

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7178932号
(P7178932)

(45)発行日 令和4年11月28日(2022.11.28)

(24)登録日 令和4年11月17日(2022.11.17)

| | | | |
|-----------------|----------------------------------|----------|--|
| (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 | 7/22 (2006.01) | G 0 3 F | 7/20 5 0 1 |
| G 0 2 B | 13/24 (2006.01) | G 0 3 F | 7/22 H |
| G 0 2 B | 13/18 (2006.01) | G 0 2 B | 13/24 |
| | | G 0 2 B | 13/18 |
| 請求項の数 14 (全15頁) | | | |
| (21)出願番号 | 特願2019-45138(P2019-45138) | (73)特許権者 | 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31年3月12日(2019.3.12) | (74)代理人 | 110003281弁理士法人大塚国際特許事 務所 |
| (65)公開番号 | 特開2020-148865(P2020-148865 A) | (72)発明者 | 三上 晃司 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 |
| (43)公開日 | 令和2年9月17日(2020.9.17) | (72)発明者 | 繁延 篤 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 |
| 審査請求日 | 令和4年3月8日(2022.3.8) | 審査官 | 田中 秀直 |
| | | 最終頁に続く | |

(54)【発明の名称】 露光装置、および物品製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

原版のパターンを投影光学系を介して基板のショット領域に投影して前記基板を露光する露光装置であって、
前記原版と前記基板との間の露光光の光路上に配置された収差補正部材と、
前記収差補正部材を駆動する駆動部と、を有し、
前記収差補正部材は、
3回回転対称な非球面形状を持つ第1面を有する第1光学要素と、
前記投影光学系の光軸に沿って前記第1光学要素とは離間して配置された第2光学要素であって、前記第1面と対向し、前記第1面が有する前記非球面形状と相補的な関係にある非球面形状を有する第2面を有する第2光学要素と、を含み、
前記駆動部は、前記ショット領域の形状の台形成分に基づいて、前記第1光学要素および前記第2光学要素の少なくとも1つの、前記光軸周りの回転および前記光軸に沿う駆動の少なくともいずれかを行う
ことを特徴とする露光装置。

【請求項2】

前記光軸に平行な方向をZ軸とし、前記Z軸と直交する平面上で互いに直交する方向をX軸およびY軸とすると、前記駆動部が前記第1光学要素および前記第2光学要素の少なくとも1つのZ軸周りに回転およびZ軸に沿う駆動の少なくともいずれかを行うことにより、ショット領域のY軸に沿う方向の2つの辺の長さおよびX軸に沿う方向の2つの辺

の長さが補正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】

前記光軸周りの回転の回転量および前記光軸に沿う駆動の駆動量の少なくともいずれかを制御する制御部を有す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】

前記駆動部は、前記第 1 光学要素および前記第 2 光学要素の少なくとも 1 つの、前記光軸と直交する方向への駆動を更に行うことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 5】

前記収差補正部材は、前記原版と前記投影光学系との間に配置されることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

10

【請求項 6】

前記収差補正部材は、前記投影光学系の内部に設けられることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 7】

前記収差補正部材は、前記原版を保持するレチクルステージに設けられることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 8】

前記制御部は、前記基板の下地となるショット領域の形状のデータを取得し、該取得したデータに基づいて、前記光軸周りの回転の回転量および前記光軸に沿う駆動の駆動量の少なくともいずれかを制御することを特徴とする請求項 3 に記載の露光装置。

20

【請求項 9】

前記ショット領域の形状を計測する計測部を更に有し、

前記制御部は、前記計測部から前記ショット領域の形状のデータを取得することを特徴とする請求項 8 に記載の露光装置。

【請求項 10】

前記制御部は、前記基板の変形の影響度の情報を取得し、前記取得された情報に基づいて、前記光軸周りの回転の回転量および前記光軸に沿う駆動の駆動量の少なくともいずれかを制御することを特徴とする請求項 3 に記載の露光装置。

【請求項 11】

30

前記情報は、前記基板の複数のショット領域の露光順序の情報を含むことを特徴とする請求項 10 に記載の露光装置。

【請求項 12】

前記情報は、更に、前記基板の上の感光剤への露光量、前記基板を保持する基板ステージの蓄熱量、前記基板ステージのショット領域間の駆動時間、前記基板の線膨張係数、熱伝導率、露光光反射率、透過率のうちの少なくともいずれかを含むことを特徴とする請求項 11 に記載の露光装置。

【請求項 13】

前記台形成分は、前記基板の変形の影響度に基づいて予測されることを特徴とする請求項 1 乃至 12 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

40

【請求項 14】

請求項 1 乃至 13 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。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、露光装置、および物品製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

50

半導体デバイスやフラットパネルディスプレイの製造に露光装置が使われている。半導体デバイスの高集積化やフラットパネルディスプレイの高精細化に伴い、配線の微細化や多層化が進んでいる。パターンの微細化に伴い、層ごとの重ね合わせの要求精度もますます上がってきている。また一方で、配線層では、半導体製造工程の後工程になるに従い、下地露光時のプロセス処理後の倍率、ディストーション、基板の反り等、ショット領域毎の局所的な歪みが発生し、重ね合せ精度が低下するといった問題もある。

【0003】

特許文献1には、非軸対称なレンズを使わずに、投影レンズの一部の素子を傾斜させることによって、回転対称あるいは2回対称な成分ではない、非等方的なディストーション形状の補正を行う技術が開示されている。特許文献2には、2回対称の収差を補正する技術が開示されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特許第3064432号公報

特開2014-120682号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

近年、デバイスコスト低減のため露光装置の生産性向上、すなわち単位時間あたりの基板処理枚数であるスループットの向上が重要視されている。そのため、ステージ駆動の高速化、露光照度の向上等が求められている。しかし、これらの対策をとる場合には、隣接ショットの露光熱による基板の伸縮に伴う露光ショットの歪曲が無視できない。隣接ショット近傍ほど熱の影響で熱膨張が発生するためショット領域の上下左右で倍率が異なることが、非対称なディストーション形状を発生させる一つの要因になっている。

20

【0006】

特許文献1は、光学要素を傾斜させることによる非等方的なディストーションの補正に言及している。しかし、この技術ではディストーションの発生とともにコマ収差や、像高間で変化するアスが発生してしまい、非対称なディストーションのみを効率的に補正することはできない。また、特許文献2に開示されているのは、縦横倍率差の補正に関するのみであり、台形状に変形したショット領域の補正については開示されていない。

30

【0007】

本発明は、例えば、ショット領域の形状の補正の点で有利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】

【0008】

本発明の一側面によれば、原版のパターンを投影光学系を介して基板のショット領域に投影して前記基板を露光する露光装置であって、前記原版と前記基板との間の露光の光路上に配置された収差補正部材と、前記収差補正部材を駆動する駆動部と、を有し、前記収差補正部材は、3回回転対称な非球面形状を持つ第1面を有する第1光学要素と、前記投影光学系の光軸に沿って前記第1光学要素とは離間して配置された第2光学要素であって、前記第1面と対向し、前記第1面が有する前記非球面形状と相補的な関係にある非球面形状を有する第2面を有する第2光学要素と、を含み、前記駆動部は、前記ショット領域の形状の台形成分に基づいて、前記第1光学要素および前記第2光学要素の少なくとも1つの、前記光軸周りの回転および前記光軸に沿う駆動の少なくともいずれかを行うことを特徴とする露光装置が提供される。

40

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、例えば、ショット領域の形状の補正の点で有利な露光装置を提供することができる。

50

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 0 】

【図 1】実施形態における露光装置の構成を示す図。

【図 2】実施形態における収差補正部材の構成を示す図。

【図 3】縦横倍率差による像ずれ収差の例を示す図。

【図 4】収差補正部材の駆動によって発生する台形形状のディストーションの例を示す図。

【図 5】実施形態における収差補正部材の光学要素の面形状の例を示す図。

【図 6】実施形態における収差補正部材の駆動の態様を示す図。

【図 7】実施形態における露光方法のフローチャート。

【図 8】ウエハ内のショット露光順序の例を示す図。

【図 9】台形成分の非対称性を示す図。

【図 10】実施形態における露光方法のフローチャート。

【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実施形態を詳しく説明する。尚、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。

【 0 0 1 2 】

< 第 1 実施形態 >

図 1 は、実施形態における露光装置の構成を示す図である。本明細書および添付図面において、基板であるウエハ 1 1 5 の表面（水平面）を X Y 平面とする X Y Z 座標系において方向を示す。X Y Z 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 方向とし、X 軸周りの回転、Y 軸周りの回転、Z 軸周りの回転をそれぞれ X、Y、Z とする。

【 0 0 1 3 】

主制御部 1 0 3 は、後述する露光装置の各部を統括的に制御して露光処理を実行する。主制御部 1 0 3 は、例えば、C P U およびメモリ（記憶部）を含むコンピュータ装置によって実現されうる。

【 0 0 1 4 】

光源 1 0 0 は、複数の波長帯域の光を露光光として出力することができる。光源 1 0 0 より射出された光は、照明光学系 1 0 4 の整形光学系（不図示）を介して所定の形状に整形される。整形された光は、オプティカルインテグレータ（不図示）に入射され、ここで、後述するレチクル 1 0 9 を均一な照度分布で照明するために多数の 2 次光源が形成される。

【 0 0 1 5 】

照明光学系 1 0 4 の開口絞り 1 0 5 の開口部の形状は、ほぼ円形であり、照明光学系制御部 1 0 8 によってその開口部の直径、ひいては照明光学系 1 0 4 の開口数（N A）を所望の値に設定できるようになっている。この場合、投影光学系 1 1 0 の開口数に対する照明光学系 1 0 4 の開口数の比の値がコヒーレンスファクタ（値）であるため、照明光学系制御部 1 0 8 は照明光学系 1 0 4 の開口絞り 1 0 5 を制御することで、値を設定できる。

【 0 0 1 6 】

照明光学系 1 0 4 の光路上にはハーフミラー 1 0 6 が配置され、レチクル 1 0 9 を照明する露光光の一部がこのハーフミラー 1 0 6 により反射されて取り出される。ハーフミラー 1 0 6 の反射光の光路上には紫外光用のフォトセンサ 1 0 7 が配置され、露光光の強度（露光エネルギー）に対応した出力を発生する。原版（マスク）としてのレチクル 1 0 9 には焼き付けを行う半導体デバイスの回路のパターンが形成されており、照明光学系 1 0 4 により照明される。投影光学系 1 1 0 は、レチクル 1 0 9 のパターンを縮小倍率（例

10

20

30

40

50

例えば $= 1/2$) で縮小し、フォトレジストが塗布されたウエハ 115 上の 1 つのショット領域を投影するよう配置されている。投影光学系 110 は、屈折型またはカタディオプトリック系などの光学系でありうる。

【0017】

投影光学系 110 の瞳面（レチクルに対するフーリエ変換面）上には、開口部がほぼ円形である開口絞り 111 が配置され、モータ等の開口絞り駆動部 112 によって開口部の直径を制御することができる。光学素子駆動部 113 は、フィールドレンズのような、投影光学系 110 中のレンズ系の一部を構成している光学素子を、投影光学系 110 の光軸に沿って移動させる。これにより、投影光学系 110 の諸収差を低減しつつ、投影倍率を良好にさせ歪曲誤差を減らしている。投影光学系制御部 114 は、主制御部 103 の制御の下、開口絞り駆動部 112 及び光学素子駆動部 113 を制御する。

10

【0018】

ウエハ 115 を保持するウエハステージ 116（基板ステージ）は、3次元方向に移動可能であり、投影光学系 110 の光軸方向（Z方向）、及びその方向に直交する面内（X-Y面）を移動できる。なお、上記したとおり、ウエハ 115 の表面（水平面）を X-Y平面としている。したがって、図1では、Z軸は、投影光学系 110 の光軸と平行にかつウエハ 115 からレチクル 109 に向かう方向に延び、X軸およびY軸は、Z軸と垂直な平面上で互いに直交する方向に延びている。図1において、Y軸は紙面内にあり、X軸は紙面に対して垂直で紙面手前向きである。ウエハステージ 116 に固定された移動鏡 117 との間の距離をレーザ干渉計 118 で計測することでウエハステージ 116 の X-Y 面位置が検出される。また、アライメント計測系 124（計測部）を用いて、ウエハ 115 とウエハステージ 116 の位置ずれが計測される。露光装置の主制御部 103 の制御下にあるステージ制御部 120 は、アライメント計測系 124 を用いた計測結果に基づいてモータ等のステージ駆動部 119 を制御することで、ウエハステージ 116 を所定の X-Y 面位置へ移動させる。

20

【0019】

投光光学系 121 および検出光学系 122 は、フォーカス面を検出する。投光光学系 121 はウエハ 115 上のフォトレジストを感光させない非露光光から成る複数個の光束を投光し、その光束はウエハ 115 上に各々集光されて反射される。ウエハ 115 で反射された光束は、検出光学系 122 に入射される。図示は略したが、検出光学系 122 内には各反射光束に対応させて複数個の位置検出用の受光素子が配置されており、各受光素子の受光面とウエハ 115 上での各光束の反射点が結像光学系によりほぼ共役となるように構成されている。投影光学系 110 の光軸方向におけるウエハ 115 面の位置ずれは、検出光学系 122 内の位置検出用の受光素子に入射する光の位置ずれとして計測される。

30

【0020】

レチクル 109 とウエハ 115 との間の露光光の光路上には、収差補正部材 21 が配置される。図1の例では、収差補正部材 21 は、レチクル 109 と投影光学系 110 との間に配置されている。収差補正部材 21 は、投影光学系 110 とは独立したユニットとして構成されていてもよいし、投影光学系 110 の一部として構成されていてもよい。収差補正部材 21 が投影光学系 110 の内部に設けられる場合、収差補正部材 21 は、投影光学系 110 における瞳面より上方で、レチクル 109 で回折された光をウエハ 115 上で集光させるフィールドレンズ群の付近に配置されてもよい。あるいは、収差補正部材 21 は、レチクル 109 を保持するレチクルホルダまたはレチクルステージ（不図示）と一体的に構成されていてもよい。

40

【0021】

図2に示すように、収差補正部材 21 は、第1光学要素 211 と、露光光の光軸に沿って第1光学要素 211 とは離間して配置された第2光学要素 212 とを含む。第1光学要素 211 および第2光学要素 212 はそれぞれ、回転非対称な同一の形状の面を間隙の側に有している。第1光学要素 211 および第2光学要素 212 のうちの少なくともいずれかは、光学要素駆動部 22 によって Z 回転（光軸周りの回転）および Z 方向に関する駆

50

動（Z駆動）の少なくともいずれかを行うことができる。更に、第1光学要素211および第2光学要素212のうちの少なくともいずれかは、光学要素駆動部22によって、Z軸と直交するX方向および/またはY方向に移動することができるように構成されていてもよい。

【0022】

図2において、第1光学要素211のレチクル109側の外面211aおよび第2光学要素212の投影光学系110側の外面212aはそれぞれ平面形状である。これに対し、第1光学要素211および第2光学要素212の互いに向き合う内側の第1面211bおよび第2面212bは、互いに相補な関係にある非球面形状をなしている。

【0023】

図6に、収差補正部材21の駆動の態様を示す。図6(a)は、図2と同様の状態を示している（ただし図6(a)では、第1光学要素211と第2光学要素212との間の隙間の形状は単純化して示されている。）。第1光学要素211および第2光学要素212のうちの少なくともいずれかは、光学要素駆動部22によって、図6(a)の状態から、図6(b)のようにZ駆動されうる。また、第1光学要素211および第2光学要素212のうちの少なくともいずれかは、光学要素駆動部22によって、図6(c)に示されるようにZ回転されうる。

【0024】

以下では、第1光学要素211および第2光学要素212のうちの少なくともいずれかのZ駆動およびZ回転によって収差補正を行うことを説明する。ただし以下では説明を簡単にするため、代表的に第1光学要素211のZ駆動およびZ回転によって収差補正を行うことを説明する。

【0025】

第1面211bおよび第2面212bの回転非対称な形状の面は、例えば次式で表される。ただしAおよびBは定数である。

【0026】

$$Z = A(3x^2y - y^3) + B \cdots (1)$$

式1で示される回転非対称な形状は、 $\theta = 0^\circ$ の方向（X軸方向）と、

$$= \arctan(y/x)$$

をパラメータとした極座標表示で表すと、

$$Z = r^3 \sin 3\theta \cdots (2)$$

と等価であり、図5に示すような3回回転対称の非球面形状となる。

【0027】

レチクル109上で回折した光束の主光線は物体側テレセントリックであり、第1面211bおよび第2面212bの非球面形状が相補的な作用をする。そのため、第1光学要素211および第2光学要素212を透過したときの各像高間の位相差はゼロになっている。式1で示される非球面形状を持つ第1光学要素211がだけ回転すると、第1面211bおよび第2面212bの相補性が崩れるが、 d が十分小さいとき、位相差は、

$$K * R^3 \cos 3\theta$$

と表される（ただし、Kは定数）。一方、第1光学要素211が距離dだけZ駆動すると相補性が崩れ、dが十分小さいとき、位相差は、

$$L * d * R^3 \sin 3\theta$$

と表される（ただし、Lは定数）。

【0028】

このように、第1光学要素211のZ回転およびZ駆動のどちらでも、3回回転対称成分の位相差が残存する。投影レンズのレチクル対向箇所に3回回転対称の位相差が発生すると、図4に示されるような、台形状のディストーションが発生することが分かった。第1面211bおよび第2面212bの光軸付近の非球面量は、式2よりほぼ0である。そのため、本実施形態によれば、像高中心は回転やZ駆動による位相変化は起きないため、ディストーションのシフト成分が発生しない。またコマ収差も発生しない。また、光

10

20

30

40

50

軸から半径Rだけ外れた円周上でも位相の一次の傾き成分は発生しないため、像面の傾きも発生しない。よって、特許文献2（特開2014-120682号公報）に開示されるような、光学偏心によって台形状を生成する場合よりも、像高間で発生するアスは抑えられ、有効である。

【0029】

光学要素駆動部22により第1光学要素211をZ回転させることにより、図4(a)、(b)に示されるような、左右の辺(Y方向に沿う2つの辺)が上底、下底をなす台形状のディストーションが発生する。また、光学要素駆動部22により第1光学要素211をZ駆動することにより、図4(c)、(d)に示されるような、上下の辺(X方向に沿う2つの辺)が上底、下底をなす台形状のディストーションが発生する。台形の上底および下底をなす2本の対辺の長さの差をbaseとすると、Z回転の回転方向、Z駆動の駆動方向により、baseの符号が反転し、baseの値は、Z回転の回転角、Z駆動の駆動量によって一意に決まる。したがって、第1光学要素211のZ回転の回転角、Z駆動の駆動量を調整することによって、図9のような、左右の辺の長さが異なる台形base_LR、上下の辺の長さが異なる台形base_UDを含む任意の台形状をそれぞれ補正することができる。

10

【0030】

図7のフローチャートを参照して、実施形態における露光方法の一例を説明する。ウエハがロードされた後、S1で主制御部103は、アライメント計測系124を用いて、下地となる複数のショット領域のそれぞれの形状を計測し、各ショット領域の歪みのデータを記憶部に記憶する。この計測は、露光装置外の計測装置で行われてもよく、その場合には、主制御部103は、外部から各ショット領域の歪みのデータを取得する。

20

【0031】

S2で主制御部103は、各ショット領域の形状に合わせて露光するために、収差の2方向の成分(base_LR成分、base_UD成分)の調整すべき量(調整量)を計算する。

【0032】

S3で光学要素制御部123は、光学要素駆動部22を制御して、base_LR成分とbase_UD成分とを調整するよう第1光学要素211のZ回転およびZ駆動の少なくともいずれかを行う。このとき、他の像ずれ成分をも調整するために、投影光学系制御部114は、光学素子駆動部113を制御して、投影光学系110の光学素子を駆動してもよい。同様に、他の像ずれ成分をも調整するために、ステージ制御部120は、ステージ駆動部119を制御して、ウエハステージ116を駆動してもよい。

30

【0033】

第1光学要素211の駆動が完了したら、S4で主制御部103は、露光を行う。S5で主制御部103は、ステージ制御部120を介してステージ駆動部119を制御して、次の露光すべきショット領域に移動するようにウエハステージ116を駆動する。主制御部103は、S1で得られた歪みのデータおよびS2で計算された調整量に基づき、第1光学要素211の駆動と露光とを繰り返す。S6において全ショット領域の露光が終了したら、主制御部103は、ウエハをアンロードし、次のウエハをロードして上記のフローを繰り返し行う。

40

【0034】

このフローに基づいた露光方法によれば、左右の辺の長さが異なる台形状成分を有する下地のショット形状、または、上下の辺の長さが異なる台形状成分を有する下地のショット形状に合わせた調整を施して露光することができる。これにより重ね合わせ精度が向上する。

【0035】

上述の例では、式1で示される回転非対称な形状を持つ第1光学要素211のZ回転やZ駆動により台形状を補正する例を示した。ここで、特開2014-120682号公報（特許文献2）に開示されている技術を用いると、光学要素駆動部22により第1光

50

学要素 2 1 1 を X 軸方向に沿って駆動することにより、図 3 (c)、(d) に示す T Y _ 4 5 成分のディストーションが発生する。また、第 1 光学要素 2 1 1 を Y 軸方向に沿って駆動することにより、図 3 (a)、(b) に示す T Y _ 0 成分のディストーションが発生する。よって、第 1 光学要素 2 1 1 を X 方向、Y 方向、Z 方向、Z 回転方向の駆動量を同時に制御することで台形成分と縦横倍率差成分の両方を制御することができる。

【 0 0 3 6 】

図 8 (a) に一般的なウエハ内の露光順序の例を示す。各格子はショットを表し、格子間の矢印は、一つ前の露光ショットからのステージ移動方向を示している。図 8 (a) の場合、紙面左右方向 (X 方向) の隣接ショットからのステップ駆動の頻度が高い。一つ前に露光されたショットがウエハに与える熱量によって、ウエハの熱膨張が発生する。ここで、ショットから遠ざかるほど熱膨張量は減る。そうすると、X 方向へのステップ駆動を伴う順次露光においては、左右方向に熱膨張量が変わるため、ショット領域は左右方向に台形の辺の長さが異なるようなディストーション形状となる。この場合、base _ L R の調整量が有効になる。

【 0 0 3 7 】

base _ L R の調整は、第 1 光学要素 2 1 1 および第 2 光学要素 2 1 2 の互いに向き合う内側の第 1 面 2 1 1 b および第 2 面 2 1 2 b の 3 回回転対称の非球面形状と関係する。これら内側の面 2 1 1 b および 2 1 2 b を式 1 で表されるような \sin^3 の位相を持つ非球面形状とすることにより、相補的な光学素子の回転駆動によって base _ L R を発生させることができる。一般に、回転駆動の方が Z 駆動に比べて高速に動かすことができるため、図 8 (a) のショット露光順序の際には \sin の位相を持つ非球面が望ましい。T Y _ 0 成分および T Y _ 4 5 成分 (特開 2 0 1 4 - 1 2 0 6 8 2 号公報 (特許文献 2) 参照。) の調整はそれぞれ、光学要素の X 方向および Y 方向への駆動によって実現され、いずれも光学要素の水平方向の駆動であるため、同一平面上のシフトと回転の駆動を単純な機構で構成可能である。

【 0 0 3 8 】

本実施形態において、第 1 光学要素 2 1 1 は、露光光の光軸に関して 3 回回転対称な非球面形状を持つ第 1 面 2 1 1 b を有する。また、第 2 光学要素 2 1 2 は、第 1 面 2 1 1 b と対向し、第 1 光学要素 2 1 1 で発生する収差を相補的に補正する非球面形状を持つ第 2 面 2 1 2 b を有する。

【 0 0 3 9 】

第 1 光学要素 2 1 1 および第 2 光学要素 2 1 2 の互いに向き合う第 1 面 2 1 1 b および第 2 面 2 1 2 b の回転非対称な形状は、例えば次式で表される形にしてもよい。ただし、C、D は定数である。

【 0 0 4 0 】

$$Z = C (x^3 - 3 x y^2) + D \cdots (3)$$

【 0 0 4 1 】

式 3 を極座標表示で表すと、次式のようになる。

【 0 0 4 2 】

$$Z = r^3 \cos 3 \theta \cdots (4)$$

【 0 0 4 3 】

第 1 光学要素 2 1 1 の回転量により上下の辺の長さが異なる台形 base _ U D のディストーションが発生し、第 1 光学要素 2 1 1 の Z 駆動の駆動量により左右の辺の長さが異なる台形 base _ L R のディストーションが発生する。また、第 1 光学要素 2 1 1 を Y 方向に駆動することにより、図 3 の (c)、(d) に示す T Y _ 4 5 成分のディストーションが発生する。さらに、第 1 光学要素 2 1 1 を X 方向に駆動することにより、図 3 の (a)、(b) に示す T Y _ 0 成分のディストーションが発生する。

【 0 0 4 4 】

ウエハ内の露光順序を図 8 (b) のようにする場合には、紙面上下方向 (Y 方向) の隣接ショットからのステップ駆動の頻度が高い。Y 方向の駆動では図 8 (b) の紙面上下方

10

20

30

40

50

向に膨張が変わるため、ショット領域は紙面上下方向に台形の辺の長さが異なるようなディストーション形状となる。この場合、 $base_UD$ の調整量が有効的になる。

【0045】

$base_UD$ の調整は、第1光学要素211および第2光学要素212の互いに向き合う第1面211bおよび第2面212bの3回回転対称の非球面形状と関係する。これら第1面211bおよび第2面212bを式3で表されるような $\cos 3$ の位相を持つ非球面形状とすることにより、相補的な光学素子の回転駆動によって $base_UD$ を発生させることができる。図8(b)のショット露光順序の際には \cos の位相を持つ非球面が望ましい。

【0046】

露光装置は、生産効率の観点から、一般にショット領域の露光順序に規則性がある。上記のように、第1光学要素211および第2光学要素212の互いに向き合う第1面211bおよび第2面212bを、ウエハ内のショット領域の露光順序に応じた非球面形状とすることにより、単純な駆動機構の構成で重ね合せ精度を向上させることができる。

【0047】

第1光学要素211および第2光学要素212の互いに向き合う第1面211bおよび第2面212bの非球面形状については、式1および式3の例を挙げたが、これに限定されない。例えば、次の式5、式6のように表される3回回転対称の非球面形状であっても、同様の効果が得られる。ただし、 $f()$ 、 $g()$ は z を変数とする関数、 E 、 F は定数である。

【0048】

$$Z = f(\theta) \cos 3\theta + E \cdots (5),$$

$$Z = g(\theta) \sin 3\theta + F \cdots (6)$$

このように、3回回転対称の非球面を持つ光学要素の回転および z 駆動の少なくともいづれかにより、効果的に下地の台形状のディストーションを補正することができる。

【0049】

<第2実施形態>

次に、図10を参照して、台形状を持つ歪曲収差を調整する収差補正部材21を用いた露光方法の別の例について説明する。 $S11$ で、主制御部103は、露光前に、前のショットの露光光によるウエハ変形の影響度の情報を取得する。露光光によるウエハ変形の影響度は、例えば、露光エネルギーによる入熱パラメータと、前ショットからのステージ移動ベクトルに関するパラメータと、ウエハの物性に関するパラメータ等の露光条件に基づいて決定される。

【0050】

ウエハの物性に関するパラメータは、線膨張係数および熱伝導率を含みうる。線膨張係数により、熱によるウエハの伸縮係数が決定される。また、前のショット領域の中心と次に露光するショット領域の両端との距離の差が存在するため、ウエハの熱伝導率に相応する、ショット領域の両端の膨張率の差が発生する。ウエハには、例えば、 Si 、 $GaAs$ 、あるいはガラス基板など、物性が異なる基板が使われうる。また、ウエハには、下地処理プロセスによって Cu 層が構成されることもある。これらのことから、ウエハの物性に变化が生じうる。

【0051】

露光エネルギーによる入熱パラメータは、露光量、ウエハの露光光反射率、透過率を含みうる。ウエハ上に塗布されている感光剤は、その種類に応じた適正露光量が決まっている。ショット領域のサイズと露光量との積によって照射エネルギーが求まり、このうち、基板の反射光、透過光を除いたエネルギーがウエハの熱変形に寄与する吸収エネルギーである。ウエハには、この吸収エネルギーに比例した熱変形が発生する。

【0052】

ステージ移動ベクトルに関するパラメータは、ショット間ピッチと複数のショット領域の露光順序の情報を含む。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 3 】

ウエハ上の各ショット間のピッチは、逐次的に露光する露光装置のショット領域間の基板ステージの駆動時間に関係する。したがって、ウエハ上の各ショット間のピッチによって、前ショットの露光完了後から対象ショットの露光開始までの時間が決定される。ショットの露光順序によって、前ショットの中心と露光ショットとの位置関係が決まり、露光ショットに伝達する熱の分布が求まるため、ショット端部の基板の膨張率の差が決定される。これは台形状の向きを表す。

【 0 0 5 4 】

また、複数のウエハへ連続的に露光していく場合には、ウエハステージの蓄熱量も重要なパラメータになる。ウエハステージの温度が上昇することにより、ウエハ搭載後のウエハの熱変形が発生するためである。

10

【 0 0 5 5 】

例えば、主制御部 1 0 3 は、複数の条件で実際に露光を行い、その結果として現れたディストーションを計測することにより、条件毎のウエハ変形の影響度を求め、これをデータベース（テーブル）として記憶部に記憶しておく。主制御部 1 0 3 は、S 1 1 では、このテーブルを参照して影響度を取得してもよい。あるいは、条件毎のウエハ変形の影響度を関数化しておき、主制御部 1 0 3 は、露光時の条件をその関数に当てはめることにより影響度を算出してもよい。

【 0 0 5 6 】

このように、前ショットの露光熱がウエハ変形に与える影響を決定するパラメータ（条件）を取得することにより、発生する台形成分を予測することができる。

20

【 0 0 5 7 】

次に、S 1 2 で、主制御部 1 0 3 は、S 1 1 で取得した影響度に基づいて、台形成分の発生量を予測する。主制御部 1 0 3 は、予測された台形成分の発生量に基づいて、光学要素制御部 1 2 3 により台形成分を補正するために必要な光学要素の駆動量を算出する。S 1 3 で、主制御部 1 0 3 は、光学要素駆動部 2 2 を制御して、S 1 2 で算出された駆動量で、第 1 光学要素 2 1 1 の Z 回転および Z 駆動の少なくともいずれかを行う。以上の収差補正が行われた後、S 1 4 で、主制御部 1 0 3 は露光を行う。

【 0 0 5 8 】

上記した露光方法によれば、ウエハの物性や露光装置の露光量、ステージ駆動速度等に応じて、露光光の熱によるウエハの変形量が変化する場合にも、ディストーションの台形成分を良好に補正して露光を行うことができる。

30

【 0 0 5 9 】

なお、上述の実施形態では、台形成分を補正する例を示したが、補正対象は台形成分に限定されない。

【 0 0 6 0 】

また、上述の実施形態では、例えば式 1 の形状を持つ第 1 光学要素 2 1 1 の X 方向の駆動によって T Y __ 0 成分を、Y 方向の駆動によって T Y __ 4 5 成分を調整できることを示した。したがって、Z 回転、Z 駆動、Z 方向の駆動、Y 方向の駆動を組み合わせることにより、任意の方向の縦横倍率差成分の調整および台形状の補正を行うが可能となる。

40

【 0 0 6 1 】

上記のとおり、ウエハ上の大部分のショット領域に必要な b a s e __ L R の調整は、Z 回転により行われる。また、T Y __ 0 成分および T Y __ 4 5 成分はそれぞれ、X 方向の駆動および Y 方向の駆動により行われる。いずれも第 1 光学要素 2 1 1 の水平方向の駆動であるため、単純な駆動機構の構成で補正が実現される。

【 0 0 6 2 】

このように、実施形態によれば、収差補正部材は、3 回回転対称の非球面を持つ光学要素の Z 回転の機構および Z 駆動の機構の少なくともいずれかを有する。これにより、前のショットの露光光による基板変形の影響度を取得して、効果的に台形状のディストーションを補正することができる。

50

【 0 0 6 3 】

なお、本発明は、下地のディストーションを計測して台形成分を下地に合わせて補正することに限定されない。第 1 レイヤーのディストーションの台形成分を補正して、格子等の所望の形状に近づけるディストーションにしておき、第 2 レイヤー以降で露光する際の重ね合せ精度を向上させることもできる。

【 0 0 6 4 】

< 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。

【 0 0 6 5 】

< 他の実施形態 >

本発明は、上述の実施形態の 1 以上の機能を実現するプログラムを、ネットワーク又は記憶媒体を介してシステム又は装置に供給し、そのシステム又は装置のコンピュータにおける 1 つ以上のプロセッサがプログラムを読み出し実行する処理でも実現可能である。また、1 以上の機能を実現する回路（例えば、ASIC）によっても実現可能である。

【 0 0 6 6 】

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 6 7 】

2 1 : 収差補正部材、1 0 0 : 光源、1 0 3 : 主制御部、1 0 4 : 照明光学系、1 1 0 : 投影光学系、1 1 6 : ウエハステージ

10

20

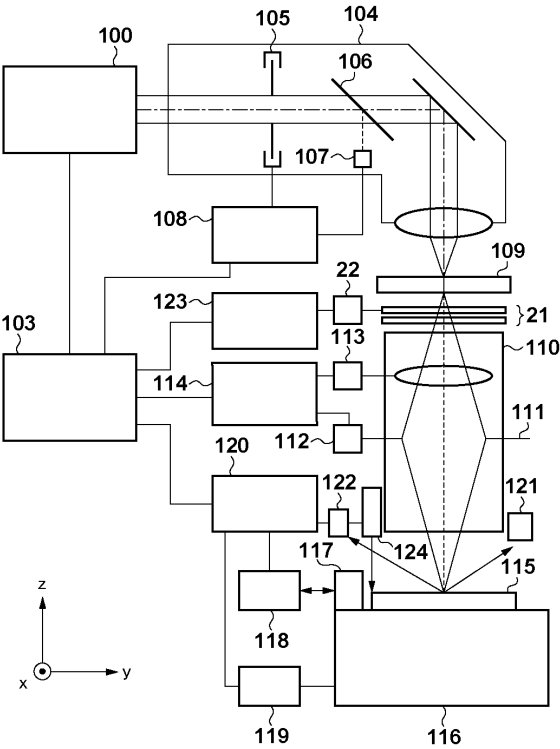
30

40

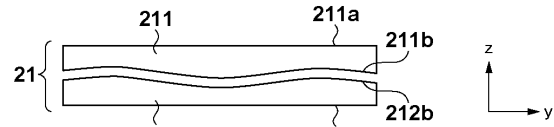
50

【図面】

【図 1】



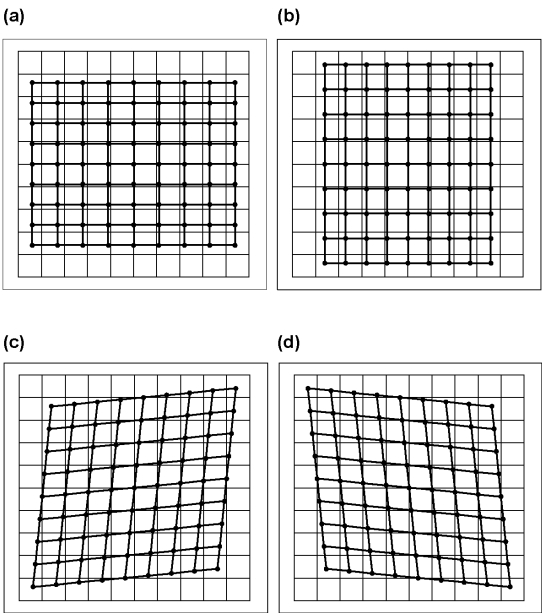
【図 2】



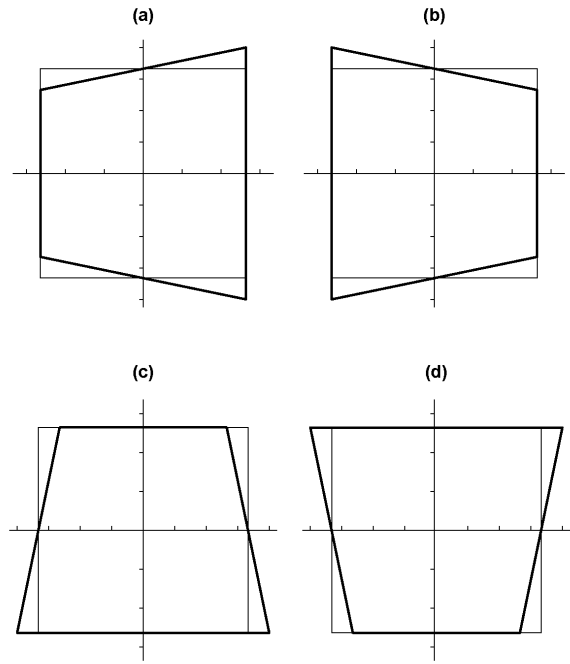
10

20

【図 3】



【図 4】

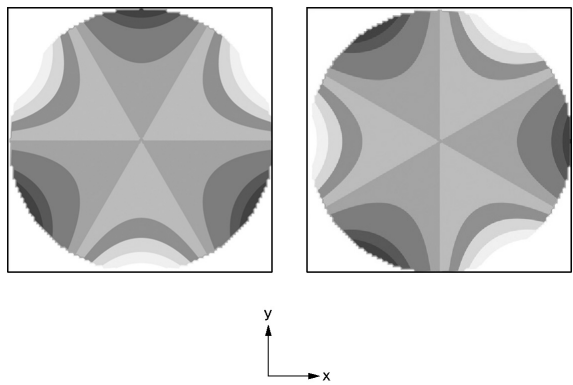


30

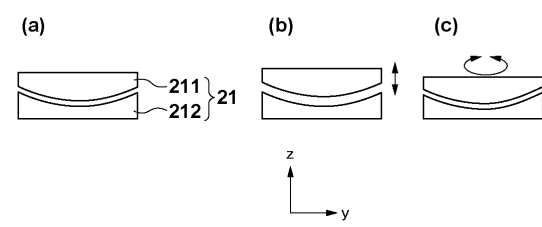
40

50

【図 5】

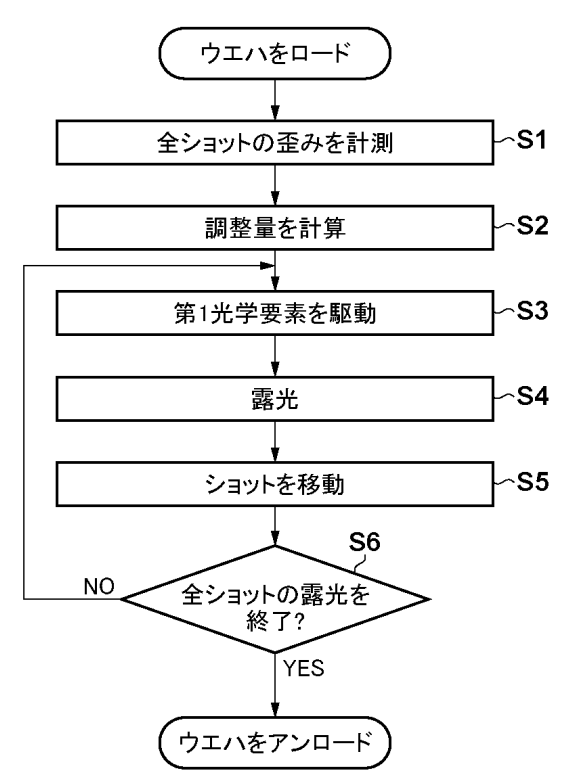


【図 6】

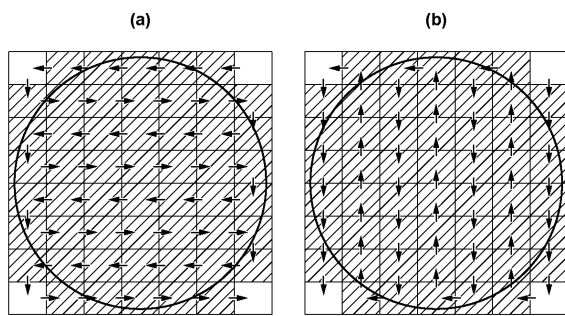


10

【図 7】



【図 8】



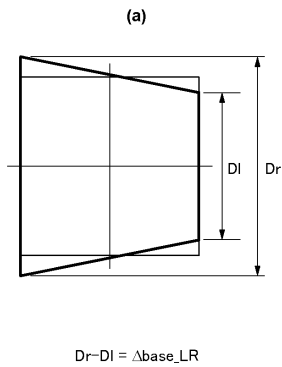
20

30

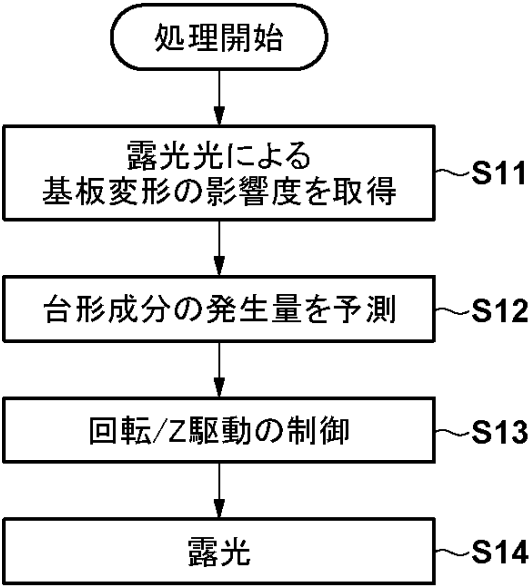
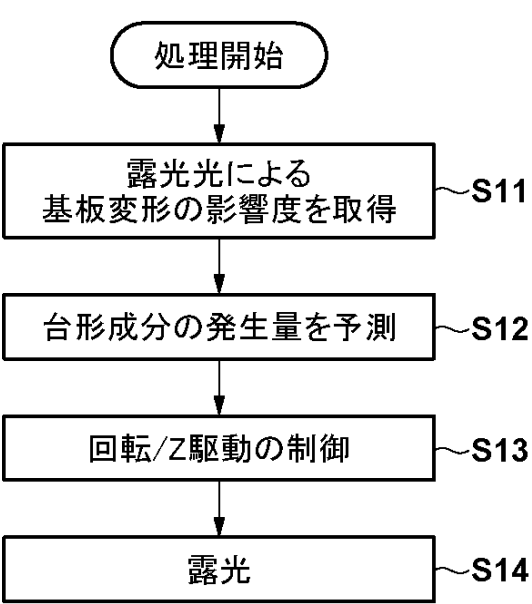
40

50

【図 9】



【図 10】



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 4 - 1 2 0 6 8 2 (J P , A)
特開平 1 0 - 1 4 2 5 5 5 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 2 6 6 6 8 7 (J P , A)
特開平 1 1 - 2 5 1 2 1 2 (J P , A)
特開平 0 9 - 0 8 2 6 0 1 (J P , A)
特開 2 0 1 4 - 1 6 8 0 3 1 (J P , A)
特開 2 0 0 8 - 0 2 8 3 8 8 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
G 0 3 F 7 / 2 0
G 0 3 F 7 / 2 2
G 0 2 B 1 3 / 2 4
G 0 2 B 1 3 / 1 8