

(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2008-42036
(P2008-42036A)

(43) 公開日 平成20年2月21日(2008.2.21)

(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 2 6 B	5 F 0 4 6
GO 3 F 7/20 (2006.01)	GO 3 F 7/20 5 2 1	

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2006-216261 (P2006-216261)
(22) 出願日 平成18年8月8日(2006.8.8)

(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 100076428
弁理士 大塚 康德
(74) 代理人 100112508
弁理士 高柳 司郎
(74) 代理人 100115071
弁理士 大塚 康弘
(74) 代理人 100116894
弁理士 木村 秀二
(72) 発明者 平井 真一郎
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

最終頁に続く

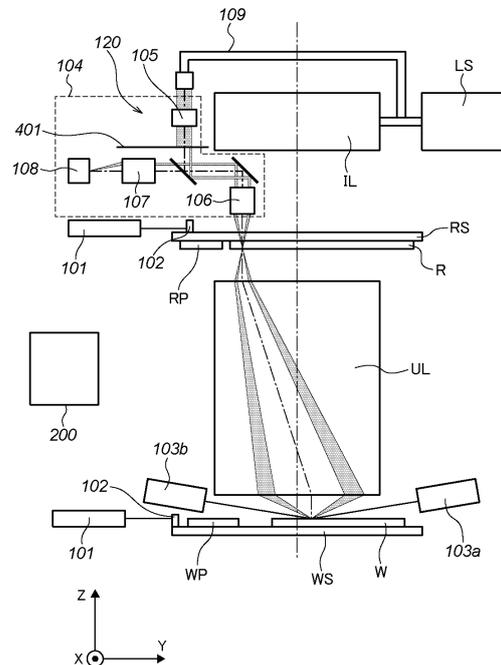
(54) 【発明の名称】 露光装置及びデバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】高いNAを有する露光装置又は液浸露光装置等に好適な面位置計測手段を有する露光装置を提供する。

【解決手段】露光装置は、原版ステージRSと、原版Rを照明する照明光学系ILと、基板ステージWと、投影光学系ULと、TTR検出器104とを備える。TTR検出器104が、計測光学系120と、受光器108とを含む。計測光学系120は、計測光を投影光学系ULに斜入射させ、投影光学系ULから戻ってくる計測光を受光する。受光器108は、投影光学系ULに斜入射して投影光学系ULを通過し、基板ステージWS上の基板Wに入射して基板Wで反射され、投影光学系ULを更に通過した計測光を受光する。受光器108の出力に基づいて基板Wの面位置情報が導出される。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

原版ステージと、前記原版ステージによって保持される原版を照明する照明光学系と、基板ステージと、前記原版のパターンを前記基板ステージ上の基板に投影する投影光学系とを備える露光装置であって、

計測光を前記投影光学系に斜入射させ、前記投影光学系から戻ってくる計測光を受光する計測光学系と、

前記投影光学系に斜入射して前記投影光学系を通過し、前記基板ステージ上の基板に入射して前記基板で反射され、前記投影光学系を更に通過した計測光を受光する受光器とを備え、

前記受光器の出力に基づいて前記基板の面位置情報が導出されることを特徴とする露光装置。

【請求項 2】

前記計測光学系は、前記計測光学系の光軸からシフトした位置に開口部を有する絞りを含み、前記絞りによって前記投影光学系に斜入射させる計測光が規定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】

前記計測光学系は、前記原版ステージに配置されたマークを計測光で斜入射照明し、前記受光器は、前記投影光学系から戻ってくる計測光で形成される前記マークの像を撮像する撮像素子を含む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】

前記計測光学系は、マークを含み、前記マークの情報を含む計測光を前記投影光学系に斜入射させ、前記受光器は、前記投影光学系から戻ってくる計測光で形成される前記マークの像を撮像する撮像素子を含む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 5】

前記基板ステージを移動させながら前記受光器の出力に基づいて前記基板の面位置情報を導出することによって前記基板の面形状が計測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。

【請求項 6】

前記投影光学系の第 1 位置に計測光を入射させた状態で前記基板の面形状を計測し、前記投影光学系の第 2 位置に計測光を入射させた状態で前記基板の面形状を計測し、両計測結果に基づいて前記投影光学系の光軸方向における前記基板ステージの駆動誤差が計測され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】

前記計測光学系及び前記受光器を含んで構成される T T R 検出器を少なくとも 2 台備え、第 1 T T R 検出器によって前記第 1 位置に計測光を入射させた状態で前記基板の面形状が計測され、第 2 T T R 検出器によって前記第 2 位置に計測光を入射させた状態で前記基板の面形状が計測されることを特徴とする請求項 6 に記載の露光装置。

【請求項 8】

前記投影光学系を介することなく前記基板に計測光を入射させ、前記基板からの反射光を受光することによって前記基板の面位置情報を検出する面位置検出器を更に備えることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 9】

デバイス製造方法であって、

請求項 1 乃至 8 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、

前記基板を現像する工程と、

を含む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】

【0001】

10

20

30

40

50

本発明は、半導体デバイス等のデバイスの製造に好適な露光装置及びこれを用いたデバイス製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスの製造のために使用される露光装置は、原版のパターンを感光剤が塗布された基板上に投影光学系を介して投影することによって該感光剤を露光する。露光装置としては、ステップ・アンド・リピート方式の露光装置やステップ・アンド・スキャン方式の露光装置がある。

【0003】

図1は、露光装置の概略構成を示す図である。以下では、図1内に示したXYZ直交座標系に従って説明する。露光装置では、原版(レチクル)Rと基板(ウエハ)Wとが投影光学系ULを介して光学的にほぼ共役な位置に配置されている。照明光学系ILにより、原版R全体のうちX方向に長いスリット状又は円弧状の領域が照明される。投影光学系ULの光軸(Z軸)に対して垂直に原版ステージRS及び基板ステージWSを投影光学系ULの光学倍率に応じた速度比でY方向に駆動することによって、光源LSから提供される露光光により、原版Rのパターンが基板W上に転写される。

10

【0004】

原版ステージRSは、原版ステージRSの位置を計測するレーザ干渉計101と原版ステージRSを駆動するアクチュエータとを含んで構成される制御系によってY方向の位置が制御される。原版ステージRSには、原版Rの他に原版側基準プレートRPが配置されている。原版側基準プレートRPのパターン面の高さは、原版Rのパターン面の高さとはほぼ一致する。原版側基準プレートRPのパターン面には、Cr等の金属で構成される複数の位置計測用マークが形成されている。原版ステージRSは、Z方向の位置を投影光学系ULに対して一定に保った状態で駆動される。原版ステージRSには、レーザ干渉計101から出射されたビームを反射する移動鏡102が固定されていて、レーザ干渉計101により原版ステージRSの位置や移動量は逐次計測される。原版ステージRSは、Y方向のみならず、X方向、Z方向にも駆動可能なものであってもよい。この場合は、原版ステージRSは、レーザ干渉計とアクチュエータとを含んで構成される制御系によってX方向及びZ方向の位置が制御される。

20

【0005】

一方、基板ステージWS上には、基板側基準プレートWPが配置されている。基板側基準プレートWPのパターン面は、基板Wの上面とその高さがほぼ一致しており、Cr等の金属で構成された複数の位置計測用マークが形成されている。基板ステージWSは、Z方向及びXY平面内を移動することが可能であり、更にX、Y、Zに微小回転も可能であるように制御系が構成される。更に、原版ステージRSと同様に、基板ステージWSにも、レーザ干渉計101からのビームを反射する移動鏡102が固定されていて、そのレーザ干渉計101により基板ステージWSのXYZ方向における位置及び移動量が逐次計測される。

30

【0006】

次に、面位置検出器に関して説明する。露光装置は、基板W上の面位置を検出するために斜入射方式の面位置検出器103を備えている。面位置検出器103は、投影光学系ULによって原版Rのパターンが転写される基板Wの表面に対して複数の光ビームを斜入射照射する照明部103aと、基板Wの表面で反射された複数の光ビームを検出する検出部103bとを含む。面位置検出器103の検出部103aには複数の光ビームにそれぞれ対応して複数の受光素子が配置されている。この受光素子の受光面は、基板Wの表面上の各光ビームの反射点と略共役になるように配置されている。面位置検出器103は、基板WのZ方向の位置ずれを検出部103bの受光素子に入射する光ビームの位置ずれとして検知する。

40

【0007】

基板ステージWSを水平方向に駆動させることにより、面位置検出器103は、面位置

50

検出器 103 の計測原点からの基板 W (又は、基板側基準プレート WP) 表面の位置ずれを計測する。この位置ずれは、基板 W (又は、基板側基準プレート WP) が有する "うねり" や "反り" などに起因する。

【0008】

理想的には、投影光学系 UL の焦平面と面位置検出器 103 の計測原点は一致している。露光の際には、面位置検出器 103 の計測原点からの基板 W の表面の位置ずれ、つまり、投影光学系 UL の焦平面からの基板 W の表面の位置ずれを補正するために基板ステージ WS の位置を Z 方向に駆動する。この補正駆動を行うことで、投影光学系 UL の焦平面 FP に基板 W の表面を合わせた状態で露光を行うことができる。

【0009】

しかし、投影光学系 UL が露光熱を吸収したり、周囲の環境が変動したりすると、斜入射方式の面位置検出器 103 の計測原点と投影光学系 UL の焦平面との間にずれが発生する。そのため、投影光学系 UL を介して当該ずれを計測して当該ずれを補正する必要がある。この補正は、フォーカスキャリブレーションと呼ばれる。フォーカスキャリブレーションには、画像検出方式の TTR (Through The Reticle) 検出器が用いられうる。

【0010】

TTR 検出器 104 は、拡大光学系であり、1 台の露光装置には、1 台又は複数台の TTR 検出器 104 が搭載されうる。

【0011】

TTR 検出器 104 は、照明部 105、対物レンズ 106、リレーレンズ 107、撮像素子 108、照明部 105 へ露光光を導光する引き廻し系 109 等を含みうる。TTR 検出器 104 の光源としては、露光光に限らず、非露光光でもよい。TTR 検出器 104 は、原版側基準マーク RM 及び基板側基準マーク WM を撮像することが可能であり、それぞれの基準マークの相互位置の検出を行う位置検出手段の機能も有する。この相互位置の検出は、原版ステージ RS の駆動方向と基板ステージ WS の駆動方向のずれの算出 (XY キャリブレーション) 等に用いられる。また、TTR 検出器 104 は、XY 方向に駆動可能あり、投影光学系 UL の各像高において基準マークの検出が可能である。

【0012】

ところで、基板ステージ WS は、Z 方向については非常に高精度で加工された基板ステージ定盤の上をエアベアリング等によって非接触に支持された状態で移動する。ところが、基板 W の大型化による基板ステージ WS の駆動領域が大きくなる一方で、転写すべきパターンの微細化にともなってフォーカス深度が浅くなってきている。このために、基板ステージ WS の駆動領域の全域においてフォーカス深度を満たすように基板ステージ定盤を高精度に加工をすることは非常に困難になってきている。

【0013】

また、基板ステージ WS の駆動による荷重変動によっても基板ステージ定盤が変形する。基板ステージ WS の位置を制御するためにレーザ干渉計 101 が参照する移動鏡 102 も、反射面を完全な平面に加工することは困難であり、露光装置に搭載されている多くの移動鏡 102 は、反射面が凹凸を有する。更に、長期的には、移動鏡 102 は、露光装置内の環境変化、更には、移動鏡 102 の保持形式によっても反射面の形状変化を起す。これらの理由から、基板ステージ WS を水平方向へ駆動したとしても、基板ステージ WS が Z 方向に変動し、これにともなって基板 W の表面も Z 方向に変動してしまう。

【0014】

例えば、面位置検出器 103 で基板 W の表面位置 Zp を検出し、露光時に基板ステージ WS を Zp だけ補正駆動した場合を考える。この場合であっても、基板ステージ WS の変動による変動 Zd が発生すると、Zd だけ基板 W の面位置が投影光学系 UL のベストフォーカス位置 FP からずれてしまう。そのため、基板ステージ WS の変動をあらかじめ計測しておき、基板ステージ WS を駆動する際に、この変動分を補正してフォーカス誤差を低減させる必要がある。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 5 】

これらの問題を解決するために、従来の露光装置では、基板ステージWSの駆動方向に対して面位置検出器103の検出領域を2箇所配置することで基板ステージWSのZ方向変動を計測する。図2を用いて、この計測方法について説明する。面位置検出器103は、基板ステージWSの駆動方向に沿って2つの検出領域における面位置をそれぞれ計測する第1、第2検出器を含むものとする。ここで、2つの検出領域の間隔をLyとする。第1、第2検出器は、それぞれ、第1、第2光ビーム103-1、103-2を使う。

【 0 0 1 6 】

通常、基板Wは、表面に凹凸を有する。まず、基板Wが $Y = y_0$ の位置にあるときに、第1検出器により光ビーム103-1を使って基板W上のA点の面位置を計測する。この計測値が $Z_p(y_0)$ であるとする。次に、基板ステージWSをY方向へLyだけ駆動し、基板ステージWSの座標が $Y = y_0$ から $Y = y_1$ となったとする。このとき、第2検出器が光ビーム103-2を使って基板W上のA点の面位置を計測する。この計測値が $Z_p(y_1)$ であるとする。ここで、光ビーム103-1を使う第1検出器と、光ビーム103-2を使う第2検出器とは基板W上で同じ位置A点を計測している。よって、基板Wの表面の凹凸に関わらず同じ計測値となるはずである。ところが、基板ステージWSを駆動する際に、基板Wの表面がフォーカス方向(Z方向)にZdだけ変動したと仮定すると、 $Z_p(y_1)$ は、 $Z_p(y_0)$ に対してZdだけ変動して検出される。つまり、

$$Z_p(y_1) = Z_p(y_0) + Z_d$$

となる。ここで、 $Z_p(y_0)$ 、 $Z_p(y_1)$ とは、第1検出器、第2検出器によって得られる計測値であるので、上記関係式からZdを算出することができる。

【 0 0 1 7 】

以上の原理にしたがって、基板ステージWSを駆動しながら基板Wの全面にわたって第1、第2検出器で基板Wの面位置を検出することで、基板ステージWSの可動範囲の全域における基板ステージWSのZ方向変動を計測することができる。

【 0 0 1 8 】

このようにして求められた計測データは、基板ステージWSの座標と対応づけて、補正テーブルとしてメモリに保存されうる。そして、露光処理を行うときは、該メモリ内の補正テーブルを用いて基板ステージWSを補正駆動する。この補正駆動によって、A点が露光スリット位置にきたときに、基板Wの表面を投影光学系ULの焦平面FPに正確に合わせ込むことができる。

【特許文献1】特開2001-015422号公報

【特許文献2】特開2001-332490号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 9 】

半導体デバイスの高集積化に対応して、基板に転写されるパターンの微細化、即ち、高解像度化への要求が一層高まっている。かかる要求に応えるためには、露光波長の短波長化では限界にきており、近年では、短波長化とあわせて投影光学系ULの開口数(NA)を従来の0.6程度から0.9を越えるような高い開口数とすることで高解像度化への要求に応えようとしている。更に、投影光学系ULと基板Wとの間の少なくとも一部を屈折率が1よりも大きい液体で満たして開口数の増大を図ることにより、露光パターンの微細化を図る液浸型の露光装置が提案されている。

【 0 0 2 0 】

液浸露光装置においては、基板Wと投影光学系ULの投影端側(像面側)を構成する光学要素との間の空間に、レジスト層の屈折率に近い屈折率を有する液体が充填される。これにより、基板W側から見た投影光学系ULの有効開口数が増加し、解像度を改善することができる。液浸投影方法は、使用する液体を選択することによって良好な結像性能を獲得することができると思われる。

【 0 0 2 1 】

10

20

30

40

50

高NA型の露光装置では、投影光学系ULの最も基板W側のレンズ(最終レンズ)の大型化を抑えるために、投影光学系ULの最終レンズと基板Wとを近接して配置する必要がある。液浸露光装置では、投影光学系ULと基板Wとの間の液体を安定して保持するという観点においても、投影光学系ULの最終レンズと基板Wとを近接して配置する必要がある。このような構成においては、基板W上の露光領域と面位置検出器103の計測領域とが一致するように面位置検出器103を投影光学系ULの周辺に配置することができない。

【0022】

ここで、面位置検出器103の検出光を基板Wの面に入射させる角度を大きくするか、検出光のNAを小さくするといった光学設計上の工夫が考えられる。しかしながら、この場合には、面位置検出器103の小型化や光量不足が検出精度を大きく悪化させてしまう。

10

【0023】

このような問題を解決するために、必要精度を維持可能な位置、つまり投影光学系ULから離れた位置に面位置検出器103を配置し、基板W上の露光領域とは異なる位置を面位置検出器103の計測領域とすることが考えられる。しかし、この方法で基板ステージの変動の補正テーブルを作成したとしても、補正テーブル作成時にレーザ干渉計が参照する移動鏡102の位置と、露光時に基板ステージの制御のためにレーザ干渉計が参照する移動鏡102の位置とは異なってしまふ。更に、基板ステージ定盤上における基板ステージWSの位置も、補正テーブル作成時と露光時とは異なってしまふ。このため、面位置検出器103の計測領域が露光領域にない状態で得られた補正テーブルに基づき基板ステージWSを補正駆動しても、基板Wを投影光学系ULの焦平面FPへ正確に合わせ込むことはできない。

20

【0024】

本発明は、上記の課題認識を基礎としてなされたものであり、例えば、高いNAを有する露光装置又は液浸露光装置等に好適な面位置計測手段を有する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】

【0025】

本発明は、原版ステージと、前記原版ステージによって保持される原版を照明する照明光学系と、基板ステージと、前記原版のパターンを前記基板ステージ上の基板に投影する投影光学系とを備える露光装置に関する。前記露光装置は、計測光学系と受光器とを備える。計測光学系は、計測光を前記投影光学系に斜入射させ、前記投影光学系から戻ってくる計測光を受光する。受光器は、前記投影光学系に斜入射して前記投影光学系を通過し、前記基板ステージ上の基板に入射して前記基板で反射され、前記投影光学系を更に通過した計測光を受光する。前記受光器の出力に基づいて前記基板の面位置情報が導出される。

30

【0026】

本発明の好適な実施形態によれば、前記計測光学系は、前記計測光学系の光軸からシフトした位置に開口部を有する絞りを含むことができ、前記絞りによって前記投影光学系に斜入射させる計測光が規定されうる。

40

【0027】

本発明の好適な実施形態によれば、前記計測光学系は、前記原版ステージに配置されたマークを計測光で斜入射照明するように構成されうる。前記受光器は、前記投影光学系から戻ってくる計測光で形成される前記マークの像を撮像する撮像素子を含みうる。

【0028】

本発明の好適な実施形態によれば、前記計測光学系は、マークを含み、前記マークの情報を含む計測光を前記投影光学系に斜入射させるように構成されうる。前記受光器は、前記投影光学系から戻ってくる計測光で形成される前記マークの像を撮像する撮像素子を含みうる。

【0029】

50

本発明の好適な実施形態によれば、前記基板ステージを移動させながら前記受光器の出力に基づいて前記基板の面位置情報を導出することによって前記基板の面形状が計測される。

【0030】

本発明の好適な実施形態によれば、前記投影光学系の第1位置に計測光を入射させた状態で前記基板の面形状を計測し、前記投影光学系の第2位置に計測光を入射させた状態で前記基板の面形状を計測し、両計測結果に基づいて前記投影光学系の光軸方向における前記基板ステージの駆動誤差が計測される。

【0031】

本発明の好適な実施形態によれば、前記露光装置は、前記計測光学系及び前記受光器を含んで構成されるTTR検出器を少なくとも2台備えることができる。ここで、第1TTR検出器によって前記第1位置に計測光を入射させた状態で前記基板の面形状が計測され、第2TTR検出器によって前記第2位置に計測光を入射させた状態で前記基板の面形状が計測される。

10

【0032】

本発明の好適な実施形態によれば、前記露光装置は、前記投影光学系を介することなく前記基板に計測光を入射させ、前記基板からの反射光を受光することによって前記基板の面位置情報を検出する面位置検出器を更に備える。

【発明の効果】

【0033】

本発明によれば、例えば、高いNAを有する露光装置又は液浸露光装置等に好適な面位置計測手段を有する露光装置が提供される。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0034】

以下、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態を説明する。

【0035】

[第1実施形態]

図3は、本発明の第1実施形態の露光装置の概略構成を示す図である。図3に示す露光装置は、投影光学系ULと基板(ウエハ)Wとの間に液体を介在させずに基板を露光する露光装置にも、投影光学系ULと基板Wとの間に液体を介在させて基板を露光する露光装置にも適用可能である。ここでは、一適用例として、半導体デバイスの回路パターンが形成された原版(レチクル)Rを用いて、ステップ・アンド・リピート方式により、回路パターンを基板Wに転写する走査型露光装置について説明する。

30

【0036】

露光装置は、原版ステージRSと、原版ステージRSによって保持される原版Rを照明する照明光学系ILと、基板ステージWSと、原版Rのパターンを基板ステージWS上の基板Wに投影する投影光学系ULとを備える。

【0037】

以下では、図3中に示したXYZ直交座標系に従って説明する。XYZ直交座標系は、X方向及びY方向で規定される面が基板Wの面に平行になり、Z方向が基板Wの面に対して直交するように方向に決定されている。ここで、図1と同様の構成要素には図1と同様の符号を付して説明を省略乃至簡略化する。

40

【0038】

図3に示す露光装置は、光源LSを備えている。光源LSとしては、例えば、193nmの波長の光を発生するArFエキシマレーザが好適であるが、例えば、水銀ランプ、KrFエキシマレーザ(248nm)、EUV光源などを採用しうる。露光光源LSから射出された光束は、照明光学系ILに入射し、設定された形状、干渉性、偏光状態に整形された後に、原版Rを透過照明する。原版Rの下面に形成された微細な回路パターンで回折された光は、投影光学系ULにより、基板ステージWS上に配置された基板W上に結像する。

50

【0039】

TTR検出器104による基板の面位置検出について説明する。図3に示すように、この実施形態で示す露光装置にはTTR検出器104は1台のみ構成されている。ここで、基板は、露光対象のウエハ等の基板でもよいし、例えば、計測用の基板であってもよい。

【0040】

TTR検出器104による基板Wの面位置検出には、図4に例示するような面位置計測用マーク301を使用する。面位置計測用マーク301は、原版基準プレートRP上に形成されており、計測光を透過する透過部301aと、Cr等の金属膜からなり計測光を反射する反射部301bとを含む。図4に示す例では、面位置計測用マーク301は、X方向に長い複数本のライン状の反射部301bを含む。原版側基準プレートRP上には、面位置計測用マーク301の他にも、例えば、原版側基準マークRMが形成されうる。原版側基準マークRMは、面位置計測用の機能を兼ねていてもよい。面位置計測用マーク301は、図4で示した形態に限られず、例えば、ライン状の透過部を含んでいてもよい。

10

【0041】

TTR検出器104は、計測光学系120と、受光器としての撮像素子108とを含む。計測光学系120は、計測光を投影光学系ULに斜入射させ、投影光学系ULから戻ってくる計測光を受光するように構成される。撮像素子108は、投影光学系ULに斜入射して投影光学系ULを通過し、基板ステージWS上の基板Wに入射して基板Wで反射され、投影光学系ULを更に通過した計測光を撮像面で受光する。

【0042】

計測光学系は、例えば、照明部105、対物レンズ106、リレーレンズ107、引き廻し系109等を含みうる。引き廻し系109は、例えば、光ファイバー、レンズ、ミラー等を含んで構成され、光源LSから出射される光の一部は、引き廻し系109によりTTR検出器104の照明部105に導光される。

20

【0043】

斜入射開口絞り401は、照明部105から出射された光を制限することによって、投影光学系ULに斜入射させるべき計測光を規定する。斜入射開口絞り401は、投影光学系ULの開口絞り面、いわゆる瞳面とほぼ共役な位置に配置されることが好ましい。図5は、斜入射開口絞り401の構成例を模式的に示す図である。斜入射開口絞り401は、図5に例示するように、TTR検出器104の光軸上には開口部401aを持たず、光軸からY方向へシフトした位置にスリット状の開口部401aを有している。このため、対物レンズ106を通過した計測光は、開口部401aの位置adに応じた入射角度で面位置計測用マーク301を斜入射照明する。開口部401aは、光軸からY方向へシフトした位置に配置されていれば、スリット状に限らず、円形状、又は矩形状のものでもよい。なお、図5内の点線は、開口絞り位置における光線有効径を示している。

30

【0044】

TTR検出器104は、図3には示されていないが、例えば、原版側基準マークRM及び基板側基準マークWMのXY方向の位置を計測するための円形開口絞り等も、斜入射開口絞り401と同じ位置に配置されうる。当該円形開口絞り401と斜入射開口絞り401とを切り替えることで、基板側基準マークWMのXY平面内における位置計測機能と、基板Wの面位置計測機能とを切り替えることが可能である。斜入射開口絞り401と円形開口絞りとは、アクチュエータによって切り替えが可能である。斜入射開口絞り401と円形開口絞りとは、同一プレートに構成されていてもよいし、別々のプレートに構成されていてもよい。

40

【0045】

制御部200は、基板Wの面位置検出を行う前に、例えばTTR検出器104のリレーレンズ107等を移動させることで、原版側基準プレートRPのパターン面とTTR検出器104内の撮像素子108の撮像面を合焦状態とする。これを原版側フォーカスキャリブレーションと呼ぶ。原版側フォーカスキャリブレーションの際には、円形開口絞りを使用してよいし、斜入射開口絞り401を使用してよい。また、原版側フォーカスキャ

50

リブレーションの際には、原版側基準マークRMを使用してもよいし、面位置計測用マーク301を使用してもよい。

【0046】

原版側フォーカスキャリブレーション後、制御部200は、計測光の光路に斜入射開口絞り401を移動させ、TTR検出器104で面位置計測用マーク301を観察することができるように原版ステージRS及びTTR検出器104を移動させる。

【0047】

図6に例示するように、制御部200は、基板Wを投影光学系ULの焦平面FPからデフォーカスさせるために、基板ステージWSをZ方向に駆動する。基板ステージWSの駆動方向は、+Z方向でも-Z方向でもよく、駆動量は数 μm ~数十 μm 程度であり、駆動後の基板ステージWSの基準面位置が面位置検出の計測原点SPとなる。

10

【0048】

基板ステージWSの基準面が投影光学系ULの焦平面FP上にあった場合を考える。この場合、面位置計測用マーク301のラインパターンを透過した計測光は投影光学系ULを介して基板Wに照射され基板Wで反射され、再び投影光学系ULを介し、面位置計測用マーク301のラインパターン上に結像される。ここで、基板ステージWSの基準面は、基板ステージWS上の基板Wの表面を意味する。

【0049】

しかし、基板ステージWSの基準面を投影光学系ULの焦平面FPからZ方向に駆動し、かつ斜入射開口絞り401を用いて面位置計測用マーク301を斜入射照明している場合には、上記の場合と異なる。この場合、図7に例示するように、基板Wで反射された計測光(以下、基板反射光WR)は、面位置計測用マーク301のラインパターン上には戻らず、Z方向の駆動量及び開口位置adに応じてY方向へシフトした位置に結像する。図7は、基板ステージWSを-Z方向へ駆動した場合について示している。

20

【0050】

上記駆動が終了すると、制御部200は、TTR検出器104に面位置計測用マーク301を照明させ、面位置計測用マーク301で反射された光束(以下、原版反射光RR)と基板反射光WRとを撮像素子108に撮像させる。撮像素子108の撮像面上には、原版反射光RRと基板反射光WRとでラインパターン(マーク301の像)が形成される。得られるY方向の強度プロファイルを図8に例示する。図8において、"601a"が原版反射光RRの強度プロファイルであり、"601b"が基板反射光WRの強度プロファイルである。ここで、Yは、斜入射開口絞り401の開口位置ad及び基板ステージWSの-Z方向の駆動量に依存する値である。また、原版反射光RRと基板反射光WRとの光量差が大きい場合、ラインパターン像のコントラストに差が生じるため、計測精度が低下する可能性がある。そこで、2つの反射光の光量がほぼ等しくなるように面位置計測用マーク301の金属部の反射率を調整することが好ましい。

30

【0051】

次いで、制御部200は、TTR検出器104に面位置計測用マーク301を照明させながら、基板ステージWSをY方向へスキャン移動させ、一定間隔ごとに原版反射光RRと基板反射光WRとを撮像素子108に撮像させる。或いは、基板ステージWSをY方向へステップ駆動させ、各ステップごとに原版反射光RRと基板反射光WRとを撮像素子108に撮像させてもよい。

40

【0052】

基板Wの表面は完全な平面ではなく凹凸となっているため、基板ステージWSをY方向に駆動させると、TTR検出器104の計測点における基板Wの表面位置が当該凹凸に応じてZ方向にZだけ微小変化する。面位置計測用マーク301を斜入射照明しているので、基板Wの表面位置のZ方向の変化は、図9に示すように撮像素子108の撮像面において基板反射光WRの微小シフトYdとして検出される。このとき、原版ステージRSは移動していないので、撮像素子108の撮像面上での原版反射光RRのシフトは発生しない。したがって、撮像素子108の出力から、原版反射光RRを基準にしてYdを計

50

測することができる。制御部 200 は、 Y_d に基づいて、基板 W の面位置情報として、TTR 検出器 104 の計測原点 SP からの基板 W の面位置の微小変化 Z を導出する。

【0053】

更に、このような計測を基板 W の全面について実施することにより、基板 W の表面形状を計測することができる。

【0054】

この実施形態では、斜入射開口絞り 401 は、光軸から Y 方向へシフトした位置に開口部 401a を有している。これに代えて、光軸から X 方向へシフトした位置にスリット状の開口部を配置してもよい。

【0055】

また、面位置計測は、露光スリット内で TTR 検出器 104 を移動させることにより、投影光学系 UL の各像高において可能である。

【0056】

[第2実施形態]

この実施形態では、第1実施形態で説明した TTR 検出器 104 による面位置計測を応用して基板ステージ WS の Z 方向変動を補正するための補正テーブルを作成する。なお、ここで特に言及しない事項については、第1実施形態に従いうる。

【0057】

TTR 検出器 104 を使って基板ステージ WS の Z 方向変動を計測する際には、基板ステージ WS には、露光対象の基板を配置してもよいし、計測用の基板を配置してもよい。計測用の基板としては、例えば、計測光に対する高い反射率及び/又は高い平面度を有する金属等の反射基板が好適である。

【0058】

図 10 に示すように、TTR 検出器 104 が投影光学系 UL のある像高（第1位置： $Y_s = 0$ ）にあり、基板ステージ WS が $Y_w = 0$ にあるとき、第1実施形態で説明した方法で基板 W 上の A 点における面位置を計測し、この値を $Z_p(y_0)$ と計測する。

【0059】

次に、TTR 検出器 104 を投影光学系 UL の $Y_s = 0$ とは異なる像高（第2位置： $Y_s = y_{s1}$ ）へ移動させ、更に基板ステージ WS を $Y_w = y_{w1}$ へ移動させる。ここで、TTR 検出器 104 と基板ステージ WS の駆動量は投影光学系 UL の倍率 M に基づいており、 $y_{w1} = M \times y_{s1}$ である。

【0060】

よって、駆動後における TTR 検出器 104 の計測位置も基板 W 上の A 点となり、駆動後における TTR 検出器 104 の計測値を $Z_p(y_1)$ とすると、基板 W の表面の凹凸に関わらず $Z_p(y_1)$ と $Z_p(y_0)$ とは同じ計測値となるはずである。ところが、基板ステージ WS の Z 方向変動により基板ステージ WS の $Y = 0$ から $Y = y_{w1}$ への駆動後に、基板 W の表面の Z 方向位置が Z_d だけ変動したとすると、

$Z_p(y_1) = Z_p(y_0) + Z_d$
となる。

【0061】

ここで、 $Z_p(y_0)$ と $Z_p(y_1)$ とは TTR 検出器 104 により得られる計測値であるから、上記関係式から Z_d を算出することができる。なお、面位置計測用マーク 301 は、原版側基準プレート RP 上の露光スリット内における $Y = 0$ 及び $Y = y_{s1}$ に1つつ設置することができる。或いは、原版側基準プレート RP 上には1つのみ配置し、TTR 検出器 104 位置が $Y = 0$ 及び $Y = y_{s1}$ において面位置計測用マーク 301 を観察できるように原版ステージ RS も移動させてもよい。

【0062】

制御部 200 は、上記計測を基板 W の全面にわたって実行し、基板ステージ WS の可動範囲全域における Y 方向駆動時の基板ステージ WS の Z 方向変動を計測し、その計測結果に基づいて該 Z 方向変動を補正するための補正テーブルを作成する。補正テーブルは、基

10

20

30

40

50

板ステージWSのZ方向変動を相殺するように基板ステージWSをXY位置に応じてZ方向に駆動するための情報を含む。

【0063】

また、同様の方法で、基板ステージWSのX方向駆動時の基板ステージWSのZ方向変動を補正するための補正テーブルを作成することができる。具体的には、TTR検出器104が投影光学系ULのある像高($X=0$)にあり、基板ステージWSが $X=0$ にある状態で計測した面位置を $Z_p(x_0)$ とする。また、TTR検出器104が投影光学系ULの $X=0$ とは異なる像高($X=x_{s1}$)にあり、基板ステージWSが $X=x_{w1}$ にある状態で計測した面位置を $Z_p(x_1)$ とする。制御部200は、 $Z_p(x_0)$ と $Z_p(x_1)$ の両計測結果に基づいて基板ステージWSのZ方向変動を導出することができる。Y方向の場合と同様に $x_{s1} = M \times x_{w1}$ である。

10

【0064】

先の例では、基板ステージWSが $Y=0$ から $Y=y_{w1}$ ($y_{w1} > 0$)に移動するとき、つまり基板ステージWSが+Y方向へ駆動する際の計測方法を述べた。基板ステージWSが逆方向に移動するときには、先で求めた Z_d の値を符号反転して用いてもよいし、基板ステージWSが $Y=0$ にある状態と $Y=-y_{w1}$ とにある状態で新たに計測し直してもよい。このように基板ステージWSを-Y方向へ駆動させ補正テーブルを作成した場合には、走査方向に依存してZ方向への変動量が変化する場合にも対応することが可能となる。

【0065】

本発明の好適な実施形態では、面位置計測は、撮像素子108面上における原版反射光RRの位置を基準として、基板Wの面位置計測がなされる。補正テーブル作成のため、TTR検出器104及び面位置計測用マーク301を水平方向へ移動させた場合、TTR検出器104及び面位置計測用マーク301が光軸方向に変動していると、撮像素子面上の原版反射光RRの位置が変化する。したがって、このような場合には、正確に基板Wの面位置計測を行うことができない。これを防ぐためには、TTR検出器104及び面位置計測用マーク301の駆動後に再び原版R側フォーカスキャリブレーションを行い、面位置計測用マーク301と撮像素子108を正確に合焦状態となるように調整すればよい。或いは、TTR検出器104及び面位置計測用マーク301を水平方向へ移動させた際に発生するZ方向の変動を別途計測し、面位置計測の際に補正を行ってもよい。

20

30

【0066】

[第3実施形態]

この実施形態では、面位置検出系103とTTR検出器104とを使用することによって基板ステージWSの変動を補正するための補正テーブルを作成する。なお、ここで特に言及しない事項については、第1、第2実施形態に従いうる。

【0067】

面位置検出器103は、投影光学系ULを介することなく基板Wに計測光を斜入射させ、基板Wからの反射光を受光することによって基板Wの面位置情報を検出する。面位置検出器103は、典型的には、露光領域とは異なる領域を計測領域とする。

【0068】

まず、制御部200は、基板ステージWSが保持している基板(好適には、計測用の反射基板)Wが面位置計測器103の計測範囲にある状態において、基板ステージWSを水平方向へ駆動させ、面位置検出器103により基板Wの面位置計測を行う。更に、制御部200は、この計測結果から前述した方法により基板ステージWSの変動を計測し、基板Wの面位置計測値から基板ステージWSの変動分を減ずることで基板Wの面形状を算出する。

40

【0069】

次に、制御部200は、基板ステージWSを露光位置に駆動させ、投影光学系ULのある像高の位置にTTR検出器104が配置された状態で、第1実施形態として説明した手順に基づき基板Wの面位置計測を行う。ここで、この面位置計測結果は、基板Wの面形状

50

、及び、基板ステージWSの変動に起因する基板Wの面位置の変動を含んだものである。TTR検出器104による面位置計測結果から、先に算出した基板Wの面形状を示す値を減ずることで、基板ステージWSの変動分を算出することができる。

【0070】

第3実施形態では、予め面位置検出器103によって基板Wの面形状を計測しておくことで、基板ステージWSの変動を計測する際に、TTR検出器104を水平方向に駆動する必要がない。そのため、露光装置内におけるTTR検出器104の荷重重心が変化することもないので、TTR検出器104の水平方向及びZ方向の駆動誤差により面位置計測精度を低下することがない。

【0071】

また、第3実施形態は、例えば、ツインステージ型の露光装置への適用にも有利である。ツインステージ型の露光装置は、基板Wを保持するための2つの基板ステージWSを有し、基板Wの面形状及び基板ステージWSにおける基板Wの位置を計測するための計測ステーションと、投影光学系ULを有し、基板Wを露光する露光ステーションとを備える。

【0072】

計測ステーションには、面位置検出系103が配置され、基板ステージWSを露光の際と同じように駆動することで、面位置検出系103によって基板Wの面位置計測を行う。この計測結果から、前述した方法により計測ステーションにおける基板ステージWSの変動を計測し、基板Wの面位置計測値から基板ステージWSの変動分を減ずることで、基板Wの面形状を算出する。

【0073】

以上の処理が終了すると、制御部200は、基板ステージWSを露光ステーションへ移動させ、投影光学系ULのある像高にTTR検出器104が配置された状態で、第1実施形態として説明した手順に基づいて基板Wの面位置計測を行う。この面位置計測結果は、基板Wの面形状及び露光ステーションでの基板ステージWSの変動による基板Wの表面位置の変動を含む。

【0074】

TTR検出器104による面位置計測結果から、計測ステーションにおいて算出した基板Wの面形状値を減ずることで、露光ステーションでの基板ステージWSの変動分を算出することができる。TTR検出器104と面位置検出器103とにおいて、面位置計測値が異なる場合には、形状が既知である基板Wを用意してこれを2つの検出器104、103で計測する。そして、これらの計測値に基づいて検出器104、103との面位置計測値が一致するようにキャリブレーションを行えばよい。

【0075】

ツインステージ型の露光装置においても、予め面位置検出系103によって基板Wの面形状を計測しておくことで、基板ステージWSの変動を計測する際にはTTR検出器104を水平方向へ駆動させる必要がない。そのため、露光装置内におけるTTR検出器104の荷重重心が変化することもないので、出TTR検出器104の水平方向及びZ方向の駆動誤差により面位置計測精度が低下することがない。

【0076】

[第4実施形態]

この実施形態は、露光装置にTTR検出器104を少なくとも2台備えて、2台のTTR検出器104を用いて基板ステージWSの変動を補正するための補正テーブルを作成する技術を提供する。

【0077】

図11は、本発明の第4実施形態の露光装置の概略構成を示す図である。ここで、図1と同様の構成要素には図1と同様の符号を付して説明を省略乃至簡略化する。図12は、2台のTTR検出器104a、104bの計測領域R104a、R104bの配置を模式的に示す図である。

【0078】

10

20

30

40

50

T T R 検出器 1 0 4 a、1 0 4 b の計測領域 R 1 0 4 a、R 1 0 4 b は、スキャン露光のための露光スリット 1 0 0 1 内において、例えば Y 軸対称に 2 台構成されている。

【 0 0 7 9 】

この実施形態の露光装置では、2 台の T T R 検出器 1 0 4 a、1 0 4 b により投影光学系 U L の異なる像高位置で原版側基準マーク R M 及び基板側基準マーク W M を検出することが可能であり、また、基板の面位置の検出も可能である。

【 0 0 8 0 】

図 1 2 に例示するように、 $X = -d / 2$ (第 1 位置) に T T R 検出器 1 0 4 a の計測領域 R 1 0 4 a が配置され、 $X = d / 2$ (第 2 位置) に T T R 検出器 1 0 4 b の計測領域 R 1 0 4 b が配置されているとする ($d > 0$)。この場合、2 台の T T R 検出器 1 0 4 a、1 0 4 b の計測領域の間隔は d である。T T R 検出器 1 0 4 b で基板 W 上の A 点を計測した後、間隔 d に投影光学系 U L の倍率 M を乗じた量 (つまり $d \times M$) だけ基板ステージ W S を + X 方向に駆動させるとする。この場合、基板ステージ W S の駆動前に T T R 検出器 1 0 4 b で計測した A 点を基板ステージ W S の駆動後には T T R 検出器 1 0 4 a で計測することができる。つまり、T T R 検出器 1 0 4 a、1 0 4 b の X 方向の駆動を行わずに、第 1 実施形態で説明した計測方法と同様に、X 方向における基板ステージ W S の変動を補正するための補正テーブルを作成することができる。また、Y 方向における基板ステージ W S の変動を補正するための補正テーブルを作成するためには、2 台の T T R 検出器 1 0 4 a、1 0 4 b を Y 方向に並べて配置すればよい。

【 0 0 8 1 】

以上のように、この実施形態によると、T T R 検出器 1 0 4 を水平方向へ駆動する必要がない。したがって、基板ステージ W S の変動を補正するための補正テーブルを作成する時間を短縮することができる。また、露光装置内における T T R 検出器 1 0 4 の荷重重心が変化することもないので、T T R 検出器 1 0 4 の水平方向及び Z 方向の駆動誤差により面位置計測精度を低下させることがない。

【 0 0 8 2 】

[第 5 実施形態]

この実施形態では、T T R 検出器 1 0 4 の照明部内で原版側基準マーク R M と共役関係にある照明視野絞り 1 1 2 に、図 4 に例示するような面位置計測用マーク 3 0 1 を設ける構成を提供する。照明視野絞り 1 1 2 は、リレーレンズ 1 1 0 と 1 1 1 の間に配置される。図 1 3 は、本発明の第 5 実施形態の露光装置の概略構成を示す図である。面位置計測用マーク 3 0 1 は、計測光に対し透過性又は吸収性をもつ複数本のラインパターンで構成される。照明視野絞り 1 1 2 に面位置計測用マーク 3 0 1 を設けることによって、原版基準プレート R P に面位置計測用マーク 3 0 1 を設ける必要がなくなる。

【 0 0 8 3 】

第 5 実施形態における面位置計測用マーク 3 0 1 の配置においても、基板 W の面位置計測、及び基板ステージ W S の変動を補正するための補正テーブルを作成することができる。また、第 5 実施形態によると、基板ステージ W S を固定し原版ステージ R S を水平方向へ移動させることで、原版側基準プレート R P の面位置計測及び原版ステージ R S の変動を補正するための補正テーブルを作成することができる。

【 0 0 8 4 】

[応用例]

次に上記の露光装置を利用したデバイス製造方法を説明する。図 1 4 は、半導体デバイスの全体的な製造プロセスのフローを示す図である。ステップ 1 (回路設計) では半導体デバイスの回路設計を行う。ステップ 2 (レチクル作製) では設計した回路パターンに基づいてレチクル (原版またはマスクともいう) を作製する。一方、ステップ 3 (ウエハ製造) ではシリコン等の材料を用いてウエハ (基板ともいう) を製造する。ステップ 4 (ウエハプロセス) は前工程と呼ばれ、上記のレチクルとウエハを用いて、リソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。次のステップ 5 (組み立て) は後工程と呼ばれ、ステップ 4 によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、ア

10

20

30

40

50

ッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の組み立て工程を含む。ステップ6（検査）ではステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これを出荷（ステップ7）する。

【0085】

図15は、上記ウエハプロセスの詳細なフローを示す図である。ステップ11（酸化）ではウエハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）ではウエハ表面に絶縁膜を成膜する。ステップ13（電極形成）ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ14（イオン打ち込み）ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ16（露光）では上記の露光装置を用いて、回路パターンが形成されたマスクを介し感光剤が塗布されたウエハを露光してレジストに潜像パターンを形成する。ステップ17（現像）ではウエハに転写されたレジストを現像してレジストパターンを形成する。ステップ18（エッチング）ではレジストパターンが開いた部分を通してレジストパターンの下にある層又は基板をエッチングする。ステップ19（レジスト剥離）ではエッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンを形成する。

10

【図面の簡単な説明】

【0086】

【図1】露光装置の概略構成を示す図である。

【図2】面位置検出器によって基板ステージの変動を計測する様子を示す図である。

20

【図3】本発明の第1実施形態の露光装置の概略構成を示す図である。

【図4】TTR検出器による面位置計測時に使用する面位置計測用マークを例示する図である。

【図5】TTR検出器による面位置計測時に使用する斜入射開口絞りを例示する図である。

【図6】TTR検出器による面位置計測時の光路を例示する図である。

【図7】TTR検出器による面位置計測時の光路を例示する図である。

【図8】TTR検出器による面位置計測時の撮像素子面上での強度プロファイルを例示する図である。

【図9】TTR検出器による面位置計測時の撮像素子面上での強度プロファイルを例示する図である。

30

【図10】TTR検出器により基板ステージの変動を計測する様子为例示す図である。

【図11】本発明の第4実施形態の露光装置の概略構成を示す図である。

【図12】TTR検出器の配置を例示する図である。

【図13】本発明の第5実施形態の露光装置の概略構成を示す図である。

【図14】半導体デバイスの全体的な製造プロセスのフローを示す図である。

【図15】半導体デバイスの全体的な製造プロセスのフローを示す図である。

【符号の説明】

【0087】

101 レーザ干渉計

40

102 移動鏡

103 面位置検出器

104 TTR検出器

105 照明部

106 対物レンズ

107 リレーレンズ

108 撮像素子

109 引き廻し系

110、111 リレーレンズ

112 照明視野絞り

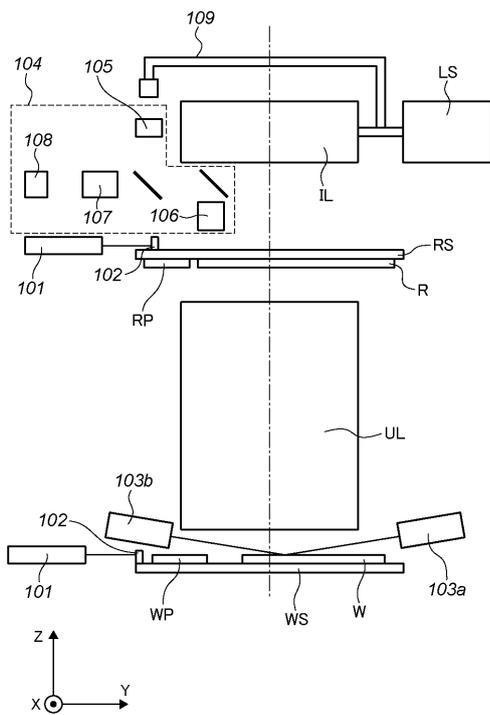
50

- 1 2 0 計測光学系
- 2 0 0 制御部
- 3 0 1 面位置計測用マーク
- 3 0 1 a 透過部
- 3 0 1 b 遮光部
- 4 0 1 斜入射開口絞り
- 4 0 1 a 開口部
- 1 0 4 a、1 0 4 b T T R 検出器
- 1 0 0 1 露光スリット
- U L 投影光学系
- I L 照明光学系
- L S 光源
- R 原版 (レチクル)
- W 基板 (ウエハ)
- R S 原版ステージ
- W S 基板ステージ
- R P 原版側基準プレート
- W P 基板側基準プレート
- R R 原版反射光
- W R 基板反射光
- F P 投影光学系の焦平面
- S P T T R 検出器の計測原点

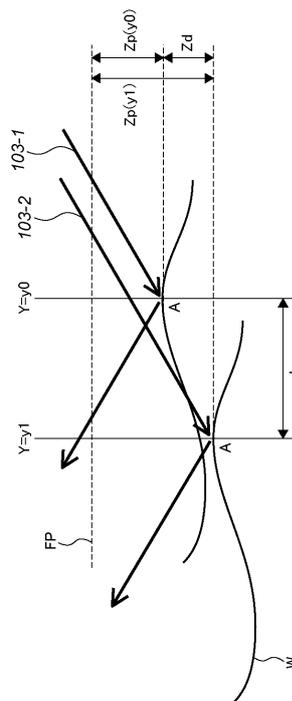
10

20

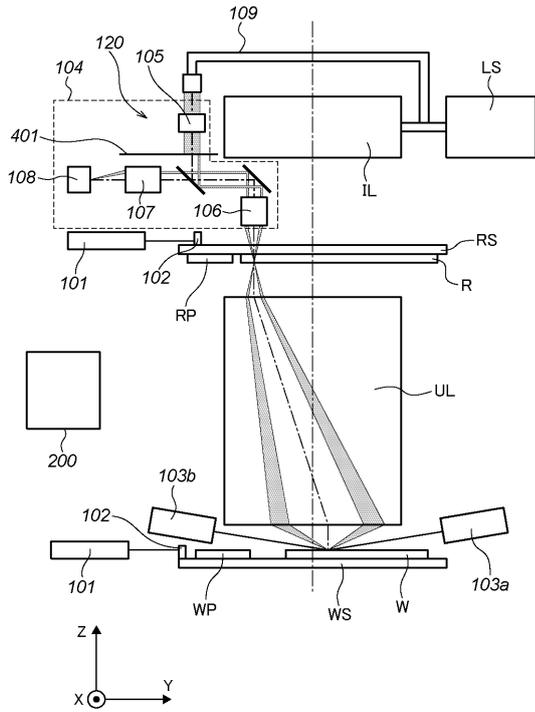
【 図 1 】



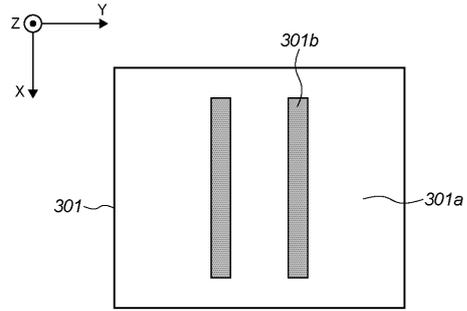
【 図 2 】



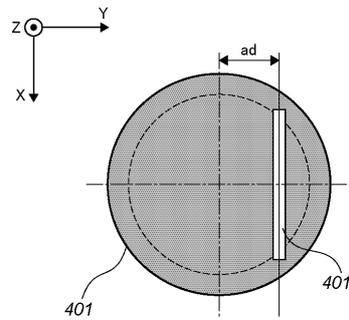
【 図 3 】



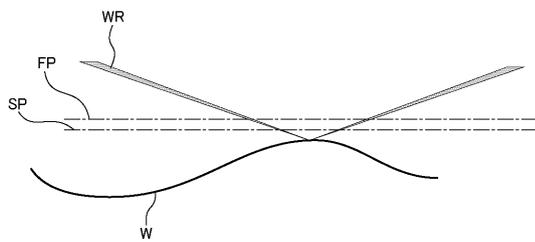
【 図 4 】



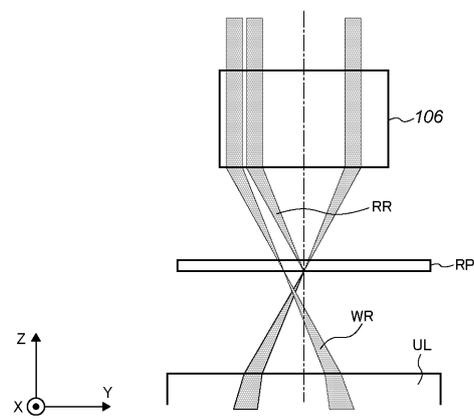
【 図 5 】



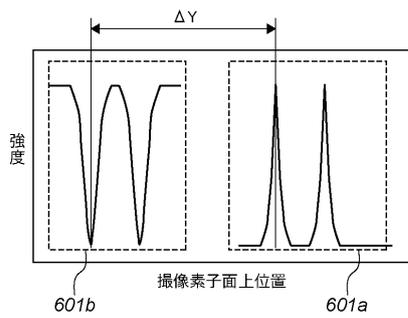
【 図 6 】



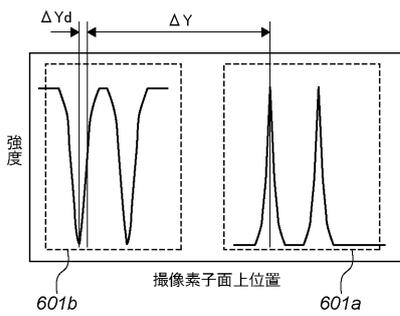
【 図 7 】



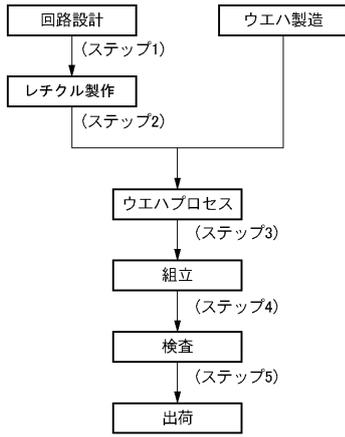
【 図 8 】



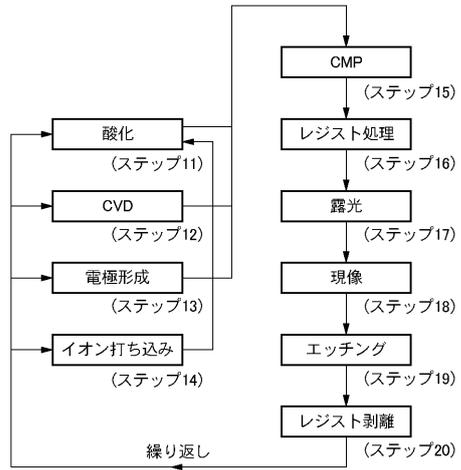
【 図 9 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



フロントページの続き

- (72)発明者 森 鉄也
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 三浦 聖也
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 大寄 美紀
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) 5F046 CC01 CC02 CC05 DA14 DB04