

(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2019-79030

(P2019-79030A)

(43) 公開日 令和1年5月23日(2019.5.23)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
G03F 7/20 (2006.01)	G03F 7/20 501	2H011
G03B 3/04 (2006.01)	G03F 7/20 521	2H151
G03B 13/34 (2006.01)	G03F 7/20 505	2H197
G03B 13/36 (2006.01)	G03B 3/04	
G02B 7/28 (2006.01)	G03B 13/34	

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 16 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2018-146251 (P2018-146251)	(71) 出願人	000001007
(22) 出願日	平成30年8月2日 (2018.8.2)		キヤノン株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2017-205644 (P2017-205644)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(32) 優先日	平成29年10月24日 (2017.10.24)	(74) 代理人	100126240
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 阿部 琢磨
		(74) 代理人	100124442
			弁理士 黒岩 創吾
		(72) 発明者	河野 道生
			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)	2H011 AA05 FA08
			2H151 AA10 CB02 CB06 CE33 EB04
			2H197 AA22 AA29 BA02 BA04 BA07
			BA09 BA10 BA11 CA03 CA07
			CB16 CC05 CC16 DB11 DB23
			DC02 HA03 HA10 JA17

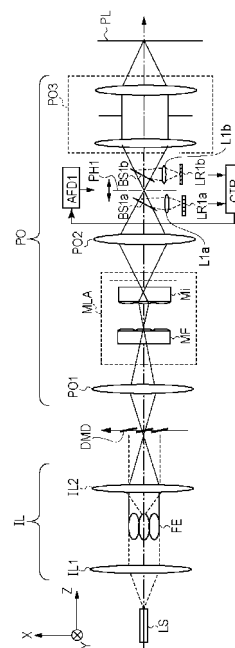
(54) 【発明の名称】 露光装置および物品の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 基板上におけるフォーカス制御を高速かつ高精度に実行することが可能な露光装置を提供すること。

【解決手段】 基板にパターンを形成するための露光光を基板上に投影する投影光学系と、基板において反射された光を通過させるための開口を含む遮光部材と、基板において反射された後に開口を通過した光束を受光する受光素子を含む露光装置において、受光素子において受光された光量に応じて、デフォーカス量を変更させるフォーカス制御を行う。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

基板にパターンを形成するための露光光を基板上に投影する投影光学系と、
前記基板において反射された光を通過させるための開口を含む遮光部材と、
前記基板において反射された後に前記開口を通過した光束を受光する受光素子と、
前記受光素子において受光された光量に応じて、前記露光光の集光位置と前記基板との位置ずれを示すデフォーカス量を変化させるフォーカス制御を行うことを特徴とする露光装置。

【請求項 2】

前記遮光部材は、前記デフォーカス量が所定量よりも小さい合焦状態において前記基板と光学的に共役な面に配置されてい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 3】

前記制御部は、前記遮光部材を前記投影光学系の光軸方向に移動させることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の露光装置。

【請求項 4】

前記制御部は、前記受光素子において受光される光量が増加するように、前記遮光部材を移動させ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】

前記制御部は、前記投影光学系の光路に配置された光学部材を前記投影光学系の光軸方向に移動させることを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置。

20

【請求項 6】

前記制御部は、前記受光素子において受光される光量が増加するように、前記光学部材を移動させ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】

前記基板において反射された光をさらに反射する反射部材を有し、
前記遮光部材は、前記反射部材によって反射された光路中に配置されていることを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置。

【請求項 8】

前記遮光部材は、前記デフォーカス量が所定量よりも小さい合焦状態において前記基板と光学的に共役な面からずらして配置されていることを特徴とする請求項 7 に記載の露光装置。

30

【請求項 9】

前記遮光部材は金属から構成されることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 10】

複数の光変調素子を含む光変調部と、
該光変調部に光を照射する照明光学系をさらに有し、
前記光変調部によって反射された光が前記投影光学系に入射されることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 11】

前記フォーカス制御が行われた状態で、前記照明光学系によって形成されたスポット光を前記投影光学系を介して前記基板上に投影する露光動作を行い、
前記基板上の特定の領域に対して前記露光動作を繰り返すことを特徴とする請求項 10 に記載の露光装置。

40

【請求項 12】

基板にパターンを形成するための露光光を基板上に投影する投影光学系を含む露光装置であって、
前記基板において反射された光を通過させるための開口を含む第 1 遮光部材と、
前記基板において反射された後に前記第 1 遮光部材の開口を通過した光束を受光する第 1 受光素子と、

50

前記基板において反射された光を通過させるための開口を含む第 2 遮光部材と、

前記基板において反射された後に前記第 2 遮光部材の開口を通過した光束を受光する第 2 受光素子を有し、

前記第 1 遮光部材は、前記露光光の集光位置と前記基板との位置ずれを示すデフォーカス量が所定量よりも小さい合焦状態において前記基板と光学的に共役な面から前記第 1 受光素子側にずらして配置され、

前記第 2 遮光部材は、前記合焦状態において前記基板と光学的に共役な面から前記第 2 受光素子とは反対側にずらして配置されていることを特徴とする露光装置。

【請求項 1 3】

前記第 1 受光素子及び前記第 2 受光素子において受光された光量に応じて、前記デフォーカス量を変化させるフォーカス制御を行うことを特徴とする請求項 1 2 に記載の露光装置。

10

【請求項 1 4】

基板にパターンを形成するための露光光を基板上に投影する投影光学系と、前記露光光の集光位置を変化させる光学部材を含む露光ユニットと、

前記基板において反射された光を通過させるための開口を含む遮光部材と、前記基板において反射された後に前記遮光部材の開口を通過した光束を受光する受光素子を含む光学ユニットを有する露光装置であって、

前記受光素子において受光された光量に応じて、前記光学部材を前記投影光学系の光軸方向に移動させることを特徴とする露光装置。

20

【請求項 1 5】

請求項 1 乃至 1 4 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、

前記工程で露光さ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。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、露光装置およびそれを用いた物品の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

原版（マスク）のパターンを、投影光学系を介して感光性の基板に転写する露光装置が知られている。近年、露光装置によって露光される基板の大型化が進み、それに伴い、パターンが形成されるマスクも大型化している。マスクが大型化すると、マスク自体のコストが上昇するとともに、マスクの製造期間が長くなり、マスクの製造コストの上昇につながる。

30

【0003】

そこで、パターンが形成されたマスクを用いることなく、基板上にパターンを形成することが可能な所謂マスクレス露光装置が注目されている。マスクレス露光装置は、デジタルマイクロミラーデバイス（Digital Micromirror Device：DMD）等の光変調器を用いたデジタル露光装置である。マスクレス露光装置では、DMD により露光パターンに対応する露光光を生成し、露光パターンに対応するパターンデータを基板上に露光することで、マスクを用いることなく基板上にパターンを形成することができる。

40

【0004】

特許文献 1 は、レーザ出射部から出射されたレーザビームを光変調器の各変調素子に入射させ、各変調素子により露光状態と非露光状態のいずれかに変調することで、画像データに基づく画像露光を行うマスクレス露光装置を開示している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

50

【特許文献 1】特開 2 0 0 4 - 6 2 1 5 5 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 1 1 - 2 5 1 2 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 6】

マスクレス露光装置では、基板上でのスポット光の強度分布がパターンの解像性能に大きな影響を及ぼす。スポット光の集光位置が基板と垂直な方向にずれることにより、基板上でのスポット光の強度分布にばらつきが生じ、結果としてパターンの解像性能の低下をもたらすおそれがある。スポット光の集光位置と基板面との位置ずれを示すデフォーカスを変化させるフォーカス制御を行うことで、パターンの解像性能を向上させることができる。

10

【0 0 0 7】

特許文献 2 は、基板を保持する保持部材に設けられた、デフォーカスを検知するための画像処理センサを用いたフォーカス制御方法を開示している。光変調器で反射され投影光学系を透過した光を画像処理センサに結像させ、画像処理センサに結像された光学像のコントラストが高くなるように、光変調器によって反射される光ビームの角度を調節することでフォーカス制御を行っている。

【0 0 0 8】

特許文献 2 のフォーカス制御方法では、基板の保持面を基準としたデフォーカスに対するフォーカス制御を実行することは可能であるが、実際にパターンが形成される基板を基準としたデフォーカスに対するフォーカス制御を実行することは困難である。それゆえ、特許文献 2 におけるフォーカス制御方法では、フォーカス精度を十分に高めることができないおそれがある。また、光学像のコントラストに基づくフォーカス制御を実行するためには比較的長い時間を要するため、高速なフォーカス制御を実現することは困難である。

20

【0 0 0 9】

本発明は、基板上におけるフォーカス制御を高速かつ高精度に実行することが可能な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】

【0 0 1 0】

本発明の露光装置は、基板にパターンを形成するための露光光を基板上に投影する投影光学系と、前記基板において反射された光を通過させるための開口を含む遮光部材と、前記基板において反射された後に前記開口を通過した光束を受光する受光素子と、前記受光素子において受光された光量に応じて、前記露光光の集光位置と前記基板との位置ずれを示すデフォーカス量を変化させるフォーカス制御を行うことを特徴とする。

30

【発明の効果】

【0 0 1 1】

本発明によれば、基板上におけるフォーカス制御を高速かつ高精度に実行することが可能な露光装置が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0 0 1 2】

40

【図 1】第 1 実施形態に係る光学系の構成を示す図である。

【図 2】第 2 実施形態に係る光学系の構成を示す図である。

【図 3】第 3 実施形態に係る光学系の構成を示す図である。

【図 4】第 4 実施形態に係る光学系の構成を示す図である。

【図 5】本発明に係る基板上の走査露光の概要を示す図である。

【図 6】デフォーカス量と受光素子の検出光量の関係を示す図である。

【図 7】基板における表面高さの変動を示す図である。

【図 8】変形例 1 に係る光学系の構成を示す図である。

【図 9】変形例 1 におけるデフォーカス量と受光素子の検出光量の関係を示す図である。

【図 1 0】変形例 2 に係る光学系の構成を示す図である。

50

【図 1 1】変形例 2 におけるデフォーカス量と受光素子の検出光量の関係を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、各図面を参照して本発明の実施形態について詳細に説明する。なお、本発明は以下の実施形態に限定されるものではなく、以下の実施形態は本発明の具体例を示すにすぎない。本発明の露光装置は、パターンが形成されたマスクを用いることなく、基板上にパターンを形成することが可能な所謂マスクレス露光装置として好適なものである。なお、本発明の露光装置は、パターンが形成されたマスクを用いて基板上にパターンを形成する露光装置にも適用することができる。

10

【0014】

(第 1 実施形態)

図 1 を用いて、本実施形態に係る照明光学系 I L 及び投影光学系 P O を含む露光装置の構成を説明する。

【0015】

本実施形態では、基板 P L において反射され、投影光学系 P O に設けられたピンホールを通過した光束の光量を検出することにより、スポット光の集光位置と基板 P L 面との位置ずれを示すデフォーカス量の検出を行う。そして、遮光部材としてのピンホールを移動させることにより、検出されたデフォーカス量を変化させるフォーカス制御を行う。

20

【0016】

本実施形態に係る所謂マスクレス露光装置では、照明光学系 I L から照射された光束を、光変調器の一つである光変調部としてのデジタルマイクロミラーデバイス（以下、D M D と記載する）に入射させる。そして、D M D により露光パターンに対応する露光光を生成し、投影光学系 P O を介して露光光を基板 P L 上に集光させることにより、露光パターンに対応するパターンデータを基板上に露光する。

【0017】

光源 L S としては、半導体レーザや L E D (L i g h t E m i t t i n g D i o d e) が用いられる。光源の波長は、基板 P L 上に塗布される感光性レジストの種類により決定される。光源 L S の波長は、一般的には 3 0 0 n m から 4 4 0 n m 程度である。

30

【0018】

続いて照明光学系 I L の構成について説明する。光源 L S から照射された光束は、光学系 I L 1 によりコリメートされ、フライアイレンズ F E を照明する。

【0019】

図 1 中のフライアイレンズ F E は、照明光学系 I L の光軸 (Z 軸) と垂直な X 軸と Y 軸を含む X Y 平面内に配置された 9 つのレンズセルを含む。9 つのレンズセルは、X 軸方向に 3 つ並べて配置され、Y 軸方向に 3 つ並べて配置されている。なお、フライアイレンズ F E を構成するレンズセルの数は適宜変更することが可能である。

【0020】

フライアイレンズ F E によって光学系 I L 2 に対して略均一に照明された光束は、光学系 I L 2 の作用により、D M D を構成する光変調素子としてのマイクロミラーに結像される。ここで、図 1 では、D M D に入射された光束が D M D を透過するように描かれているが、実際には D M D に入射された光束は D M D を構成する各マイクロミラーの反射面により反射される。

40

【0021】

D M D を構成する複数のマイクロミラーは二次元状に配置されており、各ミラーの反射面の角度はそれぞれ個別に変更可能になっている。これにより、各ミラーに照射される光を露光状態と非露光状態のいずれかに変調することができる。

【0022】

次に、投影光学系 P O の構成について説明する。D M D を構成するマイクロミラーで反射された光束は、投影光学系 P O を構成する光学系 P O 1 に入射される。光学系 P O 1 は

50

、光学系 P O 1 に入射された光束をマイクロレンズアレイ M L A に集光する作用を持つ。マイクロレンズアレイ M L A は、フィールドレンズ M F と、フィールドレンズ M F からフィールドレンズ M F の焦点距離だけ離れた位置にある結像レンズ M i から構成される。

【 0 0 2 3 】

光学系 P O 1 によってフィールドレンズ M F に結像された光束は、結像レンズ M i により再結像される。本実施形態では、結像レンズ M i による再結像点は、結像レンズ M i の内部に位置する。再結像点からの光束は光学系 P O 2 により再び結像され、この結像位置に複数の開口を有するピンホール P H 1 を配置している。ピンホール P H 1 の各開口は、D M D を構成するマイクロミラーの位置に対応している。ピンホール P H 1 により小径化されたスポット光は、光学系 P O 3 を介して基板 P L 上に照射される。

10

【 0 0 2 4 】

ピンホール P H 1 は例えば金属から構成される。金属は光反射率が高いため、ピンホール P H 1 の材料として金属を用いることでピンホール P H 1 の遮光特性を高めることができる。また、ピンホール P H 1 を誘電体膜によって被膜する構成としても良い。

【 0 0 2 5 】

次に、ピンホール及び後述する受光素子を用いた、デフォーカス量の検出方法及びデフォーカス量を変化させるフォーカス制御方法について説明する。

【 0 0 2 6 】

はじめにピンホールと受光素子を用いたデフォーカス量の検出方法について説明する。本実施形態では、投影光学系 P O に含まれる光学系 P O 2 とピンホール P H 1 の間に、反射部材としてのビームスプリッタ B S 1 a を配置している。ビームスプリッタ B S 1 a により反射された光束は結像レンズ L 1 a により受光素子 L R 1 a 上に結像される。

20

【 0 0 2 7 】

上述したように、ピンホール P H 1 を通過したスポット光は、光学系 P O 3 を介して基板 P L 上に集光される。ここで基板 P L 上に集光されたスポット光の一部は、基板 P L により反射され、光学系 P O 3 及びピンホール P H 1 の開口を通過してビームスプリッタ B S 1 a に入射する。ビームスプリッタ B S 1 a に入射された光の一部はビームスプリッタ B S 1 a により反射され、結像レンズ L 1 a により受光素子 L R 1 a 上に結像される。

【 0 0 2 8 】

本実施形態では、受光素子 L R 1 a で受光された光量に基づいて、スポット光の集光位置と基板 P L 面との位置ずれを示すデフォーカス量の推定を行っている。ピンホール P H 1 は、基板 P L 面に対して光学的に共役な面に配置されており、デフォーカス量が所定値よりも小さい合焦状態において、受光素子 L R 1 a で受光される光量が最大となる。一方、所定値以上のデフォーカス量が生じている非合焦状態においてはピンホール P H を通過する光束にケラレが生じ、受光素子 L R 1 a で受光される光量が低下する。

30

【 0 0 2 9 】

合焦状態において受光素子 L R 1 a で検出される最大光量を基準値としてデフォーカス量の推定を行う。具体的には、受光素子 L R 1 a において検出される光量とデフォーカス量との相対関係を予め決定しておくことで、受光素子 L R 1 a において検出される光量からデフォーカス量を推定することができる。例えば、上述した相対関係を制御部 C T R に記憶させ、受光素子 L R 1 a における光量の検出結果を制御部 C T R に入力することで制御部 C T R はデフォーカス量を低減させるためのフォーカス制御を実行することができる。

40

【 0 0 3 0 】

次に、フォーカス制御方法の詳細について説明する。本実施形態では、光学部材としてのピンホール P H 1 を投影光学系 P O の光軸方向に移動させることでフォーカス制御を行う。具体的には、受光素子 L R 1 a において検出される光量が増加する方向にピンホール P H 1 を移動させる。ピンホール P H 1 の移動量は、上述した方法で推定されたデフォーカス量と、光学系 P O 3 の焦点距離等により決定される。

【 0 0 3 1 】

50

ピンホール P H 1 はアクチュエータ A F D 1 により駆動され、ピンホール P H 1 の移動量は制御部 C T R からアクチュエータ A F D 1 に入力される。なお、フォーカス制御に際して駆動させる光学部材として、D M D やマイクロレンズアレイ M L A を用いても良い。

【 0 0 3 2 】

以上説明したように、本実施形態では、受光素子 L R 1 a における光量の検出結果に基づいてフォーカス制御を行う。受光素子 L R 1 a における光量検出は比較的短時間で実行することができるため、本実施形態に係るフォーカス制御を行うことにより、フォーカス制御の高速化を実現することができる。また、受光素子 L R 1 a で検出される光量は、基板 P L 上の露光領域において反射された光束を直接検出したものであるため、受光素子 L R 1 a において検出された光量に基づいてフォーカス制御を行うことで、フォーカス制御の精度を高めることができる。

10

【 0 0 3 3 】

本実施形態では、複数の受光部が二次元状に配置された受光素子 L R 1 a を用いることを想定している。受光素子 L R 1 a を構成する各受光部はそれぞれ、ピンホール P H 1 の 1 つの開口及び D M D を構成する 1 つのマイクロミラーに対応している。これにより、D M D を構成する 1 つのミラーで反射された光束によって露光される基板上の領域ごとにフォーカス制御を実行することができるため、フォーカス制御の精度を高めることができる。

【 0 0 3 4 】

一方、複数の受光部で個別に光量の検出を行うとフォーカス制御に時間を要するおそれがある。そこで、D M D を構成する 1 つのマイクロミラーの露光領域における基板 P L の表面形状の変化量が十分に小さい場合には、受光素子 L R 1 a を 1 つの受光部から構成しても良い。これにより、フォーカス制御に要する時間を短縮することができる。

20

【 0 0 3 5 】

また、本実施形態では、ピンホール P H 1 と光学系 P O 3 の間に、ビームスプリッタ B S 1 b をさらに配置している。ビームスプリッタ B S 1 b により反射された光束は結像レンズ L 1 b により受光素子 L R 1 b 上に結像される。受光素子 L R 1 b によって検出される光量に基づいて、基板 P L の表面反射率の変化に伴う受光素子 L R 1 a において検出される光量の基準値の補正を行う。

【 0 0 3 6 】

受光素子 L R 1 a において検出される光量の基準値の補正について詳細に説明する。例えば基板 P L には種々のレジスト材料が塗布され得るため、塗布されたレジスト材料の種類に応じて基板 P L の表面反射率が変化する。基板 P L の表面反射率が変化すると、合焦状態において受光素子 L R 1 a で検出される最大光量も変化してしまう。上述したように、本実施形態では、受光素子 L R 1 a で検出される最大光量を基準値としてフォーカス制御を実行しているため、基板 P L の表面反射率の変化に伴い基準値を変更する必要がある。

30

【 0 0 3 7 】

基板 P L により反射された光束はピンホール P H 1 を通過することなく、受光素子 L R 1 b に至る。それゆえ、受光素子 L R 1 b で検出される光量は、デフォーカス量に関わらずほとんど変化しない。つまり、受光素子 L R 1 b における検出光量を用いて受光素子 L R 1 a の検出光量を正規化することで、基板 P L の表面反射率が変化した場合においてもフォーカス制御の精度を維持することができる。例えば、受光素子 L R 1 a の検出光量と受光素子 L R 1 b の検出光量の比を用いて受光素子 L R 1 a の検出値の正規化を行うことができる。

40

【 0 0 3 8 】

(第 2 実施形態)

図 2 を用いて本発明の第 2 実施形態に係る露光装置について説明する。第 1 実施形態に係る露光装置では、投影光学系 P O の光路を遮光するピンホール P H 1 を用いてデフォーカス量の検出及びフォーカス制御を行う。第 2 実施形態に係る露光装置では、投影光学系

50

P Oの光路中に設けられたビームスプリッタB S 1 aによって反射された光の光路中に、複数の開口を有するピンホールP H 2を配置している。以下、第1実施形態との差異について説明する。なお、第1実施形態と同一の構成については説明を割愛する。

【0039】

本実施形態では、ビームスプリッタB S 1 aで反射された光束は、結像レンズL 1 aによりピンホールP H 2上に集光され、結像レンズL 2により受光素子L R 1 a上に結像される。スポット光の集光位置と基板P L面との位置ずれを示すデフォーカス量が所定値よりも小さい合焦状態において受光素子L R 1で受光される光量が最大となるようにピンホールP H 2が配置される。

【0040】

第1実施形態に係る露光装置と同様に、制御部C T Rは、受光素子L R 1における光量の検出結果に基づいてデフォーカス量を推定する。本実施形態ではフォーカス制御を実行するために、マイクロレンズアレイM L Aを投影光学系P Oの光軸方向に移動させる。具体的にはマイクロレンズアレイM L Aを移動させるための駆動信号が、制御部C T RからアクチュエータA F D 2に送信され、この駆動信号に基づいてアクチュエータA F D 2はマイクロレンズアレイM L Aを駆動する。

【0041】

なお、本実施形態では、フォーカス制御のためにマイクロレンズアレイM L Aを移動させているが、D M Dを移動させることでフォーカス制御を実行しても良い。また、必ずしもマイクロレンズアレイM L A全体を移動させる必要はなく、結像レンズM iのみを移動させる構成としても良い。

【0042】

(第3実施形態)

図3を用いて本発明の第3実施形態に係る露光装置について説明する。第2実施形態として、投影光学系P Oの光路中に設けられたビームスプリッタB S 1 aによって反射された光の光路中に、複数の開口を有するピンホールP H 2を配置する構成を説明した。本実施形態では、投影光学系P Oよりも光源L S側に設けられたビームスプリッタB S 3によって反射された光の光路中に、複数の開口を有するピンホールP H 3を配置している。以下、第1実施形態及び第2実施形態との差異について説明する。なお、第1実施形態及び第2実施形態と同一の構成については説明を割愛する。

【0043】

本実施形態では、ビームスプリッタB S 3で反射された光束は、結像レンズL 3 aによりピンホールP H 3上に集光され、結像レンズL 3 bにより受光素子L R 3上に結像される。スポット光の集光位置と基板P L面との位置ずれを示すデフォーカス量が所定値よりも小さい合焦状態において受光素子L R 3で検出される光量が最大となるようにピンホールP H 3が配置される。

【0044】

第1実施形態及び第2実施形態に係る露光装置と同様に、制御部C T Rは、受光素子L R 3における光量の検出結果に基づいてデフォーカス量を決定する。本実施形態ではフォーカス制御を実行するために、D M Dを照明光学系I L及び投影光学系P Oの光軸方向に移動させる。具体的にはD M Dを移動させるための駆動信号が、制御部C T RからアクチュエータA F D 3に送信され、この駆動信号に基づいてアクチュエータA F D 3はD M Dを駆動する。

【0045】

なお、本実施形態では、フォーカス制御のためにD M Dを移動させているが、マイクロレンズアレイM L Aを移動させることでフォーカス制御を実行しても良い。

【0046】

(第4実施形態)

図4を用いて本発明の第4実施形態に係る露光装置について説明する。本実施形態では、照明光学系I Lと投影光学系P Oを含む露光ユニットE Uとは別に、スポット光の集光

10

20

30

40

50

位置と基板 P L 面との位置ずれを示すデフォーカス量の検出を行うための光学ユニット O U を設けている。なお露光ユニット E U の構成はこれまでの実施形態において説明した構成と同一であるため、露光ユニット E U に関する説明は割愛する。

【 0 0 4 7 】

光学ユニット O U には、光源 L S B 、結像光学系 L K 1 、ピンホール P H 4 、結像光学系 L K 2 が含まれる。光源 L S B から出射した光束は、結像光学系 L K 1 によりピンホール P H 4 上に集光され、結像光学系 L K 2 によって基板 P L 上の位置 A に集光される。

【 0 0 4 8 】

結像光学系 L K 1 とピンホール P H 4 の間にはビームスプリッタ B S 4 a が配置され、ビームスプリッタ B S 4 a により反射された光束は、結像レンズ L 4 a により受光素子 L R 4 a 上に集光される。

10

【 0 0 4 9 】

ピンホール P H 4 は、デフォーカスが生じたときに、受光素子 L R 4 a において検出される光量が低下するように配置されており、第 1 実施形態におけるデフォーカス量の検出方法と同様の方法で、本実施形態におけるデフォーカス量の検出が行われる。光学ユニット O U によって検出されたデフォーカス量に関する情報は制御部 C T R に送信され、制御部 C T R は受信した情報に基づいて、露光ユニット E U に含まれるピンホール P H 1 の駆動信号をアクチュエータ A F D 1 に送信する。アクチュエータ A F D 1 は受信した駆動信号に基づいてピンホール P H 1 を移動させることでフォーカス制御を実行する。

【 0 0 5 0 】

20

本実施形態のように、デフォーカス量を検出するための光学ユニット O U を、フォーカス制御を実行するための露光ユニット E U と別のユニットとすることで、露光処理のスループットを向上させることができる。

【 0 0 5 1 】

図 4 において、基板 P L が X 軸のプラス側からマイナス側に向けて走査露光される場合について説明する。基板 P L 上の露光領域は、光学ユニット O U の投影領域を通過した後に露光ユニット E U の投影領域を通過する。つまり、光学ユニット O U の投影領域を通過したタイミングで検出されたデフォーカス量に基づいてフォーカス制御を実行した上で、露光ユニット E U によって露光処理を実行することができる。フォーカス制御のために基板 P L を停止させることなく走査露光を行うことができるため、フォーカス精度の向上とスループット向上を両立させることが可能となる。

30

【 0 0 5 2 】

なお、図 4 においては、露光ユニット E U に含まれるピンホール P H 1 を移動させることでフォーカス制御しているが、D M D やマイクロレンズアレイ M L A を移動させることでフォーカス制御を実行しても良い。

【 0 0 5 3 】

(走査露光の概要)

図 5 は、基板上の走査露光の概要を示す図である。D M D は X Y 平面内に配置された複数のマイクロミラーから構成され、図 5 における各点は、D M D を構成するマイクロミラーによって形成されたスポット光を示している。

40

【 0 0 5 4 】

図 5 における S_x 、 S_y は走査露光時の基板 P L の走査方向を示している。基板 P L の走査方向に対してスポット光の配列方向が角度 θ だけ傾くように構成されている。このような構成とすることで、基板 P L 上を均一に露光することができる。 S_y 方向に基板が走査される場合には、 $S_x - S_y$ 座標における $S_x = 0$ に位置する領域は、図 5 中に黒点で示したように間欠的に複数回にわたって露光される。図 5 は、基板 P L 上の特定の露光領域が、スポット光 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 、 S_5 において順次露光される様子を示している。

【 0 0 5 5 】

各露光タイミングで検出された受光素子における光量に基づいて上述したフォーカス制

50

御が行われる。特定のスポット光 S_n の照射により受光素子で検出された光量に基づいて、スポット光 S_{n+1} による露光のためのフォーカス制御を実行しても良いし、複数のスポット光の照射により受光素子で検出された光量に基づいてフォーカス制御を実行しても良い。

【0056】

例えば、スポット光 S_n から S_{n+99} の各スポット光の照射ごとに受光素子で検出された光量に基づいて、スポット光 S_{n+100} による露光のためのフォーカス制御を実行することができる。

【0057】

基板上の特定の領域に対しての走査露光におけるフォーカス制御方法について図6を用いて説明する。図6において、横軸はスポット光の集光位置と基板面との位置ずれを示すデフォーカス量を表している。縦軸は受光素子における検出光量を表している。以下、実施形態1に係る露光装置におけるフォーカス制御方法について説明する。

【0058】

図6中の(A)は、フォーカス制御の開始時に受光素子によって検出される光量とフォーカス制御の開始時のデフォーカス量を示している。(A)の段階では、スポット光の集光位置と基板面との位置ずれの方向が不明であるため、ピンホールPH1を光源LS側と基板PL側のいずれかに向けて駆動する。例えば、デフォーカス量がマイナス方向にZ1だけ増大するようにピンホールPHを移動させると、(B)のように受光素子において検出される光量が低下する。この時点で、ピンホールPHを移動させる方向と受光素子における検出光量の増減の関係が判明するため、(C)では、(A)から(B)へのピンホールPH1の駆動方向とは反対方向にピンホールPH1を移動させる。ここで、(B)から(C)へのピンホールPH1の移動量が、(A)から(B)へのピンホールPH1の移動量の2倍となるようにピンホールPH1が駆動される。

【0059】

以上のようにピンホールPH1の駆動方向を適切に設定することで、高速なフォーカス制御を実現することができる。

【0060】

なお、図6で示したように、フォーカス制御を開始するタイミングではピンホールの駆動方向とデフォーカスの増減との関係が不明であるため、フォーカス制御の開始時にはデフォーカス量が増大する方向にピンホールを移動させてしまうことがある。ただし、図5で示したように、マスクレス露光装置では、基板上の特定の露光領域においてスポット光による露光を複数回にわたって行う多重露光が実行される。そのため、たとえフォーカス制御の開始時にデフォーカス量を増大させるような制御を行ったとしても、初期段階の露光におけるフォーカス制御の精度に影響を与えるのみであり、基板上のパターン形成精度を低下させる可能性は低い。

【0061】

また、図7に示したように、実際の基板PLの表面高さは緩やかに変化していることが多い。図7は、基板PLにおける表面高さのY軸方向の変動を示している。例えば、Y軸方向の位置Ysにおいては、図5に示した、スポット光S1、S2、S3、S4、S5によって順次走査露光が行われる。また、スポット光S1に着目すると、スポット光S1によってYs、Ys+1、Ys+2、...Yeの各領域の露光が順次行われる。

【0062】

高精度な露光動作を実行するためには、基板の表面高さの変動に合わせてデフォーカス量を低減させるフォーカス制御を行うことが求められる。ただし、図6において説明したように、走査露光の開始タイミングではデフォーカス量を低減させるためにピンホールPH1を駆動する方向が定まっていない。

【0063】

それゆえ走査露光の開始直後の期間では、フォーカス精度が不十分な状態で露光動作が実行されてしまうおそれがある。図7の例では、スポット光S1による位置Ysでの露光

10

20

30

40

50

におけるフォーカス精度が不十分なおそれがある。ただし、図 6 に示したように、継続してフォーカス制御を実行することで、フォーカス精度を高めることが可能である。

【0064】

具体的には、スポット光 S 2 による露光におけるフォーカス精度は、スポット光 S 1 による露光におけるフォーカス精度よりも低下する可能性がある。しかしながら、スポット光 S 3 による露光におけるフォーカス精度は、スポット S 1 や S 2 による露光におけるフォーカス精度よりも向上させることが可能である。

【0065】

このように基板 P L 上の特定の領域においてスポット光による露光を繰り返し行う多重露光を実行することで、高精度なパターン形成が可能となる。これは、フォーカス精度が不十分な状態で露光される露光量の多重露光全体の露光量に占める割合が小さいからである。

【0066】

(変形例 1)

図 8 は、第 2 実施形態に係る露光装置の変形例 1 を示す図である。第 2 実施形態における露光装置との相違点は、ピンホール P H 2 の配置場所にある。変形例 1 では、結像レンズ L 1 a による集光面 B P から所定量だけ離してピンホール P H 2 を配置している。

【0067】

このようにピンホール P H 2 を配置することで、図 9 に示すように、合焦状態の近傍においてデフォーカス量の変化に対する検出光量の変化が大きくなるため、デフォーカス量の検出精度を高めることができる。結果としてフォーカス精度の向上に寄与することができる。

【0068】

(変形例 2)

図 10 は、第 2 実施形態に係る露光装置の変形例 2 を示す図である。変形例 2 では、結像レンズ L 1 a を透過した光束をビームスプリッタ B S 2 により、透過光束と反射光束に分けている。そして、ビームスプリッタ B S 2 を透過した透過光束が、ピンホール P H 2 a、結像レンズ L 2 a を透過して受光素子 L R 2 a に集光するような光学配置としている。また、ビームスプリッタ B S 2 にて反射された反射光束が、ピンホール P H 2 b、結像レンズ L 2 b を透過して受光素子 L R 2 b に集光するような光学配置としている。制御部 C T R は、受光素子 L R 2 a 及び受光素子 L R 2 b からの情報に基づいてアクチュエータ A F D 2 に対して駆動信号を送信する。

【0069】

ここで、ピンホール P H 2 a とピンホール P H 2 b のうち一方が結像レンズ L 1 a の集光面 B P よりも受光素子側に位置し、他方が集光面 B P に対して受光素子とは反対側に位置するように、ピンホール P H 2 a とピンホール P H 2 b が配置される。なお、ピンホール P H 2 a と集光面 B P との距離が、ピンホール P H 2 b と集光面 B P との距離と等しくなるように、ピンホール P H 2 a 及びピンホール P H 2 b を配置することが好ましい。

【0070】

変形例 2 に係る露光装置におけるフォーカス制御方法について図 11 を用いて説明する。上述したように、ピンホール P H 2 a 及びピンホール P H 2 b を集光面 B P からずらして配置することで、図 11 において破線で示すように、合焦状態において受光素子 L R 2 a 及び受光素子 L R 2 b で検出される光量はそれぞれ最大光量と比較して低くなる。

【0071】

受光素子 L R 2 a における検出光量と受光素子 L R 2 b における検出光量の差分は図 11 中の実線で表される。図 11 では、プラス方向にデフォーカスが発生している場合には検出光量の差分はマイナスとなり、マイナス方向にデフォーカスが発生している場合には検出光量の差分がプラスとなる。そして合焦状態のときには検出光量の差分が 0 となる。

【0072】

このような構成とすることで、受光素子 L R 2 a における検出光量と受光素子 L R 2 b

10

20

30

40

50

における検出光量の差分の符号に基づいてデフォーカスの発生方向を特定することが可能となり、フォーカス制御の高速化を実現することができる。

【 0 0 7 3 】

（その他の変形例）

なお、基板 P L を投影光学系 P O の光軸方向に駆動させることにより、デフォーカス量を変化させるフォーカス制御を行っても良い。

【 0 0 7 4 】

（物品の製造方法）

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。さらに、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。

10

【 0 0 7 5 】

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及び変更が可能である。

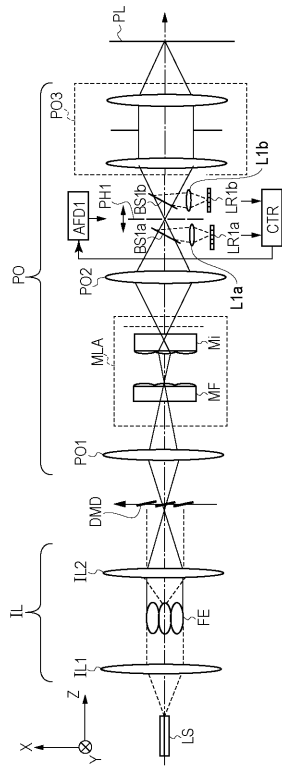
20

【符号の説明】

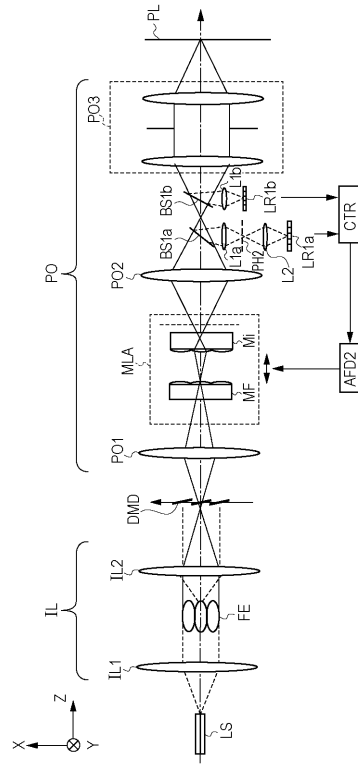
【 0 0 7 6 】

P O 投影光学系
P L 基板
P H 遮光部材
L R 受光素子
C T R 制御部

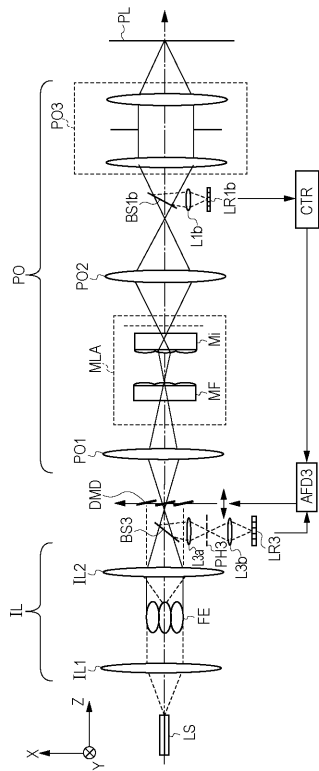
【 図 1 】



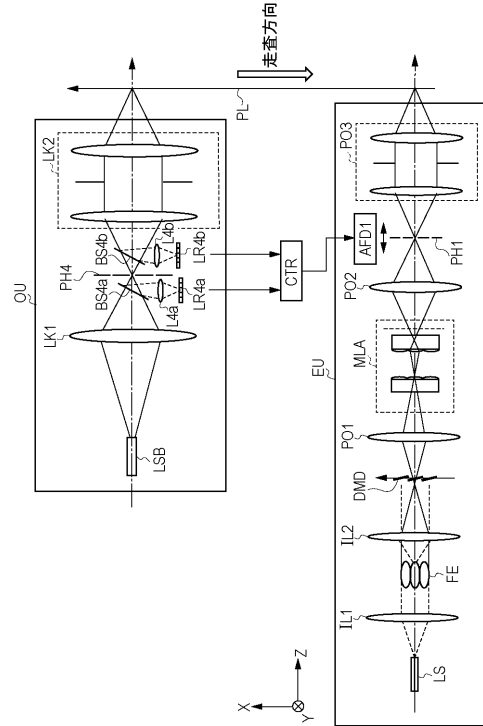
【 図 2 】



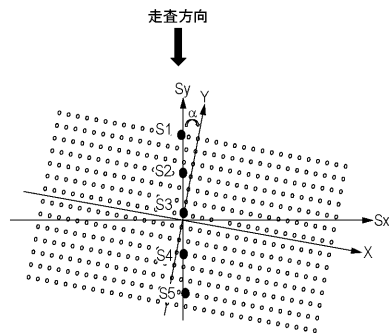
【 図 3 】



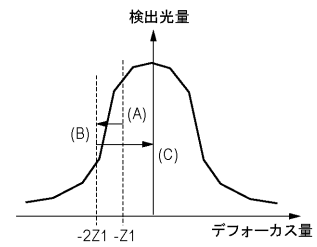
【 図 4 】



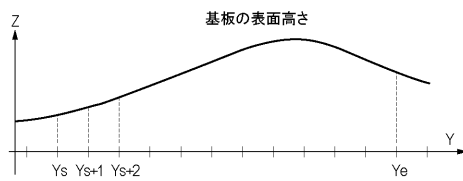
【図 5】



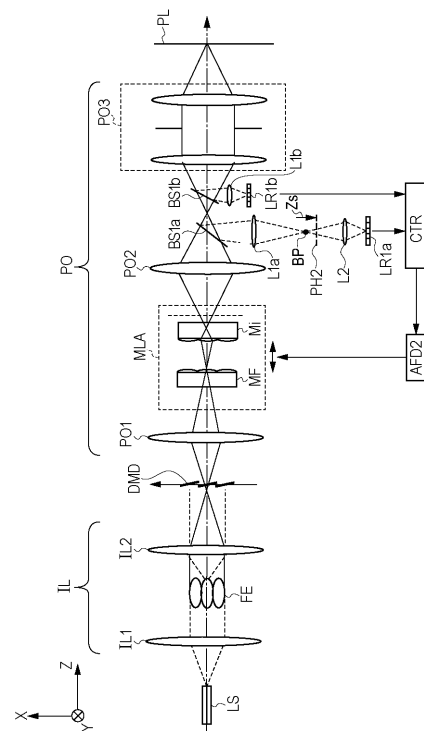
【図 6】



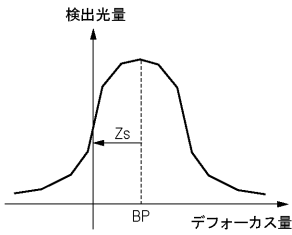
【図 7】



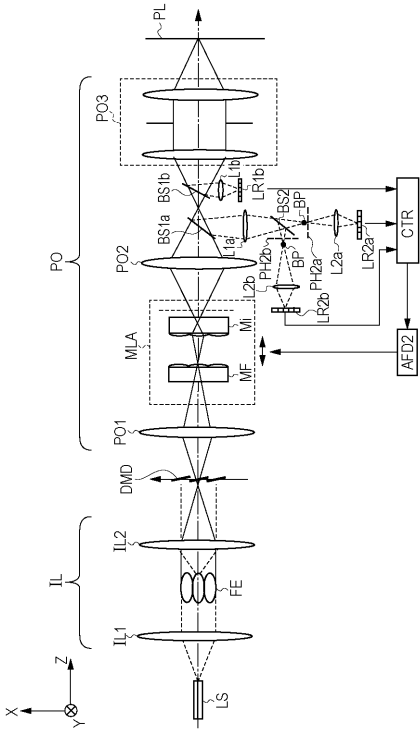
【図 8】



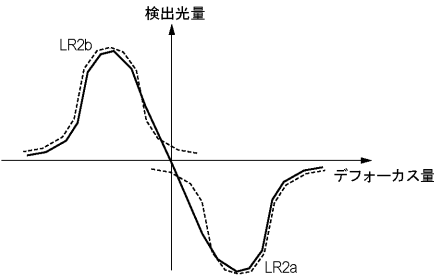
【 図 9 】



【 図 1 0 】



【 図 1 1 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

テーマコード(参考)

G 0 3 B 13/36

G 0 2 B 7/28

M