

(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2011-129653

(P2011-129653A)

(43) 公開日 平成23年6月30日(2011.6.30)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/027 (2006.01)	HO 1 L 21/30 5 1 6 C	2 F 0 6 5
GO 3 F 7/20 (2006.01)	GO 3 F 7/20 5 2 1	5 F 0 4 6
GO 1 B 11/27 (2006.01)	GO 1 B 11/27 H	5 F 1 4 6

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2009-285769 (P2009-285769)  
 (22) 出願日 平成21年12月16日 (2009.12.16)

(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  
 (74) 代理人 100126240  
 弁理士 阿部 琢磨  
 (74) 代理人 100124442  
 弁理士 黒岩 創吾  
 (72) 発明者 古巻 貴光  
 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) 2F065 AA31 BB02 CC18 FF04 GG00  
 HH07 JJ19 JJ26 LL04 PP11  
 QQ24 QQ31  
 5F046 BA03 CB05 CB17 CB23 DA01  
 DB01 DC12

最終頁に続く

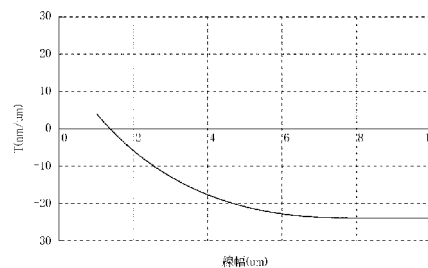
(54) 【発明の名称】 計測方法及び露光装置

(57) 【要約】

【課題】 投影光学系の結像特性、特に露光光の角度特性を高精度に測定する。

【解決手段】 光源からの光を用いてマスクを照明する照明光学系と、マスクのパターンを基板に投影する投影光学系とを有する露光装置を用いて、基板を露光する露光光の角度分布を計測する。光源の波長を、投影光学系の射出側開口数をNA、投影光学系の投影倍率をとして、投影光学系の物体面に  $\times 10 / (NA \times )$  以上の線幅の特定パターンを配置し、特定パターンを照明し、投影光学系の光軸方向における複数の位置における特定パターンの像をセンサを用いて計測し、該計測結果を用いて露光光の角度特性を算出する。

【選択図】 図7



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

光源からの光を用いてマスクを照明する照明光学系と、前記マスクのパターンを基板に投影する投影光学系とを有する露光装置を用いて、前記基板を露光する露光光の角度分布を計測する計測方法であって、

前記光源の波長を  $\lambda$ 、前記投影光学系の射出側開口数を  $NA$ 、前記投影光学系の倍率を  $M$  として、前記投影光学系の物体面に  $\lambda \times 10 / (NA \times M)$  以上の線幅の特定パターンを配置するステップと、

前記照明光学系を用いて前記特定パターンを照明し、前記投影光学系の光軸方向における複数の位置における前記特定パターンの像をセンサを用いて計測するステップと、

該計測結果を用いて、露光光の角度特性を算出するステップとを有することを特徴とする計測方法。

10

## 【請求項 2】

前記照明光学系を互いに異なる複数の状態に設定して、請求項 1 に記載の計測方法を行い、該計測結果を用いて前記照明光学系を調整することを特徴とする照明光学系の調整方法。

## 【請求項 3】

前記投影光学系を互いに異なる複数の状態に設定して、請求項 1 に記載の計測方法を行い、該計測結果を用いて前記投影光学系を調整することを特徴とする投影光学系の調整方法。

20

## 【請求項 4】

光源からの光を用いてマスクを照明する照明光学系と、前記マスクのパターンを基板に投影する投影光学系と、前記投影光学系からの光を受光するセンサとを有する露光装置において、

前記マスクを保持するマスクステージ又は計測用マスクに、互いに線幅が異なる複数の計測用パターンが形成され、

前記露光装置は、

前記光源の波長を  $\lambda$ 、前記投影光学系の射出側開口数を  $NA$ 、前記投影光学系の倍率を  $M$  として、前記計測用パターンのうち  $\lambda \times 10 / (NA \times M)$  以上の線幅の特定パターンを照明した状態で前記投影光学系の光軸方向における複数の位置における前記特定パターンの像を前記センサが計測して得られた計測結果、を用いて、前記基板を露光する露光光の角度特性を算出する制御部を有することを特徴とする露光装置。

30

## 【請求項 5】

該算出された角度特性を用いて、前記照明光学系及び前記投影光学系の少なくとも一方を調整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 6】

請求項 5 に記載の露光装置を用いて、基板を露光するステップと、

該露光された基板を現像するステップとを有することを特徴とするデバイス製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

40

## 【0001】

本発明は、計測方法及び露光装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

フォトリソグラフィ技術を用いて半導体素子を製造する際に、マスク（レチクル）に描画された回路パターンを投影光学系によってウエハ等に投影して回路パターンを転写する投影露光装置が使用されている。

## 【0003】

リソグラフィ工程ではウエハ上に回路パターンを重ね合わせて形成する際、既にウエハ上に形成されたパターンと、その上に描写されるパターンとの重ね合わせ精度が重要で

50

ある。重ね合わせ精度を向上させる対策の1つとして有効光源分布を調整する技術が注目されている（特許文献1、2参照）。有効光源分布とは、ウエハ面に入射する露光光束の角度分布を意味し、投影光学系の瞳面における光強度分布でもある。

【0004】

従来は、有効光源分布の調整手段を制御しながら、所定の計測マークが形成された計測用マスクを用いてウエハの露光及び現像をし、ウエハ上に形成されるレジスト像の形状（位置、大きさ等）を計測していた。そして、計測結果を用いて、重ね合わせ精度に影響する、角度特性等の結像特性を算出するという方法がとられていた。このため、露光、現像及び計測の手間がかかる為に時間がかかっていた。また、この代替手段として、投影光学系の像面における光強度分布（空中像）を観察する事により、重ね合わせ精度に影響する結像特性を測定する方法がある（特許文献3参照）。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開平05-217853号公報

【特許文献2】特開2007-36016号公報

【特許文献3】特開2003-218024号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかし、特許文献3に記載の方法では、投影光学系のNAと、計測用マスクのパターンの線幅との関係の記載がなく、投影光学系のNAが大きい場合など、高精度な測定を行うことができない。

20

【0007】

そこで、本発明は、投影光学系の結像特性、特に露光光の角度特性を高精度に測定することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一側面としての計測方法は、光源からの光を用いてマスクを照明する照明光学系と、前記マスクのパターンを基板に投影する投影光学系とを有する露光装置を用いて、前記基板を露光する露光光の角度分布を計測する計測方法であって、前記光源の波長を、前記投影光学系の射出側開口数をNA、前記投影光学系の投影倍率をとして、前記投影光学系の物体面に  $\times 10 / (NA \times )$  以上の線幅の特定パターンを配置するステップと、前記特定パターンを照明し、前記投影光学系の光軸方向における複数の位置における前記特定パターンの像をセンサを用いて計測するステップと、該計測結果を用いて、露光光の角度特性を算出するステップとを有することを特徴とする。

30

【0009】

本発明の一側面としての露光装置は、光源からの光を用いてマスクを照明する照明光学系と、前記マスクのパターンを基板に投影する投影光学系と、前記マスクのパターンの像を計測するセンサと、前記センサからの計測データを用いて露光光の角度特性を算出する制御部とを有する露光装置において、前記マスク又は前記マスクを保持するマスクステージに、互いに線幅が異なる複数の計測用パターンが形成され、前記光源の波長を、前記投影光学系の射出側開口数をNA、前記投影光学系の投影倍率をとして、前記制御部は、前記計測用パターンのうち  $\times 10 / (NA \times )$  以上の線幅の特定パターンが照明されるように前記マスクステージの駆動を制御し、前記投影光学系の光軸方向における複数の位置における前記特定パターンの像を前記センサが計測して得られた計測結果を用いて、前記基板を露光する露光光の角度特性を算出することを特徴とする。

40

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、投影光学系の結像特性、特に露光光の角度特性を高精度に測定するこ

50

とができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の第1実施例における露光装置の概略図である。

【図2】計測用パターンを表す図である。

【図3】計測用パターンを表す図である。

【図4】デフォーカス距離により変化する光強度分布の図である。

【図5】位置ずれ量の算出を説明するための光強度分布の図である。

【図6】NAが変化した場合における光強度分布を説明する図である。

【図7】パターンの線幅と角度特性との関係を説明する図である。

【図8】角度特性の測定フローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0012】

(実施例1)

図1を用いて本発明の第1の実施例を説明する。図1は本実施例における露光装置の概略図である。

【0013】

光源1は例えば、波長が約193nmのArFエキシマレーザーや約248nmのKrFエキシマレーザーである。引き回し光学系2は光源1からの光束を回折光学素子3に導く。

【0014】

回折光学素子3は複数のスロットを有するターゲットに搭載されており、アクチュエーター4によって、任意の回折光学素子を光軸上に移動することが可能である。回折光学素子3の射出光は、コンデンサーレンズ5によって集光され、回折パターン面6に回折パターンを形成する。回折パターンは、アクチュエーター4により光軸上に位置する回折光学素子を交換することにより、変更することができる。回折パターン面6に形成された回折パターンは、プリズム7及びズームレンズ8によって光束断面形状(輪帯率や外径など)が調整された後、ミラー9に入射する。

【0015】

ミラー9によって反射した光束は光強度分布形成手段10に入射する。本実施例では光強度分布形成手段10はレンズアレイである。プリズム7はズームすることが可能であり、プリズム7aと7bの距離が十分に小さい場合、プリズム7aと7bは一体化した一枚の平行平板ガラスとみなすことができる。このとき、回折パターン面6に形成された回折パターンは、ほぼ相似形状を保ちながらズームレンズ8の拡大縮小により光束径(値)が調整され、光強度分布形成手段10の入射面に結像される。また、プリズム7aと7bの位置を離すことによって、回折パターン面6に形成された回折パターンが調整される。

【0016】

光強度分布形成手段10の射出光束はコンデンサーレンズ11で集光されて、遮光部材13が配置されている面(被照射面と共役な面)を所望の光強度分布で照明する。遮光部材13は、被照射面に配置されるマスク17の照明範囲を規定し、マスク17を保持するマスクステージ21およびウエハを保持したウエハステージ19の走査に同期して動作が制御される。

【0017】

遮光部材12は、遮光部材13が配置されている面からデフォーカスされた位置に配置されており、遮光部材13のある面に台形状の光強度分布(縦軸:光強度、横軸:光束断面における位置)を形成する。光強度分布を台形状にすることで、ウエハを露光する際に、パルスの不連続性に起因する走査方向の積算露光量のムラを避ける事ができる。また、遮光部材12の、ステージの走査方向に対応する方向の開口幅を変更することにより、X方向(走査方向と垂直な方向)の像高毎の、走査方向に積算した積算露光量のムラを避け

10

20

30

40

50

ることができる。

【0018】

遮光部材13を通過した光は、レンズ14、ミラー15、レンズ16を経て、マスク17を照明する。マスク17の 패턴の像は投影光学系18によって、ウエハステージ19に保持されるウエハに露光される。

【0019】

センサ20は光量を検知することが出来るCCDセンサやフォトダイオードセンサである。センサ20は、ウエハステージ19上に配置され、投影光学系18の像面、又は、像面からデフォーカスした位置に位置決めされて、投影光学系からの光を受光し、露光光の光強度(照度)を測定することができる。

10

【0020】

次に、露光光の角度特性を計測するための計測用パターンを説明する。計測用パターンは、計測用マスクまたはマスクステージ21に形成される。

【0021】

図2に計測用マスクに形成される計測用パターンの一例を示す。図2において、黒は遮光部を、白は光透過部(開口部)を表す。ただし、逆でもよい。図2(a)に示すパターンは、ウエハを照射する照射光のX方向(走査方向と垂直な方向)の角度分布特性を計測するためのパターンであり、それぞれ線幅が異なる複数の光透過部を含む。なお、計測用パターンという用語は、複数の光透過部から成るものに限らず、1つの光透過部のみをも意味するものとして用いる。

20

【0022】

本実施例では、後述するように、複数の光透過部の中から、 $\lambda \times 10 / (NA \times \theta)$ 以上となる線幅の光透過部(パターン)が選択され、照明される。なお、光源1の波長を、投影光学系18の射出側開口数をNA、投影光学系18の投影倍率を $\theta$ とする。そのため、投影光学系18のNAが変更されると、投影光学系18のNAに応じて、選択されるパターンが変更される。

【0023】

図2(b)に示すパターンは、ウエハを照射する照射光のY方向(走査方向)の角度分布特性を計測するためのパターンであり、それぞれ線幅が異なる複数の光透過部(開口部)を有する。図2に示す計測用パターンと同様に、投影光学系のNAに応じて、 $\lambda \times 10 / (NA \times \theta)$ 以上となる線幅の光透過部が選択される。

30

【0024】

図3(a)に計測用パターンの別の例を示す。図3(a)に示すパターンは、ウエハを照射する照射光のX方向(走査方向と垂直な方向)の角度分布特性を計測するためのパターンである。図3(a)に示すパターンは、同一線幅の複数の光透過部(開口部)を1つの群(パターン)として、群毎に線幅の異なる複数の群を含む。この場合も、投影光学系のNAに応じて、 $\lambda \times 10 / (NA \times \theta)$ 以上となる線幅のパターンが選択される。

【0025】

図2に示すパターンの代わりに、図3(a)に示す計測用パターンを用いると、センサで検出される総光量が向上し、ノイズの影響を低減できる。また、光透過部の製造による線幅誤差の影響も低減できる。

40

【0026】

なお、計測用パターンの光透過部は、図2、3(a)に示した長方形に限らず、正方形でもよい。正方形の場合は、1つのマスク(マスクステージ)に形成された正方形のパターンのみでX方向の角度分布特性とY方向の角度分布特性を取得することができる。

【0027】

マスクに配置するスペースの大きさ(光透過部同士の間隔)は、光透過部に相当する空中像同士が重なりあわない程度でなければならず、最低でも、 $(NA / \theta) \times$ 測定位置を表す像面からのデフォーカス距離)以上でなければならない。なお、デフォーカス距離は、投影光学系の光軸方向における、像面からの距離を表す。

50

## 【 0 0 2 8 】

露光光の角度特性の測定を行う場合は、被照射面（投影光学系 1 8 の物体面）に計測用パターンを配置して、光源 1 からの光を用いて、照明光学系 2 ~ 1 6 が計測用パターンを照明する。計測用パターンの像が投影光学系 1 8 によって像面に投影され、像面に光強度分布（空中像）が形成される。その際、空中像は、像面または像面近傍の複数の位置（投影光学系 1 8 の光軸方向の複数の位置）でセンサ 2 0 を用いて計測される。そして、計測結果を用いて露光光の角度特性を算出する。

## 【 0 0 2 9 】

なお、センサ 2 0 が CCD センサである場合、レーザー光源からのパルス光を複数回発光して、その複数の光強度分布の平均値を算出することにより、計測精度を向上させることができる。センサ 2 0 がフォトダイオードの場合、像面上にスリットを置きスキャンすることにより波形を取得する事ができる。但し、スキャン時にステージの振動やステージの動作誤差により、測定値に誤差が乗ってしまうため、複数回スキャンして得られた測定結果を平均した値を用いることが望ましい。

10

## 【 0 0 3 0 】

図 3 ( a ) に示す計測用パターンを用い、センサ 2 0 としてフォトダイオードを用いる場合に、像面上に配置されるスリットの例を図 3 ( b ) に示す。図 3 ( b ) に示す部材には、図 3 ( a ) に示す計測用パターンの位置に対応してスリット（白色部）が形成されている。スリットの幅は、小さいほど空中像を分解能よく測定することができるが、小さすぎるとフォトダイオードに入射する光量が小さくなる為に、センサのノイズによる誤差を受けてしまう。

20

## 【 0 0 3 1 】

センサ 2 0 で取得される光強度分布の例を図 4 に示す。光強度分布は、計測用パターンの線幅、露光光の角度分布、及び、センサ 2 0 の測定位置（デフォーカス距離）に応じて異なる。図 4 は、デフォーカス距離だけを変更した場合の光強度分布の変化を表す。ベストフォーカス位置では、XY 平面上位置  $5 \mu\text{m}$  で急峻な曲線となっているが、デフォーカス距離が大きくなるにしたがって、その曲線がなだらかになっている。

## 【 0 0 3 2 】

また、露光光の角度分布が変化すると、デフォーカス位置で、光強度分布全体の XY 平面内位置がずれる（シフトする）。そのため、位置ずれ量及びデフォーカス距離を用いて、露光光の角度分布を算出することができる。

30

## 【 0 0 3 3 】

図 5 に、あるデフォーカス距離において測定された光強度分布を示す。まず、光強度分布の特徴を表し、センサのノイズの影響を低減できる指定範囲（例えば、図 5 の太線四角枠で囲まれた範囲）、光強度が第 1 の指定値以上及び第 2 の指定値以下の範囲において、光強度分布の重心位置を求める。その重心位置を XY 平面内における位置ずれ量とする。次に、デフォーカス距離を変更して、同様に光強度分布を測定し、重心位置を求める。そして、位置ずれ量の差分を、デフォーカス距離の差分で割ることにより、角度特性 T を算出する。式で表すと、 $T = (\text{位置ずれ量 1} - \text{位置ずれ量 2}) / (\text{デフォーカス距離 1} - \text{デフォーカス距離 2})$  となる。なお、位置ずれ量は、重心位置に限らず、それ以外の指標も用いることができる。

40

## 【 0 0 3 4 】

ここで、位置ずれ量の計測誤差としてステージの振動、センサの測定誤差、その他の装置の振動等が考えられる。位置ずれ量の計測誤差を低減する為には、センサのデフォーカス距離を大きく取る事が必要であり、そのためにはセンサをデフォーカスした位置での空中像が測定できる線幅の計測用パターンが必要である。

## 【 0 0 3 5 】

また、 $\lambda / (NA \times \quad)$  以下の線幅の場合、測定に用いるデフォーカス距離が小さくなり、投影光学系の収差の影響による像の位置ずれ量が大きいために精度良く角度特性の計測をすることができない。

50

## 【0036】

さらに、投影光学系のNAが大きい程、デフォーカス距離に対して空中像の形状変化が大きいので、より大きな線幅の計測パターンを使用した方がよい。

## 【0037】

図6に投影光学系のNA（ウエハの照射光のNA）と空中像の形状変化を示す。図6（a）は  $\lambda = 193\text{ nm}$ 、 $NA = 0.3$ 、デフォーカス距離を  $0 \sim 7\ \mu\text{m}$  の条件で、マスク17に形成された線幅  $10\ \mu\text{m}$  の光透過部（開口部）を照明した時に、像面のセンサ20で検出される信号波形である。図6（b）は、NA以外が図6（a）に示す条件と同じで、NAを  $0.85$  とした場合の信号波形である。図6より、NAが大きいほどデフォーカス距離の変化に対して波形の変化が大きいことが分かる。

10

## 【0038】

図7は、光透過部の線幅と、算出されたTの関係を示すグラフである。図7のデータを得るための測定では、照明光学装置の照射角度分布に不均一性をもたせて角度特性Tの値を設定し、光透過部の線幅（ $\mu\text{m}$ ）を変化させた。測定条件は、 $\lambda = 193\text{ nm}$ 、 $NA = 0.93$ 、 $\alpha = 1/4$  である。

## 【0039】

図7から、角度特性Tは線幅が小さくなるほど、大きくなり、真の値からずれていることが分かる。なお、線幅が  $2\ \mu\text{m}$  のときのTの絶対値は、線幅が  $\lambda \times 10 / (NA \times \alpha)$   $= 8.3\ \mu\text{m}$  のときのTの絶対値の  $1/4$  程度である。線幅が  $\lambda \times 10 / (NA \times \alpha)$  以下である場合、ステージの振動、センサの測定誤差、装置の振動等の測定誤差を受けやすくなることにより、Tの測定誤差が大きくなってしまう。

20

## 【0040】

したがって、 $\lambda \times 10 / (NA \times \alpha)$  以上の線幅の光透過部を用いることにより、デフォーカス距離を大きくとることができ、角度特性を高精度に測定することができる。

## 【0041】

そこで、本実施例では、計測用パターンとして、マスク又はマスクステージに形成された複数の光透過部（パターン）の中から、 $\lambda \times 10 / (NA \times \alpha)$  以上となる線幅の光透過部（パターン）を選択して、照明する。

## 【0042】

図7の測定フロー図を用いて、上述の計測用パターンを用いた、露光光の角度特性の測定方法を説明する。まず、制御部22は、光源の波長、投影光学系のNA及び倍率のデータを取得する（S101）。そして、計測用パターンのうち、 $\lambda \times 10 / (NA \times \alpha)$  以上となる線幅のパターンを選択して、該選択されたパターン（特定パターン）が照明領域に入るように、制御部22がマスクステージ21の駆動（アクチュエータ）を制御する。また、制御部22はウエハステージ19の駆動を制御して、センサ20を露光領域に配置する（S102）。そして、 $\lambda \times 10 / (NA \times \alpha)$  以上となる線幅のパターンを照明し（S103）、投影光学系18により投影された空中像を、あるデフォーカス距離においてセンサ20で測定する。次に、デフォーカス距離を変更して、同様の測定を行う。つまり、複数の位置（デフォーカス距離）で空中像の計測を行う（S104）。センサ20で得られた測定データ及びデフォーカス距離のデータは制御部22へ出力される。制御部22の演算処理部は、測定データを用いて光強度分布の位置ずれ量を算出し、さらにデフォーカス距離のデータを用いて、上記の式から角度特性Tを算出する（S105）。

30

40

## 【0043】

なお、露光光の角度特性の測定結果は、露光装置の調整に用いることができる。例えば、角度特性の測定結果に基づき、所望の角度特性を目標値として、角度照明光学系及び投影光学系の少なくとも一方の光学素子の位置や角度を調整してもよい。また、露光装置（照明光学系、投影光学系など）を異なる複数の状態に設定して、照射光の角度特性を測定し、角度特性の値が小さい方の状態に、露光装置を調整する。調整の方法は、特許文献1又は2に記載の方法も用いることができる。

## 【0044】

50

以上より、本実施例によれば、露光光の角度特性を高精度に測定することができる。

【0045】

(実施例2)

次に、前述の露光装置を利用したデバイス(半導体IC素子、液晶表示素子等)の製造方法を説明する。

【0046】

まず、前述の露光装置を用いて、露光光の角度分布を測定する。そして、測定結果を用いて、露光装置の各光学系を制御することにより露光光の角度分布が調整される。そして、調整済みの露光装置を使用して、前述の露光装置を使用して、感光剤が塗布された基板(ウエハ、ガラス基板等)を露光する工程と、その基板(感光剤)を現像する工程と、他の周知の工程と、を経ることにより、デバイスが製造される。他の周知の工程には、エッチング、レジスト剥離、ダイシング、ボンディング、パッケージング等が含まれる。本デバイス製造方法によれば、従来よりも高品位のデバイスを製造することができる。

10

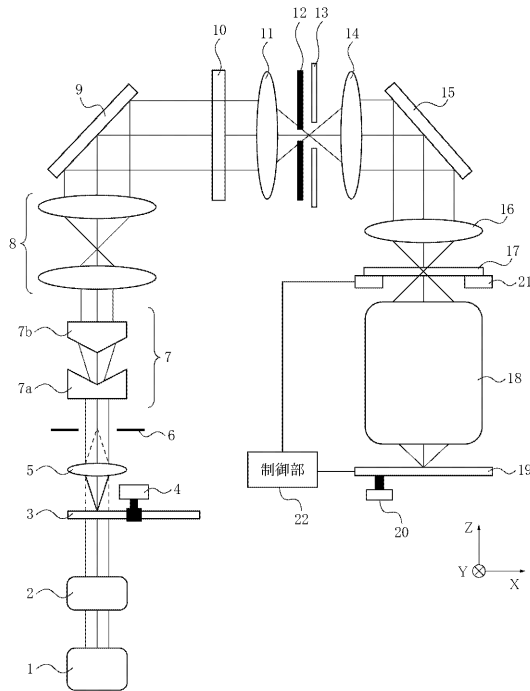
【符号の説明】

【0047】

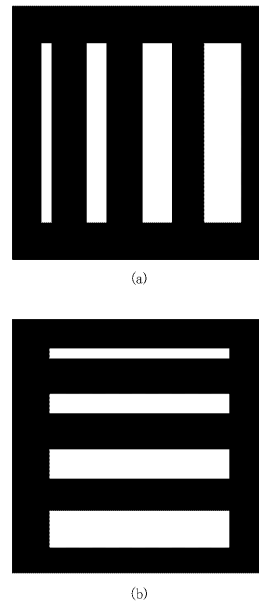
- 17 マスク
- 18 投影光学系
- 19 ウエハステージ
- 20 センサ
- 21 マスクステージ
- 22 制御部

20

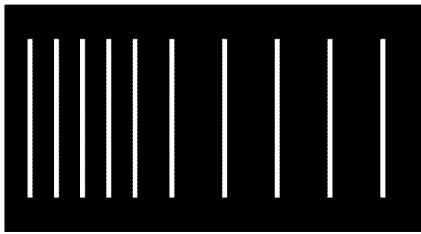
【図1】



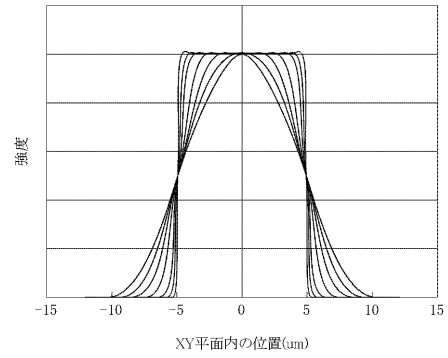
【図2】



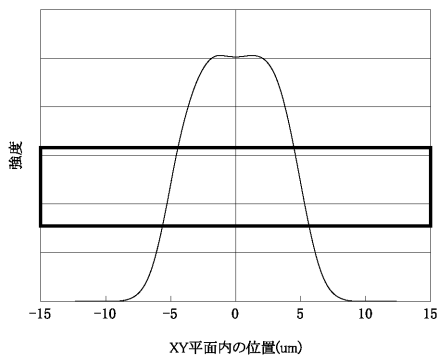
【 図 3 】



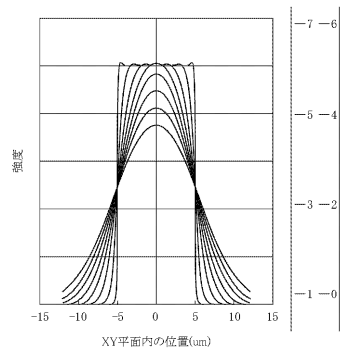
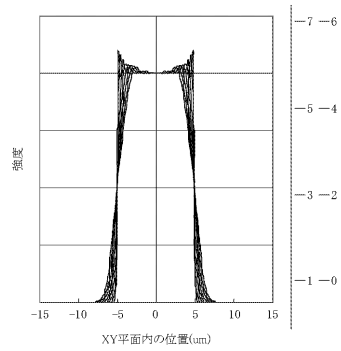
【 図 4 】



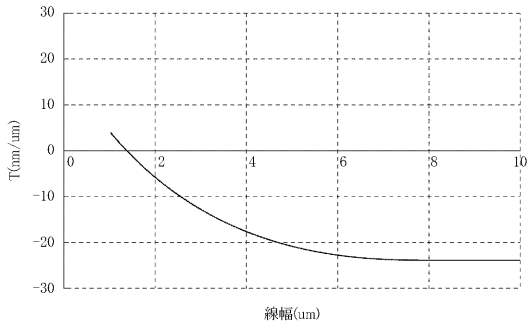
【 図 5 】



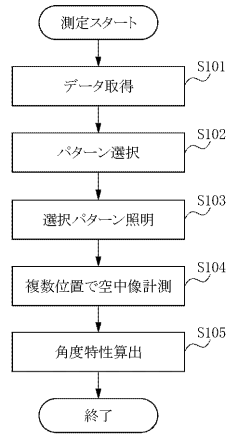
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F146 BA03 CB05 CB17 CB43 DA01 DB01 DC12