

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-111311

(P2017-111311A)

(43) 公開日 平成29年6月22日(2017.6.22)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)	
G03F	7/207	(2006.01)	G03F	7/207		H	2H195
G03F	7/20	(2006.01)	G03F	7/20	521		2H197
G03F	1/26	(2012.01)	G03F	1/26			

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2015-245648 (P2015-245648)	(71) 出願人	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
(22) 出願日	平成27年12月16日(2015.12.16)	(74) 代理人	100076428 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

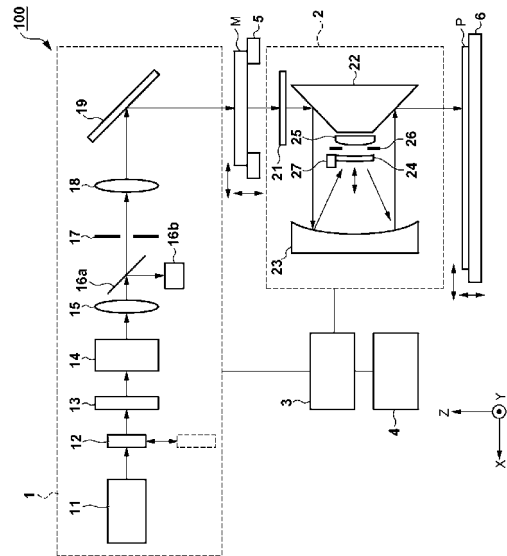
(54) 【発明の名称】 露光装置、露光方法、および物品の製造方法

(57) 【要約】

【課題】位相シフトマスクを用いて基板を露光する際の解像性能および焦点深度の点で有利な技術を提供する。

【解決手段】透過光の位相を互いに異ならせる第1領域および第2領域を含む位相シフトマスクを用いて基板を露光する露光装置は、前記位相シフトマスクを照明する光の照明波長を変更する第1変更部と、前記位相シフトマスクのパターン像を前記基板に投影する投影光学系と、前記投影光学系の球面収差を変更する第2変更部と、前記第1変更部により前記照明波長を基準波長と異なる波長に変更することで生じる焦点深度の変化が補正されるように、前記基準波長および変更後の前記照明波長に基づいて前記第2変更部による前記球面収差の変更を制御する制御部と、を含み、前記基準波長は、前記第1領域の透過光と前記第2領域の透過光との位相差が180度になるときの波長である。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

透過光の位相を互いに異ならせる第 1 領域および第 2 領域を含む位相シフトマスクを用いて基板を露光する露光装置であって、

前記位相シフトマスクを照明する光の照明波長を変更する第 1 変更部と、

前記位相シフトマスクのパターン像を前記基板に投影する投影光学系と、

前記投影光学系の球面収差を変更する第 2 変更部と、

前記第 1 変更部により前記照明波長を基準波長と異なる波長に変更することで生じる焦点深度の変化が補正されるように、前記基準波長および変更後の前記照明波長に基づいて前記第 2 変更部による前記球面収差の変更を制御する制御部と、

を含み、

前記基準波長は、前記第 1 領域の透過光と前記第 2 領域の透過光との位相差が 180 度になるときの波長である、ことを特徴とする露光装置。

**【請求項 2】**

前記制御部は、前記第 1 変更部により前記照明波長を 30 nm 以上変更することで生じる焦点深度の変化が補正されるように前記第 2 変更部による前記球面収差の変更を制御する、ことを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置。

**【請求項 3】**

複数の輝線スペクトルを含むブロード光を射出する光源を更に含み、

前記第 1 変更部は、前記光源から射出された前記ブロード光の波長帯域を狭めることにより前記照明波長を変更する、ことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の露光装置。

**【請求項 4】**

前記制御部は、前記基準波長と変更後の前記照明波長との差に対する前記投影光学系の球面収差の変更量を示す情報に基づいて前記第 2 変更部を制御する、ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のうちいずれか 1 項に記載の露光装置。

**【請求項 5】**

前記制御部は、前記照明波長を互いに異なる複数の波長の各々に変更し、前記複数の波長の各々について焦点深度が最大となる前記投影光学系の球面収差を求めることにより前記情報を取得する、ことを特徴とする請求項 4 に記載の露光装置。

**【請求項 6】**

前記第 2 変更部は、前記投影光学系における光路上に配置された光学素子を移動させることにより前記投影光学系の球面収差を変更する、ことを特徴とする請求項 1 乃至 5 のうちいずれか 1 項に記載の露光装置。

**【請求項 7】**

前記第 2 変更部は、前記投影光学系における光路上に配置された光学素子を交換することにより前記投影光学系の球面収差を変更する、ことを特徴とする請求項 1 乃至 5 のうちいずれか 1 項に記載の露光装置。

**【請求項 8】**

前記投影光学系は、凹面鏡および凸面鏡を含み、

前記光学素子は、前記凹面鏡と前記凸面鏡との間の光路上に配置されたメニスカスレンズを含む、ことを特徴とする請求項 6 又は 7 に記載の露光装置。

**【請求項 9】**

デフォーカス量を変更する第 3 変更部を更に含み、

前記制御部は、前記第 2 変更部を制御した後のデフォーカス量が補正されるように第 3 制御部を制御する、ことを特徴とする請求項 1 乃至 8 のうちいずれか 1 項に記載の露光装置。

**【請求項 10】**

請求項 1 乃至 9 のうちいずれか 1 項に記載の露光装置を用いて基板を露光する工程と、

前記工程で露光を行われた前記基板を現像する工程と、

を含むことを特徴とする物品の製造方法。

10

20

30

40

50

**【請求項 1 1】**

透過光の位相が互いに異なる第 1 領域および第 2 領域を含む位相シフトマスクと、前記位相シフトマスクのパターン像を基板に投影する投影光学系とを用いて前記基板を露光する露光方法であって、

前記位相シフトマスクを照明する光の照明波長を、前記第 1 領域の透過光と前記第 2 領域の透過光との位相差が 180 度になるときの基準波長と異なる波長に変更する工程と、前記照明波長を変更したことで生じる焦点深度の変化が補正されるように、前記基準波長および前記照明波長に基づいて、前記投影光学系の球面収差を変更する工程と、を含むことを特徴とする露光方法。

**【発明の詳細な説明】**

10

**【技術分野】****【0001】**

本発明は、露光装置、露光方法、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）においてマスクのパターンを基板に転写するために用いられる露光装置には、回路パターンの微細化や高集積化に伴い、解像性能の向上が求められている。解像性能を向上させる 1 つの方法としては、透過光の位相を 180 度異ならせる第 1 領域および第 2 領域が設けられた位相シフトマスクを用いる位相シフト法が知られている。

20

**【0003】**

位相シフト法では、位相シフトマスクの製造誤差などにより第 1 領域の透過光と第 2 領域の透過光との位相差が 180 度からずれると、焦点深度が変化しうる。特許文献 1 には、位相シフトマスクにおける第 1 領域の透過光と第 2 領域の透過光との位相差を測定した結果に基づいて、当該位相差が 180 度からずれることによって生じる焦点深度の変化を補正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】特開平 10 - 232483 号公報

30

**【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0005】**

露光装置における解像性能を更に向上させるためには、位相シフトマスクを照明する照明光の波長（即ち、露光波長）を短くすることが好ましい。しかしながら、照明光の波長を、第 1 領域の透過光と第 2 領域の透過光との位相差が 180 度になる基準波長からずらすと、照明光の波長と基準波長とのずれに応じて焦点深度が変化しうる。特許文献 1 に記載された方法では、第 1 領域の透過光と第 2 領域の透過光との位相差の測定結果に基づいて焦点深度を補正しているため、照明光の波長を変更した後に当該位相差を測定する必要があり、焦点深度を補正する工程が煩雑になりうる。

40

**【0006】**

そこで、本発明は、位相シフトマスクを用いて基板を露光する際の解像性能および焦点深度の点で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露光装置は、透過光の位相を互いに異ならせる第 1 領域および第 2 領域を含む位相シフトマスクを用いて基板を露光する露光装置であって、前記位相シフトマスクを照明する光の照明波長を変更する第 1 変更部と、前記位相シフトマスクのパターン像を前記基板に投影する投影光学系と、前記投影光学系の球面収差を変更する第 2 変更部と、前記第 1 変更部により前記照明波長を基準波長と

50

異なる波長に変更することで生じる焦点深度の変化が補正されるように、前記基準波長および変更後の前記照明波長に基づいて前記第2変更部による前記球面収差の変更を制御する制御部と、を含み、前記基準波長は、前記第1領域の透過光と前記第2領域の透過光との位相差が180度になるときの波長である、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、位相シフトマスクを用いて基板を露光する際の解像性能および焦点深度の点で有利な技術を提供することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】露光装置の構成を示す概略図である。

【図2】位相シフトマスクを用いてフォーカス特性のリソグラフィ・シミュレーションを行った結果を示す図である。

【図3】焦点深度の定義を説明するための図である。

【図4】位相シフトマスクを用いてフォーカス特性のリソグラフィ・シミュレーションを行った結果を示す図である。

20

【図5】光学素子の駆動量と投影光学系に発生する球面収差との関係を示す図である。

【図6】変更量情報を取得する方法を示すフローチャートである。

【図7】投影光学系の球面収差を変更した複数の条件の各々についてのフォーカス特性を示す図である。

【図8】投影光学系の球面収差を変更した複数の条件の各々についてのフォーカス特性を示す図である。

【図9】変更量情報の一例を示す図である。

【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する。

30

【0012】

< 第1実施形態 >

本発明に係る第1実施形態の露光装置100について説明する。第1実施形態の露光装置100は、解像性能（解像力）を向上させるため、透過光を互いに異ならせる第1領域および第2領域を含む位相シフトマスクMを用いて、例えば単結晶シリコン基板やガラス基板などの基板Pを露光する。位相シフトマスクMには幾つかの種類があり、中でもハーフトーン型位相シフトマスクは、利便性が高く、半導体製造の分野において最も一般的に使用されている。ハーフトーン型位相シフトマスクは、光を透過する第1領域（透過領域）と、光の透過率が第1領域より小さい第2領域（部分透過領域）とを含み、ある基準波長において第1領域の透過光と第2領域の透過光との位相差が180度になるように設計されている。第2領域には、パイナリマスクという遮光膜の代わりに、光の透過率が例えば3%～20%である部分透過膜が設けられており、部分透過膜の材料としては、例えば、酸化窒化クロム、酸化窒化モリブデンシリサイドなどが用いられる。このように構成されたハーフトーン型位相シフトマスクを用いると、基板Pに投影されたパターン像のエッジが強調されるため、解像性能を向上させることができる。

40

【0013】

次に、第1実施形態の露光装置100の構成について、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100の構成を示す概略図である。露光装置100は、例えば、位相シフトマスクMを照明する照明光学系1と、位相シフトマスクMのパターン

50

像を基板 P に投影する投影光学系 2 と、制御部 3 と、コンソール部 4 とを含みうる。制御部 3 は、例えば CPU やメモリを含み、露光装置 100 の各部を制御する（基板 P を露光する露光処理を制御する）。コンソール 40 は、オペレータが露光装置 100 を操作するためのユニットである。また、露光装置 100 は、位相シフトマスク M を保持して移動可能なマスクステージ 5 と、基板 P を保持して移動可能な基板ステージ 6 とを含みうる。

#### 【0014】

照明光学系 1 は、例えば、光源 11、波長フィルタ 12、ND フィルタ 13、オプティカル・インテグレータ 14、コンデンサレンズ 15、ビームスプリッタ 16a、検出器 16b、マスキングブレード 17、レンズ 18、およびミラー 19 を含みうる。光源 11 は、例えば、g 線、h 線および i 線などの複数の輝線スペクトルを含むブロード光（重心波長 400 nm）を射出する超高圧水銀ランプなどが用いられうる。波長フィルタ 12 は、所定の範囲内の波長の光を透過し、当該範囲外の波長の光を遮断するように、即ち、光源 11 から射出されたブロード光の波長帯域を狭めるように構成される。照明光学系 1 には、透過する光の波長の範囲が互いに異なる複数の波長フィルタ 12 が設けられうる。そして、複数の波長フィルタ 12 のうちの 1 つを光路上に配置することにより、位相シフトマスク M を照明する光の波長を変更することができる。即ち、波長フィルタ 12 は、照明波長を変更する第 1 変更部としての機能を有する。ここで、第 1 実施形態では、波長フィルタ 12 を第 1 変更部として用いているが、例えば、射出する光の波長を変更可能に構成された光源 11 を第 1 変更部として用いてもよい。また、以下では、位相シフトマスク M を照明する光の波長を「照明波長」と呼ぶ。

10

20

#### 【0015】

ND フィルタ 13 は、波長フィルタ 12 を透過した光の強度を調整するために用いられる。オプティカル・インテグレータ 14 は、位相シフトマスク M に照明される光の強度分布を均一化するための光学系である。オプティカル・インテグレータ 14 を透過した光は、コンデンサレンズ 15 で集光されてビームスプリッタ 16a に入射する。ビームスプリッタ 16a に入射した光の一部は、ビームスプリッタ 16a で反射されて検出器 16b に入射する。検出器 16b は、入射した光の強度および波長を検出するように構成される。これにより、制御部 3 は、検出器 16b による検出結果に基づいて、コンデンサレンズ 15 を透過した光の強度および波長が所望の値になるように、光源 11 および波長フィルタ 12 を制御することができる。一方、ビームスプリッタ 16a を透過した光は、マスキングブレード 17、レンズ 18 およびミラー 19 を介して、位相シフトマスク M に入射する。マスキングブレード 17 には、位相シフトマスク M を照明する範囲を規定するための開口が形成されており、当該開口の像がレンズ 18 によって位相シフトマスク M 上に結像される。

30

#### 【0016】

投影光学系 2 は、例えば、補正光学素子 21、台形鏡 22、凹面鏡 23、光学素子 24、凸面鏡 25、および NA 絞り 26 を含みうる。位相シフトマスク M を通過した光は、補正光学素子 21 に入射する。補正光学素子 21 は、例えば平行平板を含み、当該平行平板を光軸に対して傾けることにより、コマ収差や非点収差、歪曲収差の補正を行うことができる。補正光学素子 21 を透過した光は、台形鏡 22 の面 22a、および凹面鏡 23 の面 23a で反射されて凸面鏡 25 に入射する。そして、凸面鏡 25 で反射された光は、凹面鏡 23 の面 23b、および台形鏡 22 の面 22b で反射されて基板 P に入射する。また、凹面鏡 23 と凸面鏡 25 との間（例えば、後述する光学素子 24 と凸面鏡 25 との間）には、投影光学系 2 の開口数（NA）を変化させるための NA 絞り 26 が配置される。NA 絞り 26 は、光を通過させる開口を有しており、当該開口の径を不図示の駆動機構で変化させることにより、投影光学系 2 の開口数（NA）を変化させることができる。

40

#### 【0017】

このように位相シフトマスク M を用いて基板 P を露光する露光装置 100 では、近年における回路パターンの微細化や高集積化に伴い、解像性能を更に向上させることが求められている。解像性能を更に向上させる方法の 1 つとしては、例えばブロード光の波長帯域

50

を狭めることなどにより、照明波長を変更する（短くする）方法がある。しかしながら、照明波長を変更すると、照明波長が、第1領域の透過光と第2領域の透過光との位相差が180度になる基準波長からずれるため、照明波長と基準波長とのずれに応じてフォーカス特性が傾き、焦点深度が低下しうる。この現象について、図2を参照しながら説明する。

#### 【0018】

図2は、 $2.0\ \mu\text{m}$ のホールパターンが形成された位相シフトマスクMを用いてフォーカス特性のリソグラフィ・シミュレーションを行った結果を示す図である。図2に示すグラフはフォーカス特性を示しており、横軸はデフォーカス量、および縦軸は解像性能としてのCD値（解像線幅）である。また、図2の実線31は、位相シフトマスクMの基準波長をh線波長（ $405\ \text{nm}$ ）とし、g線、h線およびi線などの複数の輝線スペクトルを含むブロード光（重心波長 $400\ \text{nm}$ ）で当該位相シフトマスクMを照明したときの結果を示している。図2の破線32は、位相シフトマスクMの基準波長をh線波長とし、i線（ $365\ \text{nm}$ ）で当該位相シフトマスクMを照明したときの結果を示している。図2の一点鎖線33は、位相シフトマスクMの基準波長をi線波長とし、i線で当該位相シフトマスクMを照明したときの結果を示している。

10

#### 【0019】

まず、本実施形態における焦点深度の定義について、図3を参照しながら説明する。本実施形態では、フォーカス特性におけるCD値のピーク値（最大値または最小値）を決定し、当該ピーク値に目標CD値の10%を足した第1値と、当該ピーク値に目標CD値の10%を引いた第2値とを求める。そして、当該フォーカス特性のCD値が第1値と第2値との間に収まるデフォーカス量の範囲を、焦点深度としている。

20

#### 【0020】

次に、図2の実線31および破線32を参照して、基準波長がh線波長（ $405\ \text{nm}$ ）である位相シフトマスクMを、 $400\ \text{nm}$ の照明波長の光で照明する場合と、 $365\ \text{nm}$ の照明波長の光（i線）で照明する場合とを比較する。実線31と破線32とを比較すると、基準波長と照明波長が実質的に同じである実線31では焦点深度が $41\ \mu\text{m}$ であるに対し、照明波長をi線にした破線32では、フォーカス特性が急峻な特性になり、焦点深度が $32\ \mu\text{m}$ と狭くなっていることが分かる。これは、解像性能を向上させるために照明波長を変更すると、照明波長と基準波長とのずれに応じて焦点深度が低下することを示している。

30

#### 【0021】

一方、図2の一点鎖線33に示すように、 $365\ \text{nm}$ の照明波長の光（i線）で位相シフトマスクMを照明することに合わせて、基準波長がi線波長である位相シフトマスクMを用いると、焦点深度を $36\ \mu\text{m}$ まで改善することができる。しかしながら、これは、変更後の照明波長を基準波長として有する位相シフトマスクMを新たに準備する必要があることを示している。つまり、従来の露光装置において照明波長を例えば $30\ \text{nm}$ 以上変更することによって解像性能を向上させるためには、変更後の照明波長に応じて位相シフトマスクMを新たに作製し直す必要があった。

#### 【0022】

そこで、第1実施形態の露光装置100は、投影光学系2の球面収差を変更すると焦点深度が変化することを利用して、基準波長と異なる波長に照明波長を変更することで生じる焦点深度の変化を補正する。つまり、露光装置100は、投影光学系2の球面収差を変更する第2変更部を有し、基準波長と異なる波長に照明波長を変更することで生じる焦点深度の変化が補正されるように、基準波長および変更後の照明波長に基づいて第2変更部を制御する。第2変更部は、投影光学系2の光路上（例えば凹面鏡23と凸面鏡25との間の光路上）に配置された光学素子24と、光学素子24を駆動する駆動部27とを含みうる。光学素子24は、例えば、メニスカスレンズを含み、凹面鏡23と凸面鏡25との間で、凹面鏡23からの距離と凸面鏡25からの距離との比率が変わる方向（図1におけるX方向）に駆動部27によって駆動される。このように光学素子24を駆動することに

40

50

より、投影光学系 2 の球面収差を変更することができる。

【 0 0 2 3 】

図 4 は、 $2.0 \mu\text{m}$  のホールパターンが形成された位相シフトマスク M を用いてフォーカス特性のリソグラフィ・シミュレーションを行った結果を示す図である。図 4 に示すグラフはフォーカス特性を示しており、横軸はデフォーカス量、および縦軸は解像性能としての CD 値（解像線幅）である。図 4 の実線 4 1 は、位相シフトマスク M の基準波長を h 線波長（ $405 \text{ nm}$ ）とし、g 線、h 線および i 線などの複数の輝線スペクトルを含むプロード光（重心波長  $400 \text{ nm}$ ）で当該位相シフトマスク M を照明したときの結果を示している。図 4 の破線 4 2 は、位相シフトマスク M の基準波長を h 線波長とし、i 線（ $365 \text{ nm}$ ）で当該位相シフトマスク M を照明したときの結果を示している。図 4 の実線 4 1 および破線 4 2 は、図 2 の実線 3 1 および破線 3 2 にそれぞれ対応し、 $4.1 \mu\text{m}$  および  $3.2 \mu\text{m}$  の焦点深度をそれぞれ有する。

10

【 0 0 2 4 】

また、図 4 の二点鎖線 4 3 は、破線 4 2 の条件に対して、投影光学系 2 の球面収差を変更したときの結果を示している。具体的には、図 4 の二点鎖線 4 3 は、破線 4 2 が得られたときの投影光学系 2 の球面収差に  $+0.1$  の球面収差が更に付加されるように、駆動部 2 7 により光学素子 2 4 を駆動したときの結果を示している。このように投影光学系 2 の球面収差を変更することにより、基準波長と照明波長とを互いに異ならせた条件であっても、基準波長と照明波長とが実質的に同じである実線 4 1 にフォーカス特性を近づけることができる。即ち、照明波長を変更することにより変化した焦点深度を、基準波長と照明波長とが実質的に同じであるときの焦点深度に近づくように補正することができる。

20

【 0 0 2 5 】

ここで、露光装置 1 0 0（制御部 3）は、基準波長と変更後の照明波長との波長差に対する投影光学系 2 の球面収差の変更量を示す情報（以下、変更量情報）に基づいて、第 2 変更部を制御するとよい。例えば、制御部 3 は、駆動部 2 7 による光学素子 2 4 の駆動量と、当該駆動量のときに投影光学系 2 に発生する球面収差との関係を予め求めておく。当該関係は、例えば図 5 に示すように、比例関係になりうる。図 5 は、光学素子 2 4 の駆動量と投影光学系 2 に発生する球面収差との関係を示す図であり、図 5 の横軸では、光学素子 2 4 を基準位置（駆動量 = 0）から凹面鏡 2 3 に向かって駆動させる方向（図 1 における +X 方向）を正方向としている。そして、制御部 3 は、当該関係および変更量情報に基づいて、照明波長を変更することで生じる焦点深度の変化を補正するための光学素子 2 4 の駆動量を求め、求めた駆動量に従って駆動部 2 7 を制御する。

30

【 0 0 2 6 】

以下に、変更量情報を求める方法について説明する。変更量情報は、例えば、互いに異なる複数の波長の各々に照明波長を変更し、当該複数の波長の各々について焦点深度が最大となる投影光学系の球面収差を取得することにより求められうる。変更量情報を求める方法の具体的な工程について、図 6 を参照しながら説明する。図 6 は、変更量情報を取得する方法を示すフローチャートである。図 6 に示すフローチャートの各工程は、制御部 3 によって実行されうるが、露光装置 1 0 0 の外部におけるコンピュータなどを用いて実行されてもよい。また、以下では、 $2.0 \mu\text{m}$  のホールパターンが形成された位相シフトマスク M を用いて変更量情報を求める例について説明し、以下の説明における定義を次の 1）、2）に示す。

40

1) 光学素子 2 4 が基準位置にあるときの投影光学系 2 の球面収差を基準球面収差（ $\pm 0 \text{ m}$ ）とする。

2) 投影光学系 2 の球面収差を基準球面収差（ $\pm 0 \text{ m}$ ）としたときのベストフォーカス位置を「デフォーカス量 =  $0 \mu\text{m}$ 」とする。

【 0 0 2 7 】

S 1 1 では、制御部 3 は、駆動部 2 7 で光学素子 2 4 を移動させることにより投影光学系 2 の球面収差を変更した複数の条件の各々について、フォーカス特性（デフォーカス量と解像性能（CD 値）との関係）を取得する。例えば、制御部 3 は、投影光学系 2 の球面

50

収差を変更した複数の条件の各々について、デフォーカス量を振ったときの解像性能（CD値）を取得することにより、各条件についてのフォーカス特性を、図7および図8のように得ることができる。

#### 【0028】

図7および図8は、当該複数の条件の各々におけるフォーカス特性をそれぞれ示す図である。図7は、デフォーカス量が $0\ \mu\text{m}$ のときのCD値が目標値（ $2.0\ \mu\text{m}$ ）になるように露光量を調整して、各条件についてのフォーカス特性を取得した結果である。また、図8は、各条件におけるCD値のピーク値が目標値（ $2.0\ \mu\text{m}$ ）になるように露光量を調整して、各条件についてのフォーカス特性を取得した結果である。ここでは、複数の条件の各々におけるフォーカス特性として図7および図8を例示したが、変更量情報を求めるためには図7および図8のいずれか一方に示すフォーカス特性が取得されればよい。また、図7および図8では、基準球面収差（ $\pm 0\ \text{m}$ ）に対する $\pm 200\ \text{m}$ の範囲内において、 $100\ \text{m}$ のピッチで投影光学系2の球面収差を変更したが、それに限られるものではなく、球面収差を変更する範囲およびピッチを任意に変更してもよい。

10

#### 【0029】

ここで、本実施形態では、解像性能としてCD値を用いているが、CD値の他に、コントラスト値やNILS値（Normalized Image Log-Slope）なども解像性能として用いてもよい。また、CD値の取得方法としては、例えば、位相シフトマスクMのパターン像を検出する検出部（例えばイメージセンサ）を基板ステージ6に備えておき、当該検出部によって得られた画像からCD値を取得する方法が用いられてもよい。また、位相シフトマスクMを用いて実際に基板Pを露光し、それにより基板Pに形成されたパターンの寸法を外部装置で計測した結果からCD値を取得する方法が用いられてもよい。

20

#### 【0030】

S12では、制御部3は、S11で求めたフォーカス特性から複数の条件の各々について焦点深度を求め、複数の条件の中から焦点深度が最大となる条件（投影光学系2の球面収差の変更量）を選択する。ここで、第1実施形態では、複数の条件の中から焦点深度が最大となる条件を選択したが、それに限られるものではない。例えば、制御部3は、複数の条件の中から、照明波長と基準波長が同じであり且つデフォーカス量が $0\ \mu\text{m}$ のときの焦点深度に最も近い焦点深度を有する条件を選択してもよい。また、制御部3は、複数の条件の中から、フォーカス特性のピーク位置における傾きが最も平坦となる条件を選択してもよい。

30

#### 【0031】

S13では、制御部3は、照明波長を変更してS11～S12の工程を繰り返すか否かを判断する。例えば、制御部3は、照明波長を変化させる範囲およびピッチに関する情報に基づいて、照明波長を変更すべき複数の波長を決定する。そして、制御部3は、決定した全ての波長でS11～S12の工程を行った場合は当該工程を繰り返さないと判断し、S11～S12の工程を行っていない波長がある場合は当該工程を繰り返すと判断する。S11～S12の工程を繰り返すと判断された場合はS14に進み、S14で照明波長を変更した後、S11に進む。一方、S11～S12の工程を繰り返さないと判断された場合はS15に進む。S15に進む場合、制御部3は、焦点深度が最大となる球面収差の変更量を、決定された複数の波長の各々について取得していることとなる。

40

#### 【0032】

S15では、制御部3は、S14で決定された複数の波長の各々と位相シフトマスクMの基準波長との差を求め、当該差と焦点深度が最大となる球面収差の変更量との関係、変更量情報として決定する。図9は、S15で求められた変更量情報の一例を示す図である。変更量情報は、上述したように、基準波長と変更後の照明波長との波長差に対する投影光学系2の球面収差の変更量を示す情報であり、図9に示す例では、波長差は、変更後の照明波長から基準波長を引いた値として定義されうる。このように変更量情報を決定することにより、制御部3は、照明波長を変更した際、基準波長と変更後の照明波長との差、および図9に示す変更量情報に基づいて、投影光学系2の球面収差の変更量を求めるこ

50

とができる。そして、制御部 3 は、図 5 に示す光学素子 2 4 の駆動量と投影光学系 2 に発生する球面収差との関係に基づいて、求めた球面収差の変更量から光学素子 2 4 の駆動量を求めることができる。

#### 【0033】

上述したように、第 1 実施形態の露光装置 1 0 0 は、基準波長と異なる波長に照明波長を変更することで生じる焦点深度の変化が補正されるように、基準波長および変更後の照明波長に基づいて投影光学系 2 の球面収差を変更するように構成される。これにより、露光装置 1 0 0 は、位相シフトマスクを新たに作製することなく、露光装置 1 0 0 の解像性能が向上するように照明波長を変更することができる。

#### 【0034】

ここで、本実施形態では、光学素子 2 4 を移動させることにより投影光学系 2 の球面収差を変更したが、それに限られるものではない。例えば、投影光学系 2 の球面収差の変更量が互いに異なる複数の光学素子 2 4 を備えておき、光学素子 2 4 を交換することで投影光学系 2 の球面収差を変更してもよい。この場合、投影光学系 2 の球面収差を変更する第 2 変更部には、光学素子 2 4 を交換するための交換部が含まれうる。また、投影光学系 2 の球面収差を変更する方法としては、投影光学系 2 における光路上に透明な平板を配置する方法や、位相シフトマスク M と投影光学系 2 との距離を変更する方法などもある。さらに、本実施形態では、投影光学系 2 の例としてオフナー型の光学系を用いて説明したが、オフナー型以外の光学系も投影光学系 2 として用いることができる。

#### 【0035】

##### < 第 2 実施形態 >

露光装置 1 0 0 において、基準波長と異なる波長に照明波長を変更すると、図 2 に示すように、焦点深度に加えて、デフォーカス量も変化しうる。そして、照明波長の変更で生じる焦点深度の変化が補正されるように第 2 変更部を制御した後においても、デフォーカス量が許容範囲に収まらないことがありうる。そのため、露光装置 1 0 0 は、デフォーカス量を変化させる第 3 変更部を含み、第 2 変更部を制御した後のデフォーカス量が補正されるように第 3 変更部を制御するとよい。第 3 変更部としては、例えば、マスクステージ 5 および基板ステージ 6 の少なくとも一方が用いられうる。第 3 変更部としてマスクステージ 5 を用いる場合では、位相シフトマスク M と投影光学系 2 との距離を変える方向（例えば Z 方向）にマスクステージ 5 によって位相シフトマスク M を移動させることでデフォーカス量を変更することができる。また、第 3 変更部として基板ステージ 6 を用いる場合では、基板 P と投影光学系 2 との距離を変える方向（例えば Z 方向）に基板ステージ 6 によって基板 P を移動させることでデフォーカス量を変更することができる。ここで、例えば、マスクステージ 5 および基板ステージ 6 の少なくとも一方が第 2 変更部として用いられている場合には、光学素子 2 4 および駆動部 2 7 を第 3 変更部として用いてもよい。

#### 【0036】

##### < 物品の製造方法の実施形態 >

本発明の実施形態にかか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・生産性・生産コストの少なくとも 1 つにおいて有利である。

#### 【0037】

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。

#### 【符号の説明】

10

20

30

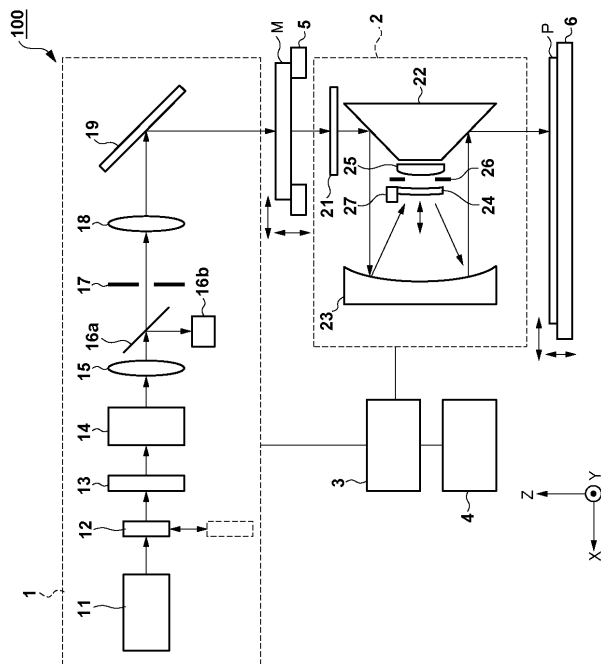
40

50

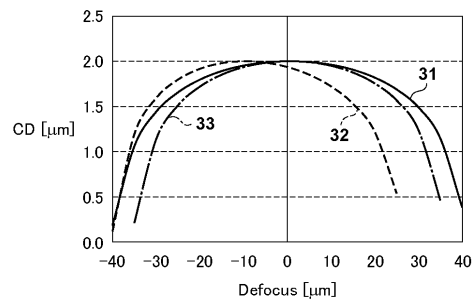
【 0 0 3 8 】

1 : 照明光学系、 2 : 投影光学系、 3 : 制御部、 4 : コンソール、 5 : マスクステージ、  
6 : 基板ステージ、 11 : 光源、 12 : 波長フィルタ、 24 : 光学素子、 27 : 駆動部、  
100 : 露光装置

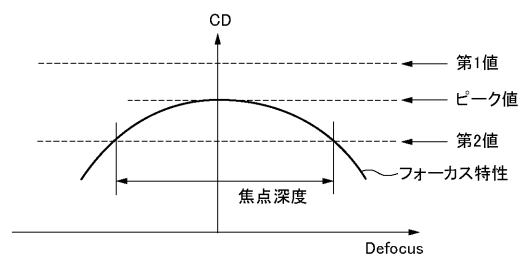
【 図 1 】



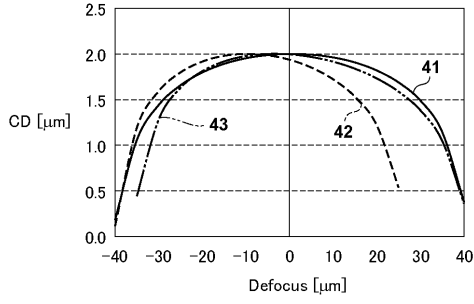
【 図 2 】



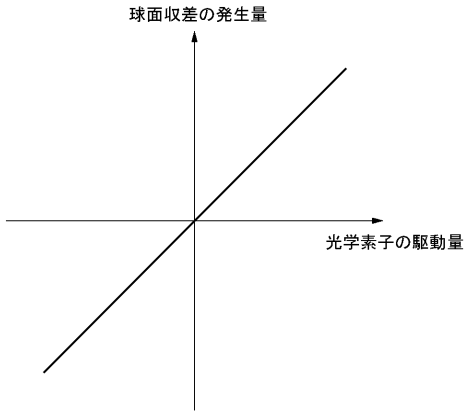
【 図 3 】



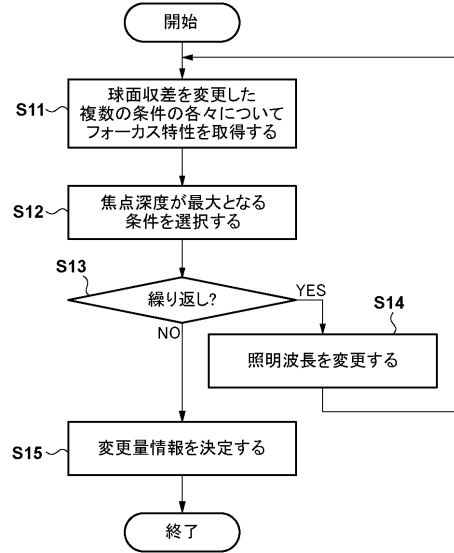
【 図 4 】



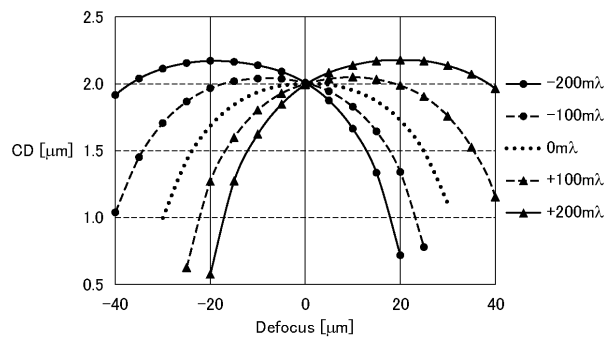
【 図 5 】



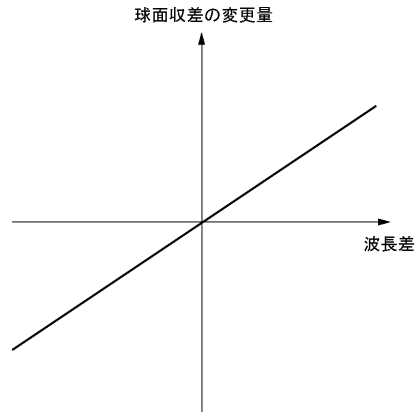
【 図 6 】



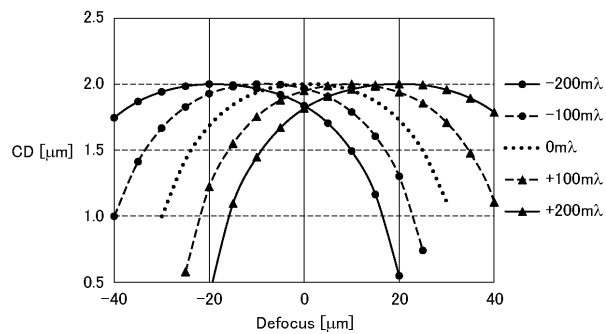
【 図 7 】



【 図 9 】



【 図 8 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 永井 善之

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

Fターム(参考) 2H195 BA01 BA02 BB03

2H197 AA09 AA10 BA02 BA03 BA04 BA05 BA07 BA09 BA10 BA11

BA30 CA03 CB12 CC02 CC12 CC16 DB03 DB10 DB11 DC02

HA03 JA05