件）を取得する。露光条件は、上述したように、例えば照明 N A、照明、露光画角、原版 1 における光の透過率、基板 4 における光の反射率などの項目を含みうる。S 1 2 では、制御部 9 は、第 1 露光条件に対応する第 1 予測式が既に決定されているか否かを判断する。第 1 予測式が既に決定されている場合は S 1 7 に進み、第 1 予測式が未だ決定されていない場合は S 1 3 に進む。S 1 3 では、制御部 9 は、第 1 露光条件に対応する第 1 予測式（係数  $I_c$ ）を決定する際に実測工程が必要か否かを判断する。実測工程が必要であると制御部 9 によって判断された場合（S 1 3 の Yes）は S 1 4 に進み、実測工程が不要ないと制御部 9 によって判断された場合（S 1 3 の No）は S 1 7 に進む。S 1 3 の工程についての詳細は、後述する。

20

## 【 0 0 2 2 】

S 1 4 では、制御部 9 は、第 1 露光条件での光学特性の変動を実測する実測工程を行う。実測工程では、第 1 露光条件で基板 4 を実際に露光し、その露光中における光学特性の変動を計測する。露光中における光学特性の変動を計測する方法としては、例えば、光学特性の変動を評価することができるパターンを有する原版 1 を用いて基板上に当該パターンを転写し、その転写結果に基づいて光学特性の変動を計測してもよい。また、光学特性の変動を検出する検出部を露光装置内に設けて、当該検出部による検出結果に基づいて光学特性の変動を計測してもよい。

30

## 【 0 0 2 3 】

S 1 5 では、制御部 9 は、第 1 露光条件での実測工程で得られた光学特性の変動の実測値（実測結果）に基づいて、予測値が当該実測値に近づくように第 1 予測式を決定する。例えば、制御部 9 は、光学特性の変動の実測値に基づいて、予測値が当該実測値に近づくように第 1 予測式の補正パラメータ（第 1 実施形態では係数  $I_c$ ）を求めて第 1 予測式を決定する。ここで、制御部 9 は、後述する S 1 3 - 4 で選択された第 2 露光条件に対応する第 2 予測式の係数  $I_c$  に基づいて、第 1 予測式の係数  $I_c$  を求めてもよい。この場合、制御部 9 は、図 4 に示すように、第 1 露光条件での光学特性の変動の実測値 1 3 と、当該第 2 予測式により得られた予測値 1 1 との差 1 2 が小さくなるように第 2 予測式の係数  $I_c$  を補正する。そして、補正した第 2 予測式の係数  $I_c$  を第 1 予測式の係数  $I_c$  として用いて、第 1 予測式を決定しうる。図 4 は、第 1 露光条件での光学特性の変動の実測値 1 3 と、第 2 予測式によって求められた光学特性の変動の予測値 1 1 とを示す図である。

40

50

## 【 0 0 2 4 】

S 1 6 では、制御部 9 は、S 1 5 で決定した第 1 予測式により得られた予測値と実測値との差が閾値以下か否かを判断する。当該差が閾値以下の場合は S 1 7 に進み、当該差が閾値より大きい場合は S 1 5 の工程を繰り返す。また、S 1 7 では、制御部 9 は、決定した第 1 予測式を用いて第 1 露光条件での露光処理を開始する。

## 【 0 0 2 5 】

[ 実測工程の有無の判断方法について ]

次に、S 1 3 の工程において、第 1 露光条件に対応する第 1 予測式を決定する際に実測工程が必要か否かを判断する方法について説明する。制御部 9 は、例えば、図 5 に示すフローチャートに従って当該判断を行いうる。図 5 は、第 1 露光条件に対応する第 1 予測式を決定する際に実測工程が必要か否かを判断する方法を示すフローチャートである。

10

## 【 0 0 2 6 】

S 1 3 - 1 では、制御部 9 は、実測工程を経て既に決定された予測式（第 2 予測式）の補正パラメータ（係数  $I_c$ ）と、それに対応する露光条件（第 2 露光条件）との関係を示す情報を取得する。図 6 は、第 2 予測式の係数  $I_c$  と、それに対応する第 2 露光条件との関係を示す情報の一例を示す図である。図 6 に示す例では、露光条件の項目として照明 NA、照明、露光画角（画角幅および画角高さ）が設定されており、複数の第 2 露光条件の各々について各項目の値と、それに対応する係数  $I_c$  との関係が示されている。ここで、図 6 には、補正パラメータとしての係数  $I_c$  が設定されているが、それに限られるものではなく、例えば、時定数  $K$  などが設定されていてもよい。また、式（1）とは異なる式を予測式として用いる場合は、係数  $I_c$  や時定数  $K$  とは異なるパラメータが設定されていてもよい。

20

## 【 0 0 2 7 】

S 1 3 - 2 では、制御部 9 は、露光条件の変化に対する光学特性の変動率を示す敏感度を、露光条件の項目ごとに求める。ここでは、露光条件の変化に対する係数  $I_c$  の変化率から当該敏感度を求める例について説明する。まず、 $k$  番目の第 2 露光条件の項目を、式（2）に示すようにベクトル  $p_k$  で表す。式（2）におけるベクトル  $p_k$  の要素  $p_{k_i}$  は、第 2 露光条件における  $i$  番目の項目を表している。例えば、図 6 に示す情報では、要素  $p_{k_1} \sim p_{k_4}$  が照明 NA、照明、露光画角（画角幅および画角高さ）にそれぞれ対応する。同様に、第 1 露光条件の項目を、式（3）に示すようにベクトル  $p_t$  で表す。式（3）におけるベクトル  $p_t$  の要素  $p_{t_i}$  は、第 1 露光条件における  $i$  番目の項目を表しており、第 2 露光条件の  $i$  番目の項目と同じである。例えば、図 6 に示す情報では、要素  $p_{t_1} \sim p_{t_4}$  が照明 NA、照明、露光画角（画角幅および画角高さ）にそれぞれ対応する。

30

## 【 0 0 2 8 】

## 【 数 2 】

$$p_k = (p_{k1}, p_{k2}, p_{k3} \cdots p_{kn}) \quad \cdots (2)$$

## 【 0 0 2 9 】

## 【 数 3 】

$$p_t = (p_{t1}, p_{t2}, p_{t3} \cdots p_{tm}) \quad \cdots (3)$$

40

## 【 0 0 3 0 】

次に、露光条件の変化に対する係数  $I_c$  の変化率から、式（4）に示すように敏感度  $c$  を求める。露光条件の変化に対する係数  $I_c$  の変化率は、事前に露光条件を変えて実測工程を複数回行い、その結果から得られる複数の係数  $I_c$  から求められうる。また、露光条件の変化に対する光学特性の変動率を熱構造解析などのシミュレーションによって求め、その結果から敏感度  $c$  を直接求めてもよい。

## 【 0 0 3 1 】

## 【数 4】

$$\mathbf{c} = \left( \frac{\partial I_c}{\partial p_1}, \frac{\partial I_c}{\partial p_2}, \frac{\partial I_c}{\partial p_3}, \dots, \frac{\partial I_c}{\partial p_n} \right) = (c_1, c_2, c_3, \dots, c_n) \quad \dots (4)$$

## 【0032】

敏感度  $\mathbf{c}$  は、例えば、図 6 に示す情報を用いて、複数の第 2 露光条件の各々とそれに対応する第 2 予測式の係数  $I_c$  との関係から、式 (6) に示すように最小二乗法などによって求めることもできる。式 (6) において、 $A$  行列の各要素  $p_{ki}$  は、 $k$  番目の第 2 露光条件における  $i$  番目の項目を表し、ベクトル  $\mathbf{b}$  は  $k$  番目の第 2 露光条件に対応する第 2 予測式の係数  $I_c$  を表している。また、敏感度  $\mathbf{c}$  には、係数  $I_c$  のオフセットに対応する敏感度  $c_0$  が追加されている。図 6 に示す情報における露光条件の各項目の値を式 (5) に適用すると、式 (6) に示すように敏感度  $\mathbf{c}$  を得ることができる。ここで、第 2 露光条件の数と露光条件の項目の数とが異なる場合、 $A$  行列は正則行列にならない。そのため、式 (5) に示すように、敏感度  $\mathbf{c}$  は、例えば特異値分解などによる疑似逆行列を用いて求められる。また、第 2 露光条件とそれに対応する第 2 予測式の係数  $I_c$  との関係から敏感度  $\mathbf{c}$  を求める場合、複数の第 2 露光条件の全てを用いる必要はない。線形近似を用いる場合、複数の第 2 露光条件から、第 1 露光条件に近い第 2 露光条件を抽出し、抽出した第 2 露光条件に基づいて敏感度  $\mathbf{c}$  を求めてもよい。

10

## 【0033】

20

## 【数 5】

$$A = \begin{pmatrix} 1 & p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ 1 & p_{21} & \ddots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & p_{ki} & \\ 1 & p_{m1} & \cdots & & p_{mn} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{c} = \begin{pmatrix} c_0 \\ \vdots \\ c_i \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix}, \quad \mathbf{b} = \begin{pmatrix} Ic_0 \\ \vdots \\ Ic_k \\ \vdots \\ Ic_m \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{c} = A^{-1} \mathbf{b} \quad \dots (5)$$

## 【0034】

30

## 【数 6】

$$\mathbf{c} = \begin{pmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -10.0 \\ 0.10 \\ 0.30 \\ 0.20 \\ 0.20 \end{pmatrix} \quad \dots (6)$$

## 【0035】

S 13 - 3 では、制御部 9 は、複数の第 2 露光条件の各々に対して、第 1 露光条件と第 2 露光条件との相関係数を求める。例えば、制御部 9 は、式 (7) に示すように、S 13 - 2 で求めた露光条件の項目ごとの敏感度に応じた重み付けを、第 1 露光条件と第 2 露光条件との項目ごとの差に対して行う。式 (7) によって得られたベクトル  $\mathbf{x}_k$  は、露光条件の各項目を座標軸とした空間における、第 1 露光条件の位置座標  $\mathbf{x}_t$  を原点としたときの第 2 露光条件の位置座標とみなすことができる。つまり、露光条件の項目の数が  $n$  個、および第 2 露光条件の数が  $m$  個であるとすると、 $n$  次元の空間内における各第 2 露光条件の位置座標が  $\mathbf{x}_1 \sim \mathbf{x}_m$  によってそれぞれ表される。

40

## 【0036】



## 【数 7】

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_k &= (x_{k1}, x_{k2}, x_{k3} \cdots x_{kn}) \\ &= (c_1(p_{k1} - p_{t1}), c_2(p_{k2} - p_{t2}), c_3(p_{k3} - p_{t3}) \cdots c_n(p_{kn} - p_{tn})) \quad \cdots (7) \end{aligned}$$

## 【0037】

そして、制御部 9 は、式 (7) により得られた各値の総和 (二乗和) から、式 (8) を用いて相関係数を求める。第 1 実施形態では、露光条件の各項目を座標軸とした空間における第 1 露光条件と第 2 露光条件との距離  $d_k$  が、第 1 露光条件と第 2 露光条件との相関係数として用いられうる。図 6 に示す情報における露光条件の各項目の値を式 (8) に適用すると、式 (9) に示すように、各第 2 露光条件についての距離  $d_k$  を得ることができる。図 7 は、第 1 露光条件 (位置座標  $x_t$ ) と第 2 露光条件 (位置座標  $x_k$ ) との距離  $d_k$  を説明するための概念図である。このように第 1 露光条件と第 2 露光条件との距離  $d_k$  を相関係数として用いる場合、距離  $d_k$  が小さいほど第 1 露光条件と第 2 露光条件との相関性が高いとみなすことができる。

10

## 【0038】

## 【数 8】

$$d_k = \|\mathbf{x}_k\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (c_i(p_{ki} - p_{ti}))^2} \quad \cdots (8)$$

20

## 【0039】

## 【数 9】

$$\begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \\ d_5 \\ d_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.80 \\ 1.02 \\ 0.41 \\ 1.17 \\ 1.00 \\ 0.64 \end{pmatrix} \quad \cdots (9)$$

30

## 【0040】

S 13 - 4 では、制御部 9 は、複数の第 2 露光条件のうち、距離  $d_k$  が最も小さい第 2 露光条件、即ち、相関係数が最も高い第 2 露光条件を選択する。例えば、図 6 に示す情報においては、図 7 に示すように、複数の第 2 露光条件 (条件 1 ~ 6 ( $x_1 \sim x_6$ ))) にそれぞれ対応する距離  $d_1 \sim d_6$  のうち、3 番目の第 2 露光条件 (条件 3 ( $x_3$ ))) に対応する距離  $d_3$  が最も小さい。そのため、制御部 9 は、第 1 露光条件に対する相関係数が最も高い第 2 露光条件として、3 番目の第 2 露光条件を選択する。

## 【0041】

S 13 - 5 では、制御部 9 は、S 13 - 4 で選択された第 2 露光条件と第 1 露光条件との相関係数 (距離  $d_k$ ) が許容範囲 R にあるか否かを判定する。当該相関係数が許容範囲内にある場合は S 13 - 6 に進み、S 13 - 6 において第 1 予測式の決定に実測工程が不要であると制御部 9 によって判断された後、S 13 - 7 に進む。一方で、当該相関係数が許容範囲内にない場合では S 13 - 8 に進み、S 13 - 8 において第 1 予測式の決定に実測工程が必要であると制御部 9 によって判断された後、図 2 の S 14 に進む。

40

## 【0042】

S 13 - 7 では、制御部 9 は、第 1 露光条件での基板 4 の露光中における投影光学系の光学特性の変動を実測せずに、S 13 - 4 で選択された第 2 露光条件に対応する第 2 予測式に基づいて第 1 予測式を決定する。例えば、制御部 9 は、S 13 - 4 で選択された第 2 露光条件と第 1 露光条件との差、および当該第 2 露光条件に対応する第 2 予測式に基づいて第 1 予測式を決定しうる。具体的には、制御部 9 は、S 13 - 4 で選択された第 2 露光

50

条件と第 1 露光条件との差、および当該第 2 露光条件に対応する第 2 予測式の係数  $Ic_k$  に基づいて、式 (10) を用いて第 1 予測式の係数  $Ic_t$  を求めうる。式 (10) における「 $k$ 」は、S 13 - 4 で選択された第 2 露光条件の番号である。

【0043】

【数 10】

$$Ic_t = Ic_k + \mathbf{c} \cdot (\mathbf{p}_k - \mathbf{p}_t)^T = Ic_k + \sum_{i=1}^n c_i (p_{ki} - p_{ti}) \quad \cdots (10)$$

【0044】

図 6 に示す情報では、3 番目の第 2 露光条件 (条件 3) が第 1 露光条件に対する相関係数が最も高いため、制御部 9 は、3 番目の第 2 露光条件に対応する第 2 予測式の係数  $Ic_k$  ( $k=3$ ) を式 (10) に代入して第 1 予測式の係数  $Ic_t$  を求める。このように第 1 予測式の係数  $Ic_t$  を求めることより第 1 予測式を決定することができる。制御部 9 は、第 1 予測式を決定した後、図 2 の S 17 に進み、決定した第 1 予測式を用いて露光処理を開始する。ここで、第 1 実施形態では、S 13 - 7 の工程において、S 13 - 4 で選択された第 2 露光条件に対応する第 2 予測式の係数  $Ic_k$  を式 (10) に代入することにより第 1 予測式の係数  $Ic_t$  を求めて、第 1 予測式を決定したが、それに限られるものではない。例えば、S 13 - 4 で選択された第 2 露光条件に対応する第 2 予測式を第 1 予測式としてそのまま適用してもよい。

【0045】

ここで、第 1 露光条件と第 2 露光条件との項目ごとの差 ( $p_k - p_t$ ) から第 1 予測式の係数  $Ic_t$  を求める方法として、式 (10) に示すように、一次の係数としての敏感度  $c$  を当該差に乘じた値を用いることは、あくまでも一例である。例えば、第 1 予測式の係数  $Ic_t$  が、露光条件の各項目に対して非線形に変化する場合には、2 次以上の非線形成分の係数を用いてもよい。

【0046】

また、第 1 予測式の決定に実測工程が必要であると制御部 9 によって判断された場合 (S 13 - 8) において、S 13 - 4 で選択された第 2 露光条件と第 1 露光条件との相関係数に応じて実測工程の内容を変更してもよい。例えば、S 13 - 4 で選択された第 2 露光条件と第 1 露光条件との相関係数がある程度高ければ、当該第 2 露光条件での光学特性の変動を実測した結果から、第 1 露光条件での光学特性の変動傾向を予測することができる。そのため、第 1 露光条件での光学特性の変動についてのオフセット量を求めることができる程度に、当該相関係数に応じて実測時間を短くするなど、実測工程の内容を変更してもよい。

【0047】

上述したように、第 1 実施形態の露光装置 10 は、第 1 露光条件と第 2 露光条件との相関係数を求める。そして、当該相関係数が許容範囲内にある場合は、第 1 露光条件での光学特性の変動を予測するための第 1 予測式を、第 1 露光条件での実測工程を行わずに、第 2 露光条件に対応する第 2 予測式に基づいて決定する。即ち、相関係数が許容範囲内にある場合は、第 1 露光条件での実測工程を省略し、第 1 露光条件に対応する第 1 予測式の決定を簡略化することができる。

【0048】

ここで、実測工程が必要か否かを判断する工程を開始するタイミングは、ユーザが露光条件を変更した直後に限定されるものではない。例えば、当該工程は、露光条件が変更されたときに制御部 9 によって自動で開始してもよいし、コマンドなどを用いてユーザが任意のタイミングで当該工程を開始させてもよい。また、実測工程が必要か否かを判断する際、制御部 9 は、第 1 露光条件と第 2 露光条件との相関係数を、ディスプレイなどの表示部に表示させてもよい。また、第 1 露光条件に対する相関係数が最も高い第 2 露光条件を当該表示部に表示させてもよい。

【0049】

10

20

30

40

50

さらに、図 6 に示す情報は、露光条件の項目と、その露光条件に対応する予測式の係数  $I_c$  を示した一例に過ぎない。当該情報は、例えば、各項目のベクトル、各項目のマップ表示、もしくは関数近似したものであってもよい。また、図 6 に示す情報が保存されるときは、レシピだけではなく、ファイル（ログを含む）やデータベースであってもよい。また、情報の保存先は、露光装置 10 の制御部 9 に限られず、露光装置 10 の外部コンピュータなどであってもよい。また、図 6 に示す情報は、単一の露光装置 10 から得られていなくてもよい。例えば、同一の工場内に設定された複数の露光装置 10 から、露光条件の情報をサーバ上に移動させておき、その情報を複数の露光装置間で共有化してもよい。

【 0 0 5 0 】

10

< 第 2 実施形態 >

第 1 実施形態では、露光条件の変化に対する係数  $I_c$  の変化率から敏感度  $c$  を求める例について説明した。しかしながら、投影光学系 3 の光学特性を予測するための予測式には、補正パラメータとして、1 つの係数  $I_c$  だけではなく、複数の係数が含まれることがある。この場合、当該複数の係数の各々における変化率から敏感度  $c$  を求め、求めた敏感度  $c$  から第 1 露光条件と第 2 露光条件との相関係数を求めることが好ましい。例えば、予測式に、複数の係数  $I_{c_1}, I_{c_2} \cdots I_{c_j}$  が含まれる場合を想定する。この場合、 $j$  番目の係数  $I_{c_j}$  に対する敏感度  $c_j$  は式 (11) によって表され、 $j$  番目の係数  $I_{c_j}$  に対する距離  $d_{jk}$  は式 (12) によって表される。

【 0 0 5 1 】

20

【数 1 1】

$$c_j = \left( \frac{\partial I_{c_j}}{\partial p_1}, \frac{\partial I_{c_j}}{\partial p_2}, \frac{\partial I_{c_j}}{\partial p_3} \cdots \frac{\partial I_{c_j}}{\partial p_n} \right) = (c_{j1}, c_{j2}, c_{j3} \cdots c_{jn}) \quad \cdots (11)$$

【 0 0 5 2 】

【数 1 2】

$$d_{jk} = \|\mathbf{x}_{jk}\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n (c_{ji}(p_{ki} - p_{ti}))^2} \quad \cdots (12)$$

30

【 0 0 5 3 】

そして、1 ~  $j$  番目の係数に対する距離  $d_{jk}$  の合計値  $d_k$  が式 (13) によって求められ、その合計値  $d_k$  が、第 1 露光条件と第 2 露光条件との相関係数として用いられる。このように合計値  $d_k$  を相関係数として用いる場合、合計値  $d_k$  が小さいほど第 1 露光条件と第 2 露光条件との相関性が高いとみなすことができる。

【 0 0 5 4 】

【数 1 3】

$$d_k = \sum_j d_{jk} \quad \cdots (13)$$

40

【 0 0 5 5 】

< 物品の製造方法の実施形態 >

本発明の実施形態に係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、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。本実施形態の物品の製造方法は、従来の方法に比べて、物品の性能・品質・生産

50

性・生産コストの少なくとも１つにおいて有利である。

【 0 0 5 6 】

< その他の実施形態 >

また、本発明は、以下の処理を実行することによっても実現される。即ち、上述した実施形態の機能を実現するソフトウェア（プログラム）を、ネットワーク又は各種記憶媒体を介してシステム或いは装置に供給し、そのシステム或いは装置のコンピュータ（またはＣＰＵやＭＰＵ等）がプログラムを読み出して実行する処理である。

【 0 0 5 7 】

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。

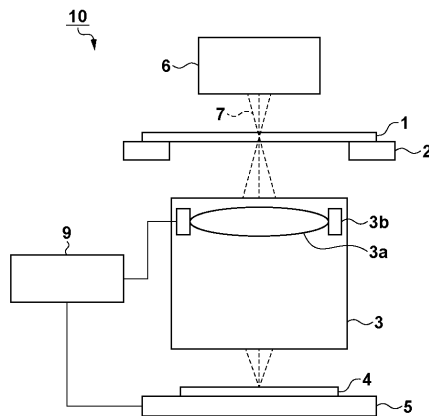
10

【 符号の説明 】

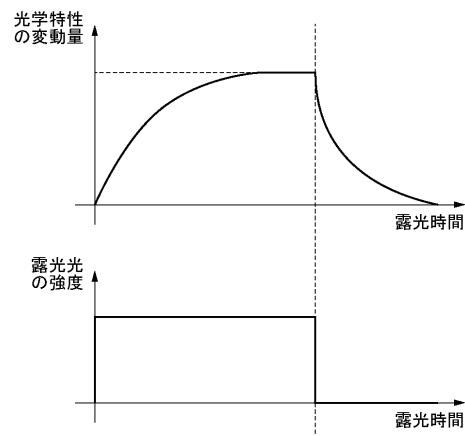
【 0 0 5 8 】

１：原版、２：原版ステージ、３：投影光学系、３ａ：光学素子、３ｂ：駆動部、４：基板、５：基板ステージ、６：照明光学系、７：露光光、９：制御部、１０：露光装置

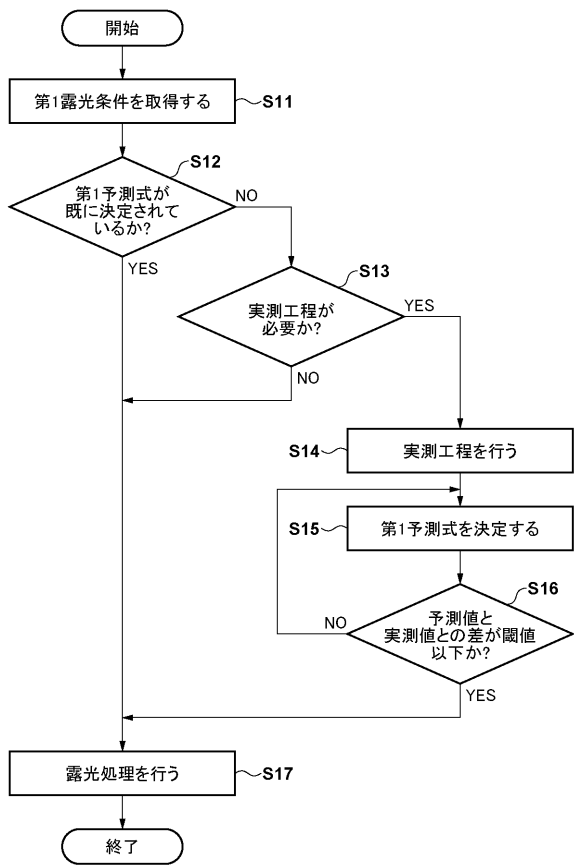
【 図 １ 】



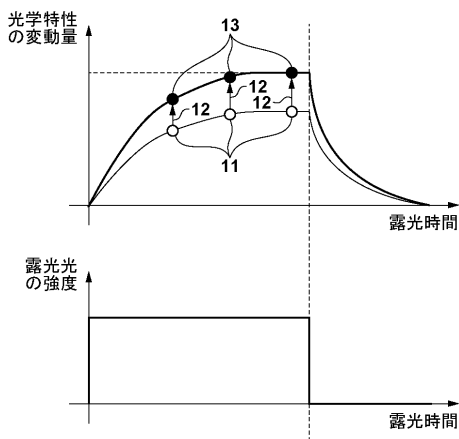
【 図 ２ 】



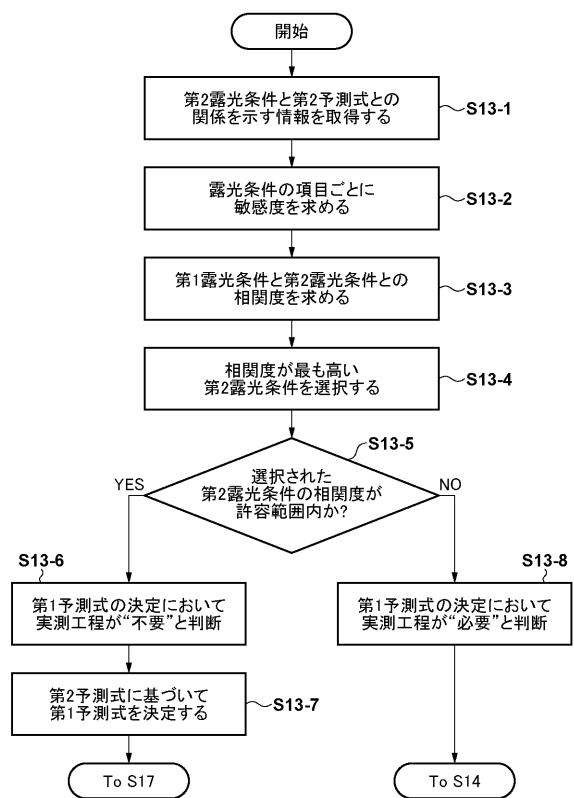
【図 3】



【図 4】



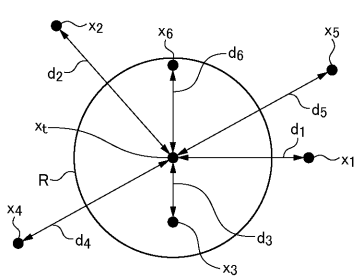
【図 5】



【図 6】

		照明NA	照明σ	画角幅 [mm]	画角高さ [mm]	Ic
第1露光条件		0.6	0.5	20	30	?
第2露光条件	条件1	0.6	0.7	24	30	1.07
	条件2	0.5	0.6	25	29	1.03
	条件3	0.4	0.7	20	28	-0.15
	条件4	0.5	0.5	23	25	-0.20
	条件5	0.6	0.7	24	27	0.47
	条件6	0.5	0.3	23	29	0.54

【図 7】



---

フロントページの続き

(72)発明者 荒原 幸士郎  
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 佐野 浩樹

(56)参考文献 特開2014-007262(JP,A)  
特開2015-037124(JP,A)  
特開2001-160533(JP,A)  
特開平11-317354(JP,A)  
特開2009-218366(JP,A)  
米国特許第06297877(US,B1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G03F 7/20 - 7/24 、 9/00 - 9/02 、  
H01L21/027、21/30