

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7054365号

(P7054365)

(45)発行日 令和4年4月13日(2022.4.13)

(24)登録日 令和4年4月5日(2022.4.5)

(51)国際特許分類

F I

G 0 3 F 7/20 (2006.01)

G 0 3 F 7/20

G 0 2 B 13/24 (2006.01)

G 0 3 F 7/20 5 2 1

G 0 1 M 11/02 (2006.01)

G 0 2 B 13/24

G 0 1 M 11/02 B

請求項の数 11 (全16頁)

(21)出願番号 特願2018-100863(P2018-100863)

(22)出願日 平成30年5月25日(2018.5.25)

(65)公開番号 特開2019-204058(P2019-204058
A)

(43)公開日 令和1年11月28日(2019.11.28)

審査請求日 令和3年5月11日(2021.5.11)

(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

(74)代理人 110003281

特許業務法人大塚国際特許事務所

(72)発明者 竹下 文祐

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

(72)発明者 住吉 雄平

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

(72)発明者 坂本 憲稔

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 田中 秀直

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 評価方法、露光方法、および物品製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

露光装置における投影光学系の収差を評価する評価方法であって、
前記投影光学系の光軸に対して非対称な収差の予測式の予測係数を取得する取得工程と、
マスクの照明領域の形状が前記光軸に対して対称か非対称かを判定する判定工程と、
前記予測係数を用いて前記投影光学系の収差を評価する評価工程と、を有し、
前記評価工程において、
前記判定工程で前記マスクの照明領域の形状が前記光軸に対して非対称であると判定された場合には、前記予測係数を用いて前記投影光学系の収差を評価する
ことを特徴とする評価方法。

【請求項2】

前記取得工程は、
複数の露光処理のそれぞれにおいてフォーカス誤差および像ずれ誤差を計測する工程と、
前記計測の結果に基づいて前記非対称な収差の時系列データを取得する工程と、
前記非対称な収差の時系列データに対して前記予測式をフィッティングすることにより前記予測係数を取得する工程と、
を含むことを特徴とする請求項1に記載の評価方法。

【請求項3】

前記複数の露光処理は、それぞれ照明領域が異なる複数の露光処理を含むことを特徴とする請求項2に記載の評価方法。

【請求項 4】

前記取得工程において、前記投影光学系の光軸に対して対称な収差の予測式である第 1 予測式の予測係数である第 1 予測係数を取得するとともに、前記投影光学系の光軸に対して非対称な収差の予測式である第 2 予測式の予測係数を第 2 予測係数として取得し、
前記評価工程において、
前記判定工程で前記マスクの照明領域の形状が前記光軸に対して対称であると判定された場合には、前記第 1 予測係数を用いて前記投影光学系の収差を評価し、
前記判定工程で前記マスクの照明領域の形状が前記光軸に対して非対称であると判定された場合には、前記第 1 予測係数と前記第 2 予測係数とを用いて前記投影光学系の収差を評価する、
ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の評価方法。

10

【請求項 5】

前記取得工程は、
複数の露光処理のそれぞれにおいてフォーカス誤差および像ずれ誤差を計測する工程と、
前記計測の結果に基づいて前記対称な収差および前記非対称な収差の時系列データを取得する工程と、
前記対称な収差の時系列データに対して前記第 1 予測式をフィッティングすることにより前記第 1 予測係数を取得し、前記非対称な収差の時系列データに対して前記第 2 予測式をフィッティングすることにより前記第 2 予測係数を取得する工程と、
を含むことを特徴とする請求項 4 に記載の評価方法。

20

【請求項 6】

前記判定工程は、露光領域の重心が前記光軸の近傍にある場合、前記マスクの照明領域の形状が前記光軸に対して対称であると判定することを特徴とする請求項 4 に記載の評価方法。

【請求項 7】

前記判定工程は、前記マスクが複数の領域にそれぞれ異なるレイヤのパターンが形成されたマルチレイヤレチクルである場合、前記マスクの照明領域の形状が非対称であると判定することを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の評価方法。

【請求項 8】

露光シーケンスの間にフォーカス誤差および像ずれ誤差を計測し、該計測の結果に基づいて前記対称な収差および前記非対称な収差のデータを取得し、該取得したデータに基づいて、前記第 1 予測係数および前記第 2 予測係数を補正する工程を更に有することを特徴とする請求項 4 または 5 に記載の評価方法。

30

【請求項 9】

前記非対称な収差は、軸ずれ、偏心ディストーション、片ボケ、軸上コマ、片ボケアスの少なくともいずれか 1 つを含むことを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の評価方法。

【請求項 10】

マスクに形成されているパターンを投影光学系を介して基板に投影して該基板を露光する露光装置によって行われる露光方法であって、
請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の評価方法を用いて前記投影光学系の収差を評価する工程と、
前記評価の結果に基づいて前記露光装置を調整する工程と、
前記調整された前記露光装置を用いて前記基板を露光する工程と、
を有することを特徴とする露光方法。

40

【請求項 11】

請求項 10 に記載の露光方法に従い基板を露光する工程と、
前記工程で前記露光された基板を現像する工程と、
を有し、
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。

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、露光装置における投影光学系の収差を評価する評価方法、露光方法、および物品製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

露光装置においては、露光に伴い投影光学系が露光エネルギーを吸収することにより結像特性が変動することが知られている。このような露光に伴う結像特性の変動は、露光収差と呼ばれている。露光収差はフォーカス誤差やアライメント誤差の要因となるため、従来、露光装置では露光収差に対する補正が行われている。

10

【0003】

特許文献1には、レンズ加熱によって生じる結像特性の変動を、レンズ加熱の影響をモデル化した時間の関数を用いて予測する方法が開示されている。また、特許文献2には、露光によって時定数をもって経時変化する投影光学系の収差を求めるための式における時定数を含む項の係数を像高毎に求め、それら像高毎の係数に基づいて像高毎の収差を求める方法が開示されている。

【0004】

露光装置は、様々な有効光源形状、様々な透過率を有するレチクル、様々な感光特性を有するレジストなど、様々な露光条件で使用され得る。そのため、各々の露光条件に応じて最適な補正係数を算出する必要がある。特許文献1では、係数の微細較正を、複数の異なる照明設定で、および/または、複数の異なるパターンで、および/または、複数の異なる基板で、逐次行うのが好ましい、としている。また、特許文献2では、パターン内の露光領域を分割して得られる複数の領域のそれぞれに関して透過率を求める。その後、複数の領域のうちの1つの領域を介した単位露光量での露光により投影光学系に像高毎に生じるあらかじめ求められた収差と、該1つの領域の透過率に基づく重み付け係数とを乗算する。そして、該乗算により得られた値の複数の領域に関する総和により、像高毎に係数を求める。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

30

【0005】

【文献】特開2002-015997号公報

特許第5406437号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

半導体デバイスの製造においては、複数層のリソグラフィ工程を経てデバイスが製作される。したがって、通常は、各レイヤに応じたそれぞれ異なるパターンを有するレチクルを、レイヤ数と同じ枚数だけ用意する必要がある。しかし、1枚のレチクルを複数レイヤのリソグラフィ工程で使いまわすことができるようにする手法もある。1枚のレチクル中の複数の領域に、異なるレイヤのパターンをそれぞれ設け、所望のレイヤのパターン以外は視野絞りなどで遮光して露光する。このような手法で用いられるレチクルは、マルチレイヤレチクルとよばれる。このようなマルチレイヤレチクルを用いることによりマスク枚数を削減でき、マスク作製にかかるコスト低減の点で有利となりうる。

40

【0007】

しかし、マルチレイヤレチクルを用いて露光を行うと、投影光学系の光軸に対してマスクが非対称に照明されることになる。そうすると、投影光学系はその光軸に対して非対称に加熱され、偏心収差が発生する。従来、このような偏心収差を補正することは行われてこなかった。

【0008】

50

本発明は、例えば、投影光学系がその光軸に対して非対称に加熱されることにより発生する偏心収差を評価す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】

【0009】

本発明の一側面によれば、露光装置における投影光学系の収差を評価する評価方法であって、前記投影光学系の光軸に対して非対称な収差の予測式の予測係数を取得する取得工程と、マスクの照明領域の形状が前記光軸に対して対称か非対称かを判定する判定工程と、前記予測係数を用いて前記投影光学系の収差を評価する評価工程と、を有し、前記評価工程において、前記判定工程で前記マスクの照明領域の形状が前記光軸に対して非対称であると判定された場合には、前記予測係数を用いて前記投影光学系の収差を評価することを特徴とする評価方法が提供される。

10

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、例えば、影光学系がその光軸に対して非対称に加熱されることにより発生する偏心収差を評価す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】

【0011】

【図1】実施形態における露光装置の構成を示す図。

【図2】マルチレイヤレチクルの例を示す図。

【図3】通常のシングルレイヤレチクルの例を示す図。

【図4】像ずれ誤差の分類を説明する図。

【図5】フォーカス誤差の分類を説明する図。

【図6】コマ収差の分類を説明する図。

【図7】マルチレイヤレチクルを用いて露光を行った場合に発生する露光収差を説明する図。

20

【図8】実施形態における露光収差を評価する方法のフローチャート。

【図9】マークを有するマルチレイヤレチクルの例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、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、以下の実施形態は本発明の実施の具体例を示すにすぎないものであり、本発明は以下の実施形態に限定されるものではない。また、以下の実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせの全てが本発明の課題解決のために必須のものであるとは限らない。

30

【0013】

<第1実施形態>

図1は、基板上に形成された複数のショット領域のそれぞれに順次露光を行う露光装置100の構成を示す図である。光源1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より射出した光は、照明光学系4の整形光学系（不図示）を介して所定のビーム形状に整形される。整形されたビームは更に、オプティカルインテグレータ（不図示）に入射され、ここで、後述する原版としてのレチクル9（マスク）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。照明光学系4の光路上には、マスキングブレードとも呼ばれる視野絞り5が設けられており、照明系制御部8によってその絞り開口の位置および大きさが制御される。例えば、マスキングブレードは、照明領域を四角い形状に制限する視野絞りであって、その四辺が移動できるように構成されている。それにより、マスク上の任意の領域を照明することができる。

40

【0014】

照明光学系4の光路上にはハーフミラー6が配置され、レチクル9を照明する露光光の一部がこのハーフミラー6により反射され取り出される。ハーフミラー6の反射光の光路上には露光光用のフォトセンサ7が配置されている。フォトセンサ7は、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。

50

【 0 0 1 5 】

レチクル 9 は、複数の領域にそれぞれ異なるレイヤのパターンが形成されたマルチレイヤレチクルでありうる。図 2 に、マルチレイヤレチクルの例を示す。レチクル 9 は、それぞれレイヤのパターンが描画されている複数の領域を有する。領域の数は任意である。図 2 (a) は、領域を 2 分割した例であり、レチクル 9 は、複数の領域 9 1 , 2 9 を有する。図 2 (b) は、領域を 4 分割した例であり、レチクル 9 は、複数の領域 9 1 , 9 2 , 9 3 , 9 4 を有する。図 2 (c) は、領域を 6 分割した例であり、レチクル 9 は、複数の領域 9 1 , 9 2 , 9 3 , 9 4 , 9 5 , 9 6 を有する。

【 0 0 1 6 】

説明を図 1 に戻す。照明系制御部 8 によって視野絞り 5 の絞り開口の位置および大きさを制御することにより、レチクル 9 の複数の領域のうち照明する領域が選択されうる。投影光学系 1 0 は、例えば、屈折型またはカタディオプトリック系などの投影光学系であり、フォトレジストが塗布された感光性の基板 1 5 上の 1 つのショット領域に、レチクル 9 のパターンの像を縮小倍率 (例えば $= 1 / 2$) で縮小投影する。

【 0 0 1 7 】

投影光学系 1 0 の瞳面 (レチクル 9 に対するフーリエ変換面) 上には、開口部が略円形である開口絞り 1 1 が配置されている。開口絞り 1 1 の開口部の径は、駆動部 1 2 によって制御されうる。駆動部 1 3 は、投影光学系 1 0 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 1 0 の光軸に沿って移動させる。これにより、投影光学系 1 0 の諸収差の増大を防止しつつ、投影倍率を良好にさせ歪曲誤差を減らしている。投影系制御部 1 4

【 0 0 1 8 】

基板 1 5 を保持する基板ステージ 1 6 は、少なくとも投影光学系 1 0 の光軸に垂直な平面上で移動および回転が可能である。本実施形態では、基板ステージ 1 6 は、3 次元方向に移動可能であり、投影光学系 1 0 の光軸方向 (Z 方向) 、及びこの方向に直交する面内 (X - Y 面) を移動できる。ここでは、投影光学系 1 0 の光軸と平行にかつ基板 1 5 からレチクル 9 に向かう方向を Z 軸とし、それと直交する方向に X 軸と Y 軸をとる。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。基板ステージ 1 6 に固定された移動鏡 1 7 との間の距離をレーザ干渉計 1 8 で計測することで基板ステージ 1 6 の X - Y 面位置が検出される。また、アライメント計測系 2 4 を用いて、基板 1 5 と基板ステージ 1 6 の位置ずれが計測される。

【 0 0 1 9 】

ステージ制御部 2 0 は、主制御部 3 の制御の下、アライメント計測系 2 4 による計測の結果に基づいて駆動部 1 9 を制御することで、基板ステージ 1 6 を所定の X - Y 面位置へ移動させる。主制御部 3、投影系制御部 1 4、ステージ制御部 2 0 および照明系制御部 8 は、露光装置 1 0 0 の制御部 C を構成している。主制御部 3 は、例えば、CPU 3 1 およびメモリ 3 2 を含むコンピュータ装置で構成されうる。

【 0 0 2 0 】

投光光学系 2 1、受光光学系 2 2 は、フォーカス面検出部を構成している。投光光学系 2 1 は基板 1 5 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、その光束は基板 1 5 上に各々集光されて反射される。基板 1 5 で反射された光束は、受光光学系 2 2 に入射される。図示は略したが、受光光学系 2 2 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いる。各受光素子の受光面と基板 1 5 上での各光束の反射点が受光光学系 2 2 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 1 0 の光軸方向における基板 1 5 面の位置ずれは、受光光学系 2 2 内の位置検出用の受光素子上の入射光束の位置ずれとして計測される。

【 0 0 2 1 】

前述したように、レチクル 9 は、複数の領域にそれぞれ異なるレイヤのパターンが形成されたマルチレイヤレチクルでありうる。マルチレイヤレチクルを用いて露光を行うと、マスクが非対称な形状に照明される。そのとき、投影光学系中の光路も非対称になる。そう

10

20

30

40

50

すると、投影光学系はその光軸に対して非対称に加熱され、偏心収差が発生する。

【 0 0 2 2 】

ここで、マスクが非対称な形状に照明されるというのはどういうことか説明しておく。レチクル 9 がマルチレイヤレチクルでない通常のシングルレイヤレチクルである場合、例えば、図 3 に示されるように、レチクル 9 の照明領域 9 0 は、投影光学系の光軸に対して対称な形状になる。ここでいう対称とは、照明領域の重心が、投影光学系の光軸と略一致するということである。図 3 では、投影光学系の光軸とマスク面との交点を原点にとっている。実線がレチクル 9 の外形、破線が照明領域 9 0 を表している。図 3 (a) はステップアンドリピート (ステップ) 方式の場合を表し、図 3 (b) はステップアンドスキャン (スキャナ) 方式の場合を表している。いずれの場合においても、照明領域の左端と右端が原点から等距離、また、照明領域の上端と下端が原点から等距離にあり、対称形状をしていることが分かる。なお、ステップアンドスキャン方式の場合は、露光中、照明領域は投影光学系に対して固定されたままで、レチクルが Y 軸に沿って移動する。すなわち、照明領域の対称性は、レチクルに対しては保たれないものの、投影光学系基準では維持される。

10

【 0 0 2 3 】

一方、マルチレイヤレチクルを用いて露光を行う場合、図 2 に示した複数のレイヤ領域のうちの 1 つを照明することになる。すると、照明領域 (= レイヤ領域) の重心は投影光学系の光軸とは一致しなくなり、投影光学系中を通過する光束は対称的ではなく偏りを持つことになる。本明細書では、このような状態を、「マスクが非対称な形状に照明される」と呼ぶ。

20

【 0 0 2 4 】

ここで、非対称な収差について説明しておく。以下で説明するように、非対称な収差は、軸ずれ、偏心ディストーション、片ボケ、軸上コマ、片ボケアスの少なくともいずれか 1 つを含む。図 4 は、様々な像ずれ誤差を分類したものである。図 4 は、投影光学系の光軸と投影光学系の像面との交点を原点にして、像面内に x , y 軸をとり、像面における画面の歪み (x , y 軸方向の像シフト) を示している。破線の格子が理想的に投影された場合の 1 ショットを表しており、実線の格子が、歪みを有する場合の 1 ショットを表している。対称な誤差に分類されるのは、(a) 倍率誤差、(b) 対称 3 次歪曲、(c) 縦横倍率差 (0 ° 方向)、(d) 縦横倍率差 (4 5 ° 方向) などである。これらは、回転対称性を持つという特徴を持つ。例えば、(a) 倍率誤差および (b) 対称 3 次歪曲は、原点を中心に回転させたとき、1 回転する間に 4 回、自身と重なる角度がある、すなわち、4 回対称性を有する。また、(c) 縦横倍率差 (0 ° 方向) および (d) 縦横倍率差 (4 5 ° 方向) は、2 回対称性を有する。このように、回転対称性を有する収差を「対称な収差」と呼ぶ。

30

【 0 0 2 5 】

一方、図 4 において非対称な誤差に分類されるのは、(e) 軸ずれ、(f) 偏心ディストーション (E 成分)、(g) 偏心ディストーション (F 成分) である。これらは回転対称性を有しない。このように回転対称性を有しない収差を「非対称な収差」と呼ぶ。なお、(f) 偏心ディストーション (E 成分) および (g) 偏心ディストーション (F 成分) は、y 方向を向いた偏心ディストーションを例示しているが、実際にはあらゆる方位の偏心ディストーションが発生しうる。軸ずれも同様に任意の方位にずれ得る。その場合でも、非対称という性質は保存される。なお、ここに示しただけでなく、さらに高次の像ずれ成分 (対称、非対称) も考えることができる。

40

【 0 0 2 6 】

また、図 5 は、フォーカス誤差を分類したものである。図 5 は、投影光学系の光軸と像面との交点を原点にして、光軸と平行に z 軸、像面に平行に x , y 軸をとり、像面におけるフォーカス誤差 (z 軸方向の像シフト) を示している。破線の格子が理想的に投影された場合の 1 ショットを表しており、実線の格子が、フォーカス誤差を有する場合の 1 ショットを表している。ただし、実線の格子が 2 つある場合は、次の 2 つを示している。1 つは、水平パターン (水平パターン) に対するベストフォーカスをつないで構成され

50

る面（H像面）である。もう1つは、ヴァーティカルパターン（垂直パターン）に対するベストフォーカスをつないで構成される面（V像面）である。非点収差がある場合などに、H像面とV像面が乖離する現象が現れ、図はそのような場合を示している。対称な誤差に分類されるのは、（a）フォーカスシフト、（b）軸上非点収差、（c）像面湾曲である。これら対称成分は、像ずれの場合と同様に、回転対称性を有している。すなわち、光軸周りに回転させたとき、収差の形状が回転前と一致する角度が、少なくとも1つはある。一方、非対称な誤差に分類されるのは、（d）片ボケ、（e）非点片ボケである。これらは回転対称性を有しない。

【0027】

また、図6は、コマ収差を分類したものである。図6は、投影光学系の光軸と像面との交点を原点にして、像面に平行にx, y軸をとり、像面におけるコマ収差の大きさと方向をベクトルで示している。対称な誤差に分類されるのは（a）3次収差のコマである。これは、原点からの距離に比例して等方的にコマが発生しており、対称な形状をしている。一方で、非対称な誤差に分類されるのは、（b）中心コマである。これは、画面内一様に同じ方向で同じ大きさのコマが発生しており、回転対称性を有しない。ただし、（b）は、ある一方向を向いた中心コマを例示したものであり、実際には任意の方位のコマ収差が発生しうる。

【0028】

以上、代表的な収差について、対称なものと非対称なものを説明した。もっとも、これらの、ディストーション、フォーカス誤差、非点収差、コマ収差以外にも、他の収差成分についても、同じように非対称成分を考えることができる。例えば、波面収差をZernike多項式で展開して表される各々の成分についても、画面内で非対称に分布するような成分を考えることができる。

【0029】

本発明者は、マルチレイヤレチクルを用いて露光を行った場合、以上で述べたような非対称な成分の収差が露光収差として発生することを見出した。図7は、マルチレイヤレチクルを用いて露光を行った場合に発生する露光収差をシミュレーションによって求めたものである。図7において、（a）は、投影光学系の最大露光可能領域110と、実際に露光に用いる領域101を示している。（b）は、そのときに発生する像ずれ（ディストーション）を示している。また、（c）は、そのときに発生するフォーカス誤差を示している。いずれも、露光に用いる部分に集中的に誤差が発生し、最大露光領域全体で見ると、非対称な形状をしていることがわかる。このような非対称な収差を従来の倍率変動、対称3次歪曲、縦横倍率差、フォーカスシフト、像面湾曲などの対称な収差の組み合わせで表現することは難しい。したがって、そのような対称的な収差を基底とするシステムでは、このような非対称な露光収差については、発生量を予測するのも、また、補正を行うのも困難であった。

【0030】

なお、特許第5406437号公報（特許文献2）では、像高毎に露光収差係数を保持するため、このような非対称な収差成分にも対応できる可能性はあるといえる。しかし、像高毎に係数（パラメータ）を保持する必要があるため、決定すべきパラメータ数が多く、パラメータ取得のために行う実験量が膨大で時間がかかるという問題がある。これに対し、本実施形態は、マルチレイヤレチクルのように非対称な露光領域で露光を行った際にも、発生する非対称な露光収差を簡便な方法で補正することを可能にする。

【0031】

図8は、本実施形態における、露光収差を評価する方法のフローチャートである。S1で、主制御部3は、非対称な収差の予測係数を取得する。以下、S1の具体的な内容を説明する。

【0032】

S1では、デバイス製作の前にあらかじめ露光装置100を用いて、実験により非対称な収差の予測係数を取得する。同じ機種 of 露光装置であれば、1台の装置で算出した標準的

10

20

30

40

50

な予測係数を、他の装置にそのまま適用してもよい。ただし、装置の個体差などにより予測係数は若干異なる場合があるため、精度が高い予測係数が必要な場合には、装置毎に予測係数を実験で求め直すとよい。

【 0 0 3 3 】

この予測係数を取得する実験は、工場における組立・調整工程の際に行ってもよいし、また、装置をインストールする際に行ってもよい。あるいは、それに加えて、マルチレイヤレチクルを使用する機会がある都度、行ってもよい。用いるマルチレイヤレチクルが特定されている場合には、当該レチクルを用いて予測係数の取得を行えば、より精度の高い予測係数が得られる。

【 0 0 3 4 】

以下、非対称な収差の予測係数の取得方法を具体的に説明する。非対称な収差の予測係数を取得するには、まず、視野絞り 5 を、マルチレイヤレチクルを用いる時と同じように最大露光領域の一部分しか使わないような局所的な配置に設定する。次に、テスト用のレチクルを露光装置 1 0 0 にセットする。テスト用のレチクルは、フォーカス誤差や像ずれ誤差を計測するのに必要なマークが露光領域内に十分な数だけ配置されているレチクルである。例えば、テスト用のレチクルには、それらのマークが格子状に配置されている。ただし、フォーカス誤差や像ずれ誤差を計測するのに必要なマークが配されていれば、半導体デバイスを製造するためのマルチレイヤレチクルそのものを用いてもよい。そして、その露光条件で、複数の露光処理のそれぞれにおいてフォーカス誤差および像ずれ誤差を計測する。例えば、複数（例えば数枚から数百枚）のサンプル基板に露光を行い、それらのサンプル基板の各ショット中の複数の計測点において、フォーカス誤差および像ずれ誤差を計測する。ただし、露光収差は露光開始初期に急激に変化し徐々に飽和する性質があるため、飽和段階に入って露光したサンプル基板については全てではなく抜き取りで計測しても構わない。また、上述のような露光収差の特性を利用して、適宜、ダミー露光を取り混ぜながら基板を露光するようなシーケンスで露光を行ってもよい。

【 0 0 3 5 】

主制御部 3 は、上記の計測の結果に基づいて、対称な収差および非対称な収差の時系列データを取得する。具体的には、主制御部 3 は、計測により得られた各計測点におけるフォーカス誤差および像ずれ誤差の計測結果を、最小自乗法などの手法により成分分解する。フォーカス誤差の場合は、例えば、フォーカスシフト、軸上非点、像面湾曲、片ボケ、非点片ボケなどのように、対称な収差に加え、非対称な収差成分を含む項で分解する。また、像ずれ誤差の場合は、例えば、倍率誤差、対称 3 次歪曲、軸ずれ、偏心ディストーションなどのように、対称な収差に加え、非対称な収差成分を含む項で分解する。このようにして、各収差成分の時系列での変動データが得られる。

【 0 0 3 6 】

主制御部 3 は、そのようにして得られた各収差成分の時系列変動データに対してモデル式（予測式）をフィッティングして、最終的に予測係数を得る。フィッティングするモデル式としては、例えば次式を用いることができる。

【 0 0 3 7 】

【 数 1 】

10

20

30

40

50

$$F(t) = A_1 \left(1 - e^{-t/\tau_1}\right) + A_2 \left(1 - e^{-t/\tau_2}\right)$$

$$G(t) = B_1 \left(1 - e^{-t/\nu_1}\right) + B_2 \left(1 - e^{-t/\nu_2}\right)$$

10

【 0 0 3 8 】

ここで、 F は着目する対称な収差の変動量、 G は着目する非対称な収差の変動量、 t は時間、 $\tau_1, \tau_2, \nu_1, \nu_2$ は時定数、 A_1, A_2, B_1, B_2 は振幅を表す。この場合、 A_1, A_2, τ_1, τ_2 の4つのパラメータを、対称な収差の予測係数（第1予測係数）といい、 B_1, B_2, ν_1, ν_2 の4つのパラメータを、非対称な収差の予測係数（第2予測係数）という。ここでは、対称な収差の予測式である第1予測式に加え、非対称な収差の予測式である第2予測式が新たに追加されていることが特徴である。従来、このような非対称な収差に対する予測式は考慮されていなかった。

20

【 0 0 3 9 】

フィッティングによって、時定数と係数の両方を求める。あるいは、時定数があらかじめ分かっている場合は、時定数は固定で、係数のみをフィッティングで求めてもよい。なお、 A_1, A_2, B_1, B_2 は、投影光学系に与えられる単位時間当たりのエネルギー量（単位は W ）の関数であることに注意が必要である。単純なモデルでは、 A_1, A_2, B_1, B_2 は、投影光学系に与えられる単位時間当たりのエネルギー量に比例する。この場合、 A_1, A_2, B_1, B_2 を、投影光学系に与えられる単位時間当たりのエネルギー量で規格化しておくともよい。それにより（例えば、 $1W$ あたりで）、実際のデバイス製作時の収差の予測は、上式にデバイス製作時のエネルギー量を乗じることによって計算できる。なお、成分分解に、対称な収差成分と非対称な収差成分の両方を用いたので、ここで得られるのも、対称な収差成分と非対称な収差成分の両方の予測係数である。非対称な収差成分の予測係数を用いて収差の予測を行う場合、対称な収差成分の予測には、必ずセットで求めた対称成分の予測係数を用いる必要がある。したがって、これらの係数は露光装置内で関連付けて保存しておき、必ずセットで使われるようにしておく。

30

【 0 0 4 0 】

以上のような処理により、対称な収差の予測係数と非対称な収差の予測係数を取得することができる。得られた予測係数は、露光装置100のメモリ32に保存されるようにしておく。なお、マルチレイヤレチクルを想定した照明領域は、様々な領域形状が考えられる。図2で示したように、マルチレイヤレチクルのレイヤ分割方法には様々なパターンが考えられるからである。様々な照明領域パターンに応じた予測係数を複数取得しておき、それら全てを露光装置に保存しておいてもよい。また、露光収差は、 NA や有効光源などの露光条件によっても変わり得るので、それらの条件を変えて取得した予測係数も保存しておくことで高精度化のためにより効果的である。

40

【 0 0 4 1 】

次に、S2で、主制御部3は、マスク面上の照明領域の形状の情報を取得する。露光装置100の制御は、ユーザがコンソールまたはオンラインを通して露光装置100にパラメータやジョブをセットすることで行われる。視野絞り5（マスキングブレード）の上下左右のブレード位置情報もそのようなパラメータの1つである。したがって、ユーザが露光装置100に対して、マスキングブレードの設定値を入力したとき、照明領域の形状が露光装置100に設定され、これにより露光装置100は照明領域の形状の情報を取得する

50

。あるいは、露光装置 100 は「レシピ」と呼ばれる露光条件のパラメータ式を記述したファイルを持っている。ユーザはあらかじめ露光条件の各種パラメータをレシピとして露光装置 100 に保存しておき、実際に露光を行う際に、適宜レシピを呼び出してパラメータを一括設定する、という使い方もできる。マスキングブレードの設定値もレシピに保存される情報であり、ユーザがレシピを呼び出すことで、マスキングブレードの設定値が露光装置 100 の状態としてセットされる。すなわち、ユーザがレシピを呼び出したとき、照明領域の形状が露光装置 100 に設定され、これにより露光装置 100 は照明領域の形状の情報を取得する。

【0042】

次に、S3で、主制御部3は、照明領域の形状が対称か非対称かを判定する。これは以下のようにして行われる。例えば主制御部3は、S2で取得した情報に基づいて、照明領域の形状が対称か非対称かを演算によって判定する。例えば、露光領域の重心が投影光学系の光軸の十分近傍にあるという条件を満たす場合、照明領域の形状が対称であると判定することができる。あるいは、マスキングブレードの上端および下端と左端および右端がそれぞれ投影光学系の光軸から実質的に等距離であるという条件を満たす場合、照明領域の形状が対称であると判定することができる。また、ユーザが照明領域の形状が対称/非対称かを判断して、露光装置100にその結果を入力するようにしてもよい。あるいは、ユーザが「実効的な」照明領域の形状を露光装置100に入力するようにしてもよい。これは、レチクルには遮光帯が設けられていることがあり、その遮光帯の幅が大きい場合、マスキングブレードで規定される照明領域と、実際に露光される領域が必ずしも一致しない場合があり得るためである。そのような場合にはユーザが手入力で露光装置に情報を与えるようにするとよい。また、使用されているレチクルが、複数の領域にそれぞれ異なるレイヤのパターンが形成されたマルチレイヤレチクルである場合には、照明領域の形状が非対称であると判定してもよい。

【0043】

S4およびS5は、対称な収差の予測係数(第1予測係数)と非対称な収差の予測係数(第2予測係数)の少なくとも一方を用いて投影光学系の収差を評価する。具体的には、照明領域の形状が対称であると判定された場合、主制御部3は、S4で、対称な収差の予測係数のみを用いて露光収差を評価する。以下、具体的に説明する。照明領域の形状が対称と判断された場合、主制御部3は、対称な収差の予測係数をメモリ32から読み出す。NA、有効光源形状、画面サイズ等に関して異なる条件で取得した複数の予測係数がメモリ32に記憶されている場合もある。その場合には、主制御部3は、レシピに記録されているNA、有効光源、マスキングブレード位置情報(画面サイズ情報)に基づいて、条件の異なる複数の予測係数を補間して新たな予測係数を生成し、それを用いてもよい。このような処理によって、レシピで用いる予測係数が決定される。なお、対称な収差の予測係数については、非対称な収差の予測係数とは別に、露光装置の組立・調整工程やインストール工程で取得されるのが一般的である。そして、露光がスタートすると、投影光学系に与えられる単位時間当たりのエネルギーと経過時間とから、モデル式に従って収差量が計算され予測される。

【0044】

照明領域の形状が非対称であると判定された場合、主制御部3は、S5で、非対称な収差の予測係数と対称な収差の予測係数とを用いて露光収差を評価する。以下、具体的に説明する。照明領域の形状が非対称と判断された場合、主制御部3は、非対称な収差の予測係数と、それとセットになる対称な収差の予測係数とをメモリ32から読み出す。異なる条件で取得した複数の非対称な予測係数がメモリ32に記憶されている場合は、NA、有効光源、マスキングブレードの位置情報(あるいはユーザが入力した実効的な照明領域の形状情報)に基づいて、最も近い条件で取得した予測係数を読み出してもよい。あるいは、条件の異なる複数の予測係数を補間して新たな予測係数を生成し、それを用いてもよい。このような処理によって、このレシピで用いる予測係数が決定される。そして決定された予測係数はレシピに関連付けられる。そして、露光がスタートすると、投影光学系に与え

10

20

30

40

50

られる単位時間当たりのエネルギーと経過時間とから、モデル式に従って収差量が計算され予測（評価）される。

【 0 0 4 5 】

以上のように収差量の評価が行われた後、主制御部 3 は、評価の結果に基づいて、予測された収差量が補正されるように露光装置を調整しながら露光を行う。対称な収差成分については、従来から露光装置に搭載されている補正システムによって補正可能である。例えば、像ずれ誤差の倍率誤差、対称 3 次歪曲は、投影光学系を構成する一部のレンズを光軸と平行に移動させることによって補正できる。また、像ずれ誤差の縦横倍率差は、投影光学系に Alvarez 光学素子を構成することにより補正できる。また、フォーカス誤差のフォーカスシフトは、基板ステージを移動させることにより補正することができる。また、像面湾曲は、投影光学系を構成する一部のレンズを光軸と平行に移動させることにより補正できる。

10

【 0 0 4 6 】

さらに、非対称な収差に関しても、露光装置のパラメータを変動させることにより補正可能である。例えば、軸ずれは、基板ステージの移動によって補正できる。また、偏心ディストーション（E，F 成分）は、投影光学系を構成する一部のレンズを光軸と垂直な軸を回転軸として微少回転させる、あるいは光軸と垂直に移動させることによって補正できる。また、片ボケは、基板ステージをチルトさせることにより補正できる。また、非点片ボケ、中心コマは、偏心ディストーションと同様、投影光学系を構成する一部のレンズを光軸と垂直な軸を回転軸として微少回転させる、あるいは、光軸と垂直に移動させることによって補正できる。このように、本実施形態によれば、従来行っていた対称な収差のみならず非対称な収差も補正することができる。これは、従来手法にはなかった特徴である。言い換えると、本実施形態によれば、補正方法が存在するような非対称な収差成分を用いて、露光収差の予測および補正を行うようにする、ということである。こうすることで、予測するのみならず、その後の補正にスムーズにつなげることができる。

20

【 0 0 4 7 】

これに対し、特許第 5 4 0 6 4 3 7 号公報（特許文献 2）の方法だと、像高毎に収差予測を行うため、予測できたとしてそれが補正可能な成分なのかどうか、すぐには分からない。また、予測された収差から補正システムの動き量を算出するのに複雑な計算が必要になる。また、特許第 5 4 0 6 4 3 7 号公報（特許文献 2）の方法では、像高毎に予測係数を持つため、予測係数を算出する際に計測誤差の影響を受けやすく、そのぶん予測精度が低下する可能性がある。一方、本実施形態の方法によれば、像高毎ではなく、収差成分に変換した上でその予測係数を持つ。像高間フィッティングという処理を挟むため、誤差に対してロバストになり、精度の向上が期待できる。

30

【 0 0 4 8 】

以上のように、照明領域が投影光学系の光軸に対して対称か非対称かによって、露光収差の予測に用いる係数を切り換えることによって、従来と比べて高精度な収差の評価および補正を簡便に行うことができる。これにより、半導体デバイスの高精度化、歩留まりの向上に寄与することができる。

【 0 0 4 9 】

40

< 第 2 実施形態 >

次に、第 2 実施形態における露光方法について説明する。図 9 は、本実施形態で用いるマルチレイヤレチクルであるレチクル 9 を例示したものである。露光に用いる複数の領域 9 1，9 2 それぞれの周囲に、フォーカス・像ずれを計測するための複数のマーク M が設けられている。本実施形態は、マルチレイヤレチクル使用時の非対称な露光収差の評価および補正を行う点は第 1 実施形態と同じである。しかし、本実施形態では、主制御部 3 が露光シーケンスの間に非対称な収差を計測し、非対称な収差の予測係数にフィードバックする点が、第 1 実施形態と異なる。

【 0 0 5 0 】

計測用のマーク M としては、例えば、水平および垂直の透過型のライ

50

ンアンドスペースパターンを配置したものが考えられる。基板ステージ上の基板とは別の特定の位置に、同様のラインアンドスペースパターン状の透過型のウィンドウと、その下に光量センサを設けておく。計測用のマークMを照明光で照明すると、投影光学系を介して、基板ステージ面の近傍、像面上にラインアンドスペースパターンの空中像が形成される。その空中像を透過型のウィンドウおよびその下の光量センサで計測する。デフォーカスおよびラテラル方向にずらしながら光量を計測し、光量が最大となったときのデフォーカスおよびラテラル方向のずらし量が、すなわち、ベストフォーカス、ベストシフト点である。

【0051】

このようなマークを設けておき、例えば、基板を交換するタイミングで、露光中のレイヤの周囲4点のマークMの計測（フォーカス誤差および像ずれ誤差の計測）を行う。そして、4点のフォーカス誤差および像ずれ誤差の情報から、最小自乗法などによって対称な収差成分および非対称な収差成分に成分分解する。そうすることで、実際に発生している収差量が分かる。それを、予測係数から算出した収差の予測値と比較することで、精度よく予測できているかを確認することができる。そして、予測と実際の発生量の差分を、予測係数にフィードバックすることで、予測の精度を向上させることが可能である。

10

【0052】

例えば、露光シーケンスの間にフォーカス誤差および像ずれ誤差を計測し、該計測の結果に基づいて実際の対称な収差および非対称な収差のデータを取得し、該取得したデータに基づいて、第1予測係数および第2予測係数を補正する。これにより、予測係数の高精度化を達成することができる。

20

【0053】

<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。

30

【符号の説明】

【0054】

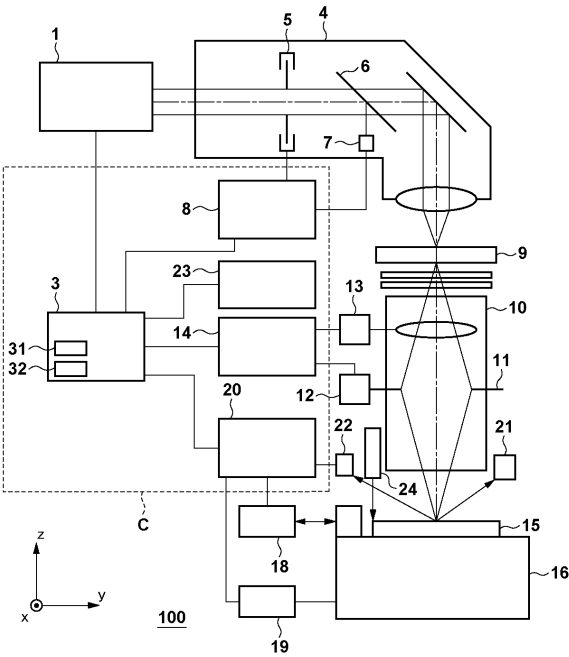
100：露光装置、1：光源、3：主制御部、4：照明光学系、9：レチクル、10：投影光学系、15：基板、16：基板ステージ

40

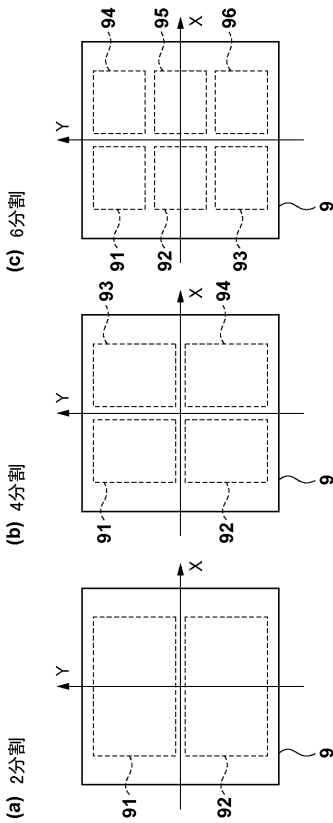
50

【図面】

【図 1】

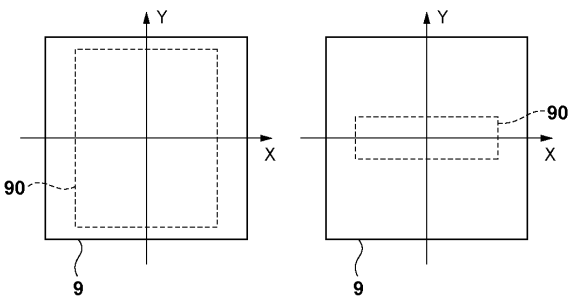


【図 2】

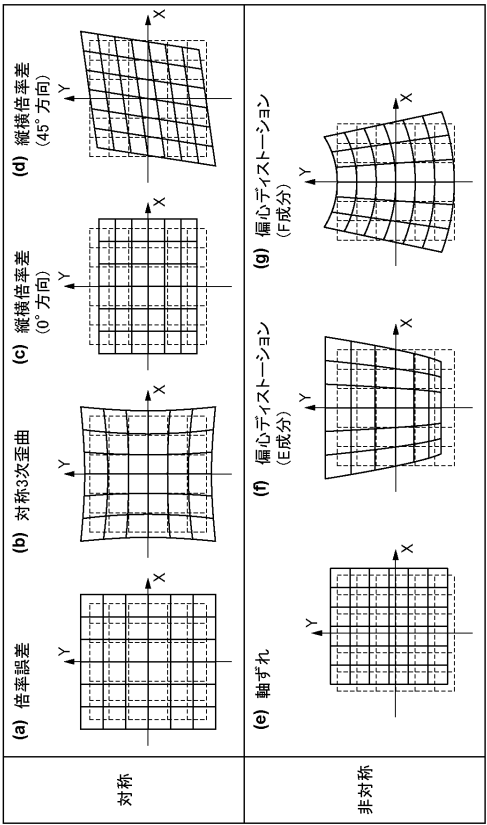


【図 3】

(a) ステツパ (b) スキャナ



【図 4】



10

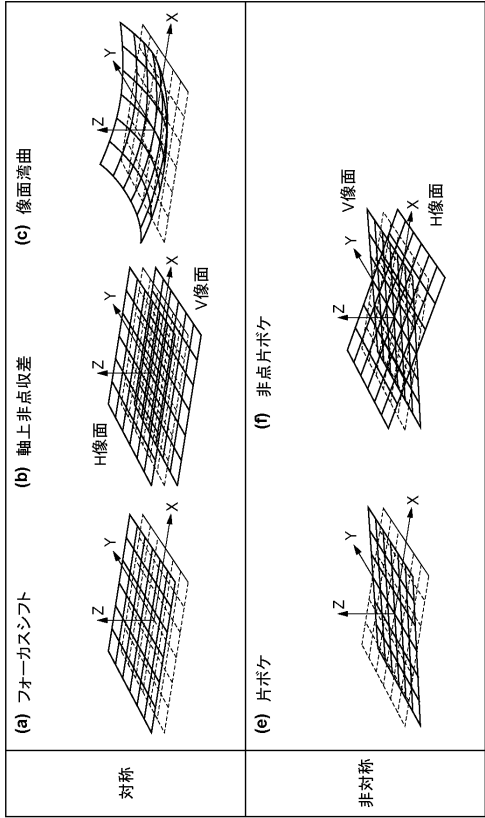
20

30

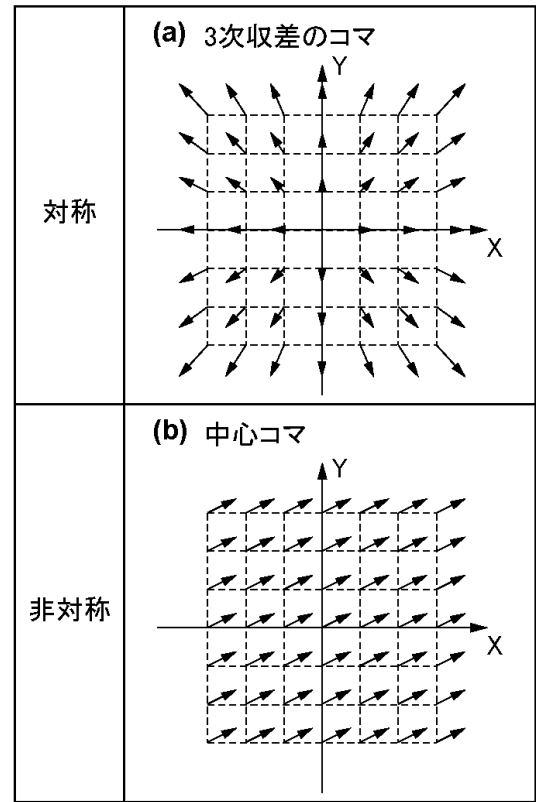
40

50

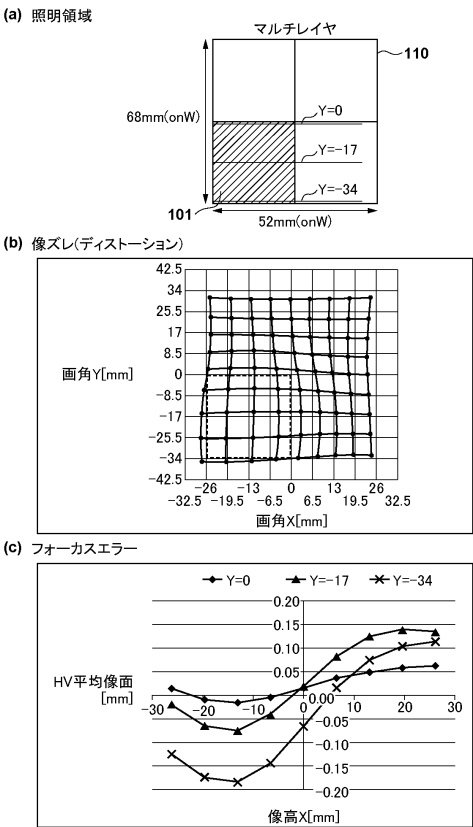
【図 5】



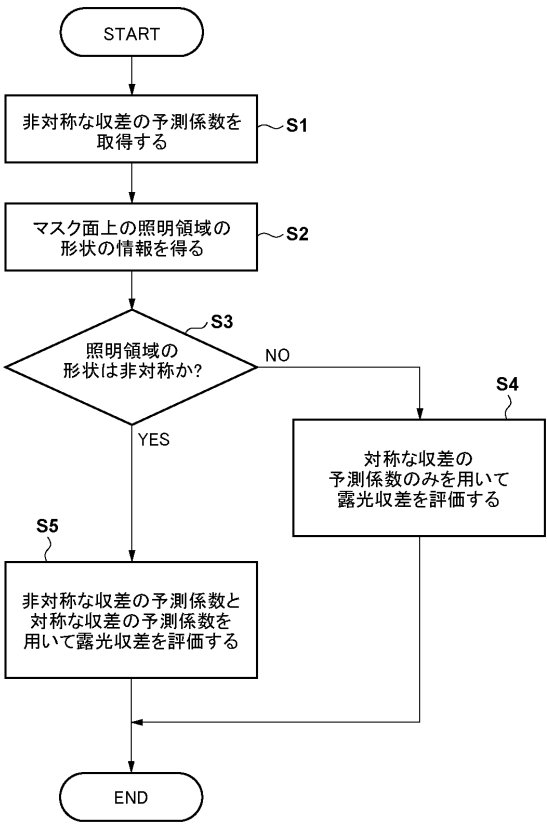
【図 6】



【図 7】



【図 8】



10

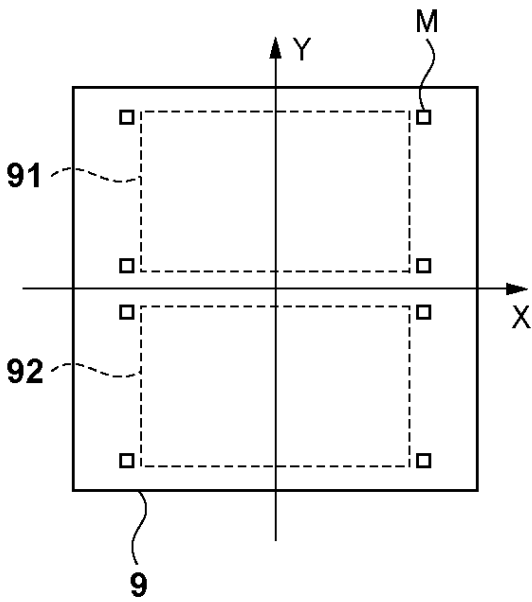
20

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 0 2 - 0 1 5 9 9 7 (J P , A)
特開 2 0 1 5 - 0 3 7 1 2 4 (J P , A)
特開 2 0 1 2 - 2 2 2 3 5 0 (J P , A)
特開昭 6 2 - 2 2 9 8 3 8 (J P , A)
特開 2 0 0 9 - 1 6 7 6 1 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- | | |
|---------|-----------|
| G 0 3 F | 7 / 2 0 |
| G 0 2 B | 1 3 / 2 4 |
| G 0 1 M | 1 1 / 0 2 |