(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7213761号
(P7213761)

(45)発行日　令和5年1月27日(2023.1.27)

(24)登録日　令和5年1月19日(2023.1.19)

(51)国際特許分類
Ｇ０３Ｆ　7/20 (2006.01)

ＦＩ
Ｇ０３Ｆ　7/20　５０２

請求項の数　12　（全10頁）

(21)出願番号　特願2019-113049(P2019-113049)
(22)出願日　令和1年6月18日(2019.6.18)
(65)公開番号　特開2020-204739(P2020-204739A)
(43)公開日　令和2年12月24日(2020.12.24)
審査請求日　令和4年5月27日(2022.5.27)

(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
弁理士法人大塚国際特許事務所
(72)発明者　漆原 宏亮
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】　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】

基板を露光する露光装置であって、

マスクのパターンを前記基板に投影する投影光学系と、

互いに屈折率が異なる複数の気体を予め設定された混合率である設定混合比で混合して得られる混合気体を、前記投影光学系の内部の光学素子間の空間に供給する供給部と、

前記設定混合比を制御することにより前記投影光学系の結像特性を補正して前記基板を露光する制御部と、を有し、

前記制御部は、

前記供給部により一定の混合比で混合気体を供給したときの前記結像特性の推移を示す応答特性を取得し、

前記設定混合比を目標混合比に設定して前記基板を露光する際、前記結像特性が定常状態に遷移する前の過渡期間中は、前記設定混合比を、前記応答特性に基づいて前記目標混合比を補正して得られる値に設定して前記基板を露光する

ことを特徴とする露光装置。

【請求項２】

前記制御部は、前記過渡期間の経過後は、前記設定混合比を前記目標混合比に設定して前記基板を露光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３】

前記結像特性を調整する調整部を更に有し、

前記制御部は、前記設定混合比を制御することにより、前記結像特性として、複数の収差成分のうちの第１収差成分を補正し、
前記調整部は、前記過渡期間中に前記制御部により前記設定混合比が変更されたことに応じて、前記結像特性として、前記第１収差成分以外の他の収差成分を補正する
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】
前記マスクを保持するマスクステージと、
前記基板を保持する基板ステージと、を更に有し、
前記調整部は、前記投影光学系の光学素子の駆動、前記マスクステージの駆動、および前記基板ステージの駆動のうちの少なくとも１つを行うことにより、前記結像特性を調整する、ことを特徴とする請求項３に記載の露光装置。
【請求項５】
前記他の収差成分の補正量が前記調整部による補正可能範囲を超えているときは、前記制御部は、前記調整部による補正が可能になるまで前記基板の露光を停止することを特徴とする請求項３または４に記載の露光装置。
【請求項６】
前記結像特性は、球面収差、倍率収差、歪曲収差、像面湾曲、非点収差、コマ収差のうちの少なくとも１つを含むことを特徴とする請求項３乃至５のいずれか１項に記載の露光装置。
【請求項７】
前記第１収差成分は球面収差であり、前記他の収差成分は、倍率収差および歪曲収差であることを特徴とする請求項３乃至５のいずれか１項に記載の露光装置。
【請求項８】
前記応答特性は、球面収差、倍率収差、および歪曲収差それぞれについての応答特性を含むことを特徴とする請求項７に記載の露光装置。
【請求項９】
前記複数の気体は、ヘリウム、窒素、酸素、二酸化炭素、乾燥空気のうちから選択される複数の気体であ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１０】
前記投影光学系が設置されている空間の大気圧を計測する気圧計を更に有し、
前記制御部は、前記気圧計により計測された大気圧の値に基づいて、大気圧の変化の影響によって発生した前記結像特性の変化量を求め、該変化量に基づいて前記結像特性の補正量を求める
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】
前記投影光学系を透過した光を検出する検出器を更に有し、
前記制御部は、前記検出器を用いて、前記投影光学系が露光エネルギーを吸収することによって生じる前記結像特性の変化量を求め、該変化量に基づいて前記結像特性の補正量を求める
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１２】
請求項１乃至１１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】

近年の半導体デバイスの高集積化の進展に伴い、露光装置にも光学性能のさらなる向上が求められている。露光装置の光学性能の向上を阻害する要因として、光学性能が投影光学系内外の気圧変化や温度変化等の環境変化の影響を受けることが挙げられる。

【０００３】

このような環境変化に対しては、投影光学系内の空間に屈折率の異なる２種類以上の気体を供給し、気体の混合率を変えることにより空間の屈折率を変化させて倍率収差を補正する手法がある（例えば特許文献１，２）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００４】

【文献】特開平５－２１００４９号公報

特開平５－１４４７００号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００５】

気体の混合率を変えて投影光学系の光学性能を補正する場合には、投影光学系の空間内に気体が置換されて光学性能が安定するまでに長時間を要する。従来、露光装置は、光学性能が安定するまで露光を停止し待機していた。そのため、露光装置のダウンタイムが長くなりスループットが低下していた。

【０００６】

本発明は、例えば、投影光学系の光学性能の補正性能とスループットの両立に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】

【０００７】

本発明の一側面によれば、基板を露光する露光装置であって、マスクのパターンを前記基板に投影する投影光学系と、互いに屈折率が異なる複数の気体を予め設定された混合率である設定混合比で混合して得られる混合気体を、前記投影光学系の内部の光学素子間の空間に供給する供給部と、前記設定混合比を制御することにより前記投影光学系の結像特性を補正して前記基板を露光する制御部と、を有し、前記制御部は、前記供給部により一定の混合比で混合気体を供給したときの前記結像特性の推移を示す応答特性を取得し、前記設定混合比を目標混合比に設定して前記基板を露光する際、前記結像特性が定常状態に遷移する前の過渡期間中は、前記設定混合比を、前記応答特性に基づいて前記目標混合比を補正して得られる値に設定して前記基板を露光することを特徴とする露光装置が提供される。

【発明の効果】

【０００８】

本発明によれば、例えば、投影光学系の光学性能の補正性能とスループットの両立に有利な露光装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【０００９】

【図１】実施形態における露光装置の構成を示す図。

【図２】実施形態における投影光学系の光学性能の補正を伴う露光処理を示すフローチャート。

【図３】混合気体置換中の収差の応答特性の例を示す図。

【図４】混合気体の混合比の変化に対する球面収差の変化量が比例関係にあることを示す図。

【発明を実施するための形態】

【００１０】

以下、添付図面を参照して実施形態を詳しく説明する。なお、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。

【００１１】

図１は、実施形態における露光装置１の構成を示す図である。一例において、露光装置１は、ステップ・アンド・リピート方式でマスク３のパターンを基板１０に露光する露光装置である。ただし、本発明は、ステップ・アンド・スキャン方式その他の露光装置にも適用することができる。

【００１２】

照明系２は、波長約３６５ｎｍの水銀ランプ、波長約２４８ｎｍのＫｒＦエキシマレーザー、波長約１９３ｎｍのＡｒＦエキシマレーザー等の不図示の光源からの光を調整してマスク３を照明する。マスク３は、例えば石英ガラスで構成され、基板１０上に転写されるべきパターン（例えば回路パターン）が形成されている。マスクステージ４は、マスク３を保持し、例えばリニアモータを利用して、マスク３の位置および姿勢の少なくとも１つを調整することができる。マスクステージ４の駆動は制御部２５によって制御される。

【００１３】

投影光学系５は、マスク３のパターンを所定の倍率（例えば１／４倍）で基板１０上に投影する。基板１０は、例えばガラスプレートやシリコンウエハなどからなる基板である。基板１０の表面には感光剤１１が塗布されている。投影光学系５は、複数の光学素子６（例えば、レンズやミラーや開口絞りなどの光学要素）を含む。複数の光学素子６のうちの一部の光学素子は、調整部７によって、位置、姿勢、形状及び温度の少なくとも１つを調整可能である。

【００１４】

基板ステージ９は、基板１０を保持し、例えばリニアモータを利用して、基板１０の位置および姿勢の少なくとも１つを調整することができる。基板ステージ９の駆動は制御部２５に制御される。レーザー干渉計１４は、基板ステージ９の近傍に配置され、基板ステージ９に配置されたバーミラー１２へレーザー光を照射することにより基板ステージ９の位置を計測する。

【００１５】

露光装置１は、互いに屈折率が異なる複数の気体を混合して得られる混合気体を、投影光学系５の内部の光学素子間の空間に供給する供給部３０を有する。供給部３０において、気体供給部１５，１６は、互いに屈折率が異なる複数の気体を混合器１９へ供給する。複数の気体は、例えば、ヘリウム、窒素、酸素、二酸化炭素、乾燥空気等のうちから選択される複数の気体でありうる。給気量調整器１７，１８はそれぞれ、気体供給部１５，１６からの気体の供給量を調整する。混合器１９は、気体供給部１５，１６から供給された少なくとも２種類の異なる気体を混合し、混合気体を給気配管２１を介して投影光学系５へ供給する。濃度計測器２０は、混合気体における各気体の濃度を測定する。このような供給部３０により、予め設定された混合率である設定混合比で混合して得られる混合気体を供給することができる。

【００１６】

投影光学系５に供給された混合気体は、光学素子６を支持する調整部７に設けられた通気孔８を介して光学素子間の空間に拡散する。通気孔８は、調整部７ではなく光学素子６を固定的に支持する不図示の部材にあってもよい。排気部２２は、投影光学系５から排気配管２４を介して気体を排出する。排気配管２４には、排気部２２からの排気量を調節する排気量調整部２３が設けられている。制御部２５は、気圧計２６で計測された気圧値に基づいて、排気量調整部２３を制御して投影光学系５の内外の気圧差がなくなるように排気量を調整する。

【００１７】

検出器１３は、投影光学系５を透過した光を検出する。検出器１３は、例えば、干渉計および光強度センサの少なくともいずれかを含みうる。制御部２５は、検出器１３での検

出結果に基づいて、投影光学系５の露光領域内の各点における波面収差を計測することができる。また、制御部２５は、検出器１３での検出結果に基づいて、投影光学系５の歪曲収差を計測することもできる。ここで、歪曲収差は、例えば、像平面上の実際の像高が理想像高からどれだけずれているかを表す量であり、像平面上（露光領域内）の各点で測定し得る。なお、検出器１３は、周知のいかなる構成をも適用することができるので、ここでは詳しい構造及び動作の説明は省略する。

【００１８】

調整部７は、結像特性を調整するもので、ここでは例えば、投影光学系５の複数の光学素子６のうちの一部の光学素子の位置、姿勢、形状及び温度の少なくとも１つを調整する。調整部７は、例えば、光軸方向（図１に示すＺ方向）および光軸方向と垂直な方向に駆動する機構、光学素子を支持する支持部を駆動する機構、光学素子に応力（光学素子を押す力又は引く力）を付加する機構、光学素子を加熱または冷却する機構等を含む。調整部７におけるこれらの駆動は制御部２５によって制御される。ただし、調整部は、投影光学系５の光学素子６の駆動、マスクステージ４の駆動、基板ステージ９の駆動のうちの少なくとも１つを行うことにより、結像特性を調整するものであればよい。

【００１９】

制御部２５は、露光装置１の各部の動作を統括的に制御する。制御部２５は、ＣＰＵおよびメモリを含むコンピュータによって構成されうる。本実施形態においてはとりわけ、制御部２５は、供給部３０に設定される設定混合比を制御することにより投影光学系５の結像特性を補正して基板を露光する制御部として機能する。また、制御部２５は、検出器１３での検出結果に基づいて、調整部７による光学素子６の調整量および基板ステージ９の調整量を算出し、算出した光学素子６の調整量および基板ステージ９の調整量に基づいて、調整部７および基板ステージ９を制御する。

【００２０】

以下、実施形態における投影光学系５の光学性能（結像特性）の露光処理について説明する。結像特性を表す指標として複数の収差成分がある。例えば、結像特性は、球面収差、倍率収差、歪曲収差、像面湾曲、非点収差、コマ収差のうちの少なくとも１つを含みうる。ここでは具体例を示すため、複数の収差成分のうちの第１収差成分として、球面収差を補正対象とする。また、第１収差成分以外の他の収差成分として、倍率収差と歪曲収差が発生することを想定する。

【００２１】

実施形態における補正処理において、制御部２５は、供給部３０により一定の混合比で混合気体を供給したときの結像特性の推移を示す応答特性を事前に取得しておく。制御部２５は、設定混合比を目標混合比に設定して基板を露光する際、結像特性が定常状態に遷移する前の過渡期間中は、設定混合比を、応答特性に基づいて目標混合比を補正した値に設定して基板を露光する。図２は、このような露光処理の具体例を示すフローチャートである。Ｓ１０１で、制御部２５は、供給部３０により一定の混合比で混合気体を供給したときの結像特性の推移を示す応答特性を取得する。ここでは、このような応答特性のデータは予め計測またはシミュレーションによって得られており、制御部２５のメモリに記憶されているものとする。

【００２２】

本実施形態において、応答特性は、球面収差、倍率収差、および歪曲収差それぞれについての応答特性を含みうる。図３に、それらの応答特性の例を示す。ここでいう応答特性とは、供給部３０により一定の混合比で混合気体を供給したときの収差の推移（置換時間に対する収差の変化）を示すものである。（ａ）は球面収差、（ｂ）は倍率収差、（ｃ）は歪曲収差、の応答特性の例である。投影光学系内にパージガスを供給しても、空間全体がすぐに置換することはできず、このような応答特性を呈する。例えば（ａ）に示されるように、球面収差には、定常状態となる前に非定常状態の期間（過渡期間）がある。これら取得した各応答特性のデータは制御部２５の不図示のメモリに記憶される。

【００２３】

Ｓ１０２で、制御部２５は、露光による収差量の変化を計測する。例えば、露光に伴い投影光学系５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しうる（露光収差）。そこで制御部２５は、検出器１３での検出結果を所定の予測式に適用して、結像特性（ここでは球面収差）の変動を予測し、これによって補正量を決定することができる。あるいは制御部２５は、検出器１３での検出結果に基づいて、各照明条件において発生する露光熱に対する収差の変化を計測してもよい。また、制御部２５は、投影光学系５が設置されている空間の大気圧を、気圧計２６によって計測する。

【００２４】

Ｓ１０３で、制御部２５は、Ｓ１０２で求められた収差変化量を補償する屈折率を求め、その屈折率に対応する目標混合比を決定する。屈折率と目標混合比との対応関係は、予め数式あるいはテーブルによって規定されているものとする。また、制御部２５は、Ｓ１０２で計測された大気圧の値に基づいて大気圧の変化の影響によって発生している球面収差の量を算出し、これを補正量に加えてもよい。大気圧の変化によって発生する球面収差の量の決定方法としては、例えば、気圧変化に対する球面収差の変化量を計測して算出した気圧敏感度係数と気圧変化量との積によって求める方法がある。

【００２５】

混合比の決定は、例えば次のように行われる。混合気体の混合比の変化（すなわち屈折率の変化）に対する球面収差の変化量は、図４に示すように比例関係にある。この関係に基づいて、光学シミュレーションによって、投影光学系のレンズ空間の屈折率に対する球面収差量の比例定数を算出することが可能である。また、制御部２５は、Ｓ１０２で計測された収差の変化に基づいて、露光に使用する照明条件での露光熱による投影光学系５の球面収差の発生量を予測し、それを補正量に加えてもよい。

【００２６】

以下の処理は、設定混合比をここで決定された目標混合比に設定して基板を露光する際の処理となる。

【００２７】

Ｓ１０４で、制御部２５は、他の収差成分である倍率収差と歪曲収差それぞれの、混合気体置換中における許容範囲（補正可能範囲）を決定する。このような補正可能範囲については、予め露光レシピに規定されていてもよい。

【００２８】

Ｓ１０５で、制御部２５は、投影光学系５に対する気体の給排気の制御を開始する。具体的には、制御部２５は、Ｓ１０３で決定された目標混合比に従い、給気量調整器１７，１８を調整し、混合器１９へ流入する気体の流量を調整する。混合器１９で混合された気体は、投影光学系５の内外の圧力差が発生しないように排気量調整部２３で排気量が調整されながら投影光学系５に供給される。これによって球面収差が補正される。

【００２９】

Ｓ１０６で、制御部２５は、不図示の搬送機構を介して露光対象の基板を搬入（ロード）する。ロードされた基板は基板ステージ９によって保持される。

【００３０】

Ｓ１０７では、制御部２５は、現在の時点が、結像特性（ここでは球面収差）が定常状態に遷移する前の過渡期間中であるか否かを判定する。過渡期間中である場合、Ｓ１０８で、制御部２５は、設定混合比を、応答特性に基づいて目標混合比を補正して得られる値に設定する。具体的には、Ｓ１０１で得られた球面収差の応答特性（図３（ａ））から現在時刻に対応する収差量を割り出し、その収差量に対応する補正量でもって目標混合比を補正する。このように本実施形態では、混合気体の目標混合比のアクティブ補正を行う。

【００３１】

ただし、このような混合比のアクティブ補正を行った場合には、他の収差成分も新たに発生しうるので、それに対する補正が必要になりうる。他の収差成分の補正は、調整部７によって、その補正可能範囲を超えないように行う。そこでＳ１０９では、制御部２５は、他の収差成分はＳ１０４で決定された許容範囲（補正可能範囲）内であるか否かを判定

する。他の収差成分が許容範囲内である場合は、Ｓ１１０で、制御部２５は、調整部７を制御して他の収差成分を補正する。他の収差成分が調整部７による補正可能範囲を超えて変化する場合は、調整部７による補正が可能になるまで、露光を停止とする（Ｓ１１１）。このとき、補正可能範囲になるまで混合気体の供給を続け、その間、露光装置１の露光は停止するようにしてもよい。現在の時点が過渡期間の経過後、すなわち定常状態の期間である場合（Ｓ１０７でＮＯ）、Ｓ１１２で、制御部２５は、設定混合比をＳ１０３で決定された目標混合比に設定する。

【００３２】

その後、Ｓ１１３で、制御部２５は、基板の露光を実施する。露光完了後、Ｓ１１４で、制御部２５は、搬送機構を制御して基板を搬出（アンロード）する。Ｓ１１５で、制御部２５は、次の処理すべき基板があるかどうかを判断する。次の基板がある場合には、Ｓ１０２に戻って処理を繰り返す。予定されていた全ての基板の処理が完了した場合、本処理は終了する。

【００３３】

上記の例では、球面収差を補正するために混合気体を供給することについて説明したが、補正対象を、倍率収差、歪曲収差、像面湾曲、非点収差、コマ収差等にすることもできる。また、上記の例では、調整部７で補正する他の収差成分を倍率収差および歪曲収差としたが、球面収差、像面湾曲、コマ収差等とすることもできる。

【００３４】

以上の処理によれば、他の収差成分（倍率収差および歪曲収差）が調整部７による補正可能範囲を超えない限りにおいて、露光処理を停止せずに所望の球面収差を得ることが可能となる。これにより、投影光学系の光学性能の補正性能とスループットの両立を図ることができる。

【００３５】

＜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。

【００３６】

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。

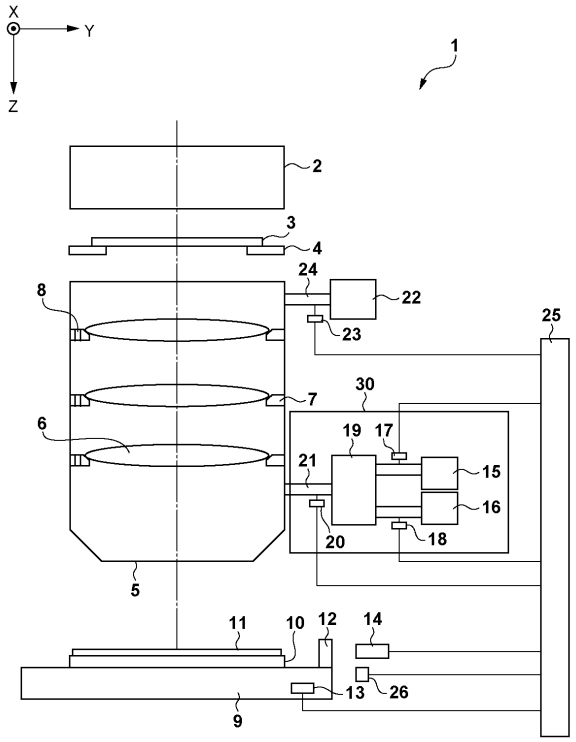
【符号の説明】

【００３７】

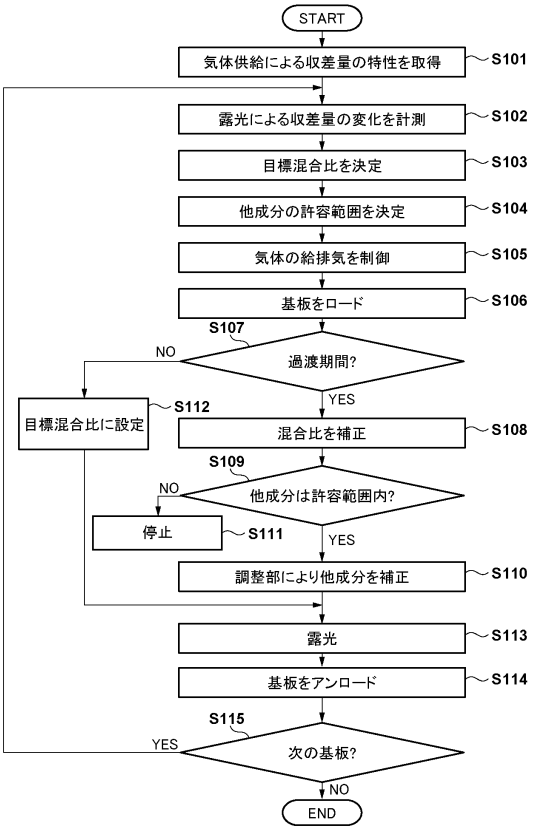
１：露光装置、２：照明系、３：マスク、５：投影光学系、９：基板ステージ、１０：基板、２５：制御部、３０：供給部

【図面】

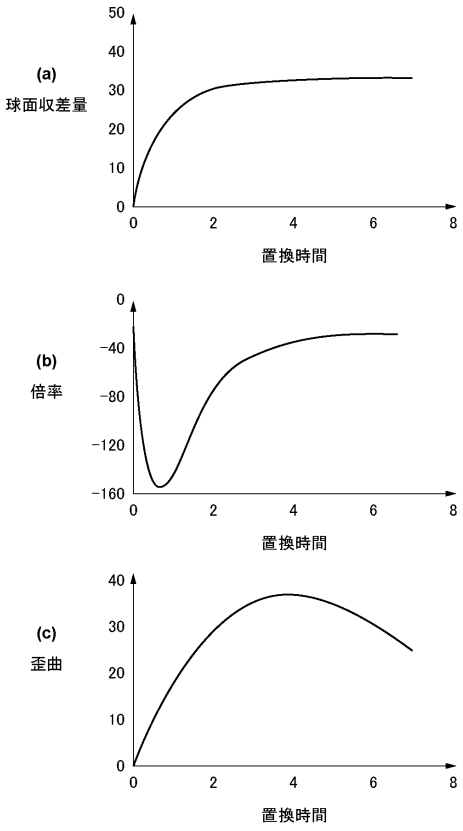
【図１】


X
Y
Z
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
30

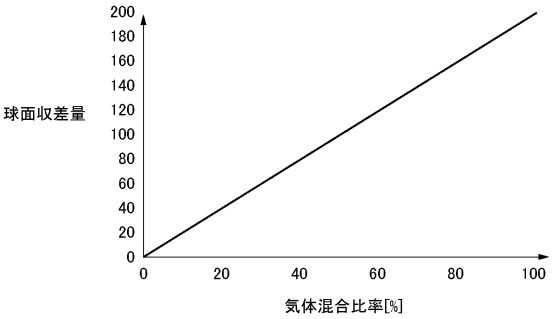
【図２】


START
気体供給による収差量の特性を取得
S101
露光による収差量の変化を計測
S102
目標混合比を決定
S103
他成分の許容範囲を決定
S104
気体の給排気を制御
S105
基板をロード
S106
S107
過渡期間?
NO
YES
目標混合比に設定
S112
混合比を補正
S108
S109
他成分は許容範囲内?
NO
停止
S111
YES
調整部により他成分を補正
S110
露光
S113
基板をアンロード
S114
S115
次の基板?
YES
NO
END

【図３】


(a)
球面収差量
50
40
30
20
10
0
0
2
4
6
8
置換時間
(b)
倍率
0
−40
−80
−120
−160
0
2
4
6
8
置換時間
(c)
歪曲
40
30
20
10
0
0
2
4
6
8
置換時間

【図４】


球面収差量
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
0
20
40
60
80
100
気体混合比率[%]

フロントページの続き

(56)参考文献 特開２００４－２８１６９７（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－０２１３１９（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－２６０７１２（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－１４４７００（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－２１００４９（ＪＰ，Ａ）
特開昭６１－２１３８１４（ＪＰ，Ａ）
特開２００５－０５１１４７（ＪＰ，Ａ）
特開２０１９－０２８４０２（ＪＰ，Ａ）
特表２００４－５１９１０１（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０３Ｆ　７／２０
Ｈ０１Ｌ　２１／０２７