(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3622867号
(P3622867)
(45)発行日　平成17年2月23日(2005.2.23)　(24)登録日　平成16年12月3日(2004.12.3)

(51)Int.Cl.[7]　F I
H01L 21/027　H01L 21/30　514C
G03F 7/20　G03F 7/20　521
H01L 21/30　516A

請求項の数 11　(全 17 頁)

(21)出願番号　特願平7-112521
(22)出願日　平成7年4月13日(1995.4.13)
(65)公開番号　特開平8-288206
(43)公開日　平成8年11月1日(1996.11.1)
審査請求日　平成14年4月11日(2002.4.11)

(73)特許権者　000004112
株式会社ニコン
東京都千代田区丸の内３丁目２番３号
(74)代理人　100102901
弁理士　立石　篤司
(74)代理人　100099793
弁理士　川北　喜十郎
(72)発明者　鈴木　広介
東京都千代田区丸の内３丁目２番３号　株式会社　ニコン内

審査官　多田　達也

最終頁に続く

(54)【発明の名称】露光装置及び露光方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

露光用の光源から射出される第１の波長特性の光によりマスクを照射し、当該マスク上のパターンの像を感光剤が塗布された基板上に形成する露光装置であって、

前記第１の波長特性の光によって照射される前記マスク上の照射領域を設定する照射領域設定手段と；

前記設定された照射領域に関する情報と既知の前記マスク上のパターンの分布情報とに基づいて、前記第１の波長特性の光の照射時に前記マスクの伸縮に関する物理量が、前記マスクの全体においてほぼ均一となるように調整することにより、前記マスクの伸縮を調整する伸縮調整手段と；

前記マスクの伸縮に関する物理量に基づいて、前記マスクのパターンの像の倍率を調整する倍率調整系とを有する露光装置。

【請求項２】

前記伸縮調整手段は、前記感光剤を感光しない第２の波長特性の光を射出する光源と、前記設定された照射領域に関する情報と既知の前記マスク上のパターンの分布情報とに基づいて前記第２の波長特性の光によって照射される前記マスク上の照射領域を設定する第２の照射領域設定手段とを含むことを特徴とする請求項１記載の露光装置。

【請求項３】

前記伸縮調整手段は、前記マスクの周辺部に配置されたヒータと、前記設定された照射領域に関する情報と前記マスク上のパターンの分布情報とに基づいて前記ヒータの温度を調

整する温度制御手段とを含むことを特徴とする請求項１記載の露光装置。
【請求項４】
前記倍率調整系は、前記第１の波長特性の光のエネルギを入力する入力手段と、前記マスクのパターンの像の倍率を変化させる倍率調整機構と、前記入力された第１の波長特性の光のエネルギと前記マスクの伸縮に関する物理量とに基づいて前記倍率調整機構を制御する制御手段とを含むことを特徴とする請求項１記載の露光装置。
【請求項５】
前記マスクのパターンの像は投影光学系を介して前記感光基板上に形成され、前記倍率調整系は、前記投影光学系のエネルギ吸収によって変化する前記投影光学系の結像特性の変化を調整することを特徴とする請求項１記載の露光装置。
【請求項６】
露光用の光源から射出される第１の波長特性の光によりマスクを照射し、当該マスク上のパターンの像を感光剤が塗布された基板上に形成する露光装置であって、
前記マスク上のパターンの分布情報に基づいて、前記マスクの伸縮に関する物理量が少なくとも前記マスク上の前記露光光の照射領域内においてほぼ均一となるように前記マスクの伸縮を調整する伸縮調整手段を有し、
該伸縮調整手段により前記マスクの伸縮を調整した状態で、前記パターンの像を前記基板上に形成すること特徴とする露光装置。
【請求項７】
前記伸縮調整手段は、前記感光剤を感光しない第２の波長特性の光を射出する光源と、前記第２の波長特性の光によって照射される前記マスク上の照射領域を設定する第２の照射領域設定手段とを含むことを特徴とする請求項６記載の露光装置。
【請求項８】
前記第２の波長特性の光を射出する光源は、赤外線を射出することを特徴とする請求項７記載の露光装置。
【請求項９】
前記伸縮調整手段は、前記マスクの周辺部に配置されたヒータと、前記ヒータの温度を調整する温度制御手段とを含むことを特徴とする請求項６～８の何れか一項に記載の露光装置。
【請求項１０】
前記マスクを保持するマスクステージをさらに有し、
前記ヒータは、前記マスクステージのプラテン部に配置されていることを特徴とする請求項９記載の露光装置。
【請求項１１】
前記伸縮調整手段により均一に調整された前記マスクの伸縮に関する物理量に基づいて、前記マスクのパターンの像の倍率を調整する倍率調整系をさらに有することを特徴とする請求項６～１０の何れか一項に記載の露光装置。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【産業上の利用分野】
本発明は、露光装置に係り、更に詳しくは、マスクに形成されたパターンの像を基板上に形成する露光装置に関する。
【０００２】
【従来の技術】
従来より、半導体集積回路や液晶基板の製造用に供される投影露光装置では、投影光学系が露光光を吸収することによって生じる結像特性（例えば、倍率、焦点位置）の変化を補正するため、例えば、投影光学系を構成する各レンズエレメントを光軸方向に移動させたり、光軸に直交する面に対して傾けたり、あるいはレンズエレメント間の気密空間の圧力を調整したりする、結像特性の補正手段が設けられている。例えば、結像特性の変動特性に基づいて投影光学系が露光光を吸収することによって生じる結像特性を良好に維持する

ことは可能である（特開昭６３－５８３４９号公報等参照）。
【０００３】
しかしながら、露光光線はマスクをも通過するため、マスクが露光光の吸収によって熱変形し、これによって結像特性の変化が生じるという問題がある。かかる問題点を改善すべく、例えば、特開平４－１９２３１７号公報には、照明光（露光光）の吸収によるマスクの熱変形量を求め、これに基づいて結像状態の変化を予測し、この予測結果を用いて上記結像状態の補正手段を用いて結像状態の変動による影響を最小に抑えようとする技術が開示されている。
【０００４】
【発明が解決しようとする課題】
しかしながら、上述したマスクの平均的な伸縮量を計算し、倍率補正手段により倍率を補正する手法にあっては、ブラインドを用いて露光光の照射領域を設定してマスクの一部を照射する場合や、マスクのパターンの不均一により露光光吸収に場所依存性がある場合、即ちマスクの伸縮量が不均一になる場合には、倍率補正が困難であるという不都合があった。さらに、マスクのパターンが均一な場合であってもマスクの中心から同心円に近い形で温度分布が発生してマスクの伸縮量が線形にならないという不都合もあった。
【０００５】
一方、上記特開平４－１９２３１７号公報に記載の技術にあっては、マスクの熱変形量を求め、さらにこの熱変形量から光学計算あるいは実測に基づく定式化によって結像状態の変化を求める（予測する）ことが必要であることから、この結像状態の変化を求めるために、複雑な演算を行なわなければならなかった。また、上記公報に記載の技術では、結像状態の変化を正確に求めることができたとしても、倍率のみでなく、投影光学系の光軸に対して対称でない変形（ディストーション等）をも補正可能な複雑な構成の結像特性の補正手段を具備していなければ、マスクの熱変形に起因する光学特性の変化に対し十分な補正を行なうことができないという不都合もあった。
【０００６】
本発明は、かかる従来技術の有する不都合に鑑みてなされたもので、その目的は、結像状態の変化を求めるための複雑な演算を行なうことなく、倍率変動を補正するのみで、マスクの熱変形に起因する光学特性の変化に対して良好な補正を行なうことができる露光装置を提供することにある。
【０００７】
【課題を解決するための手段】
従来のように、マスクの熱変形による結像特性の変化を正確に演算により求めるのではなく、マスクの熱変形量を全体的に均一化する場合には、マスクの熱変形に起因する光学特性の変化を倍率補正手段のみで良好に補正することが可能である。即ち、マスクの熱変形を自由にさせるのではなく、マスクに意図的にマスクパターンの結像状態の変化を補正しやすい熱変形を与えることにより、マスクの熱変形に起因するマスクパターンの結像状態の変化を容易に補正できる。本発明は、かかる解決原理の下、以下の構成を有する。
【０００８】
請求項１記載の発明は、露光用の光源から射出される第１の波長特性の光によりマスクを照射し、当該マスク上のパターンの像を感光剤が塗布された基板上に形成する露光装置であって、前記第１の波長特性の光によって照射される前記マスク上の照射領域を設定する照射領域設定手段と；前記設定された照射領域に関する情報と既知の前記マスク上のパターンの分布情報とに基づいて、前記第１の波長特性の光の照射時に前記マスクの伸縮に関する物理量が、前記マスク全体においてほぼ均一となるように、前記マスクの伸縮を調整する伸縮調整手段と；前記マスクの伸縮に関する物理量に基づいて、前記マスクのパターンの像の倍率を調整する倍率調整系とを有する。
【０００９】
この場合において、前記伸縮調整手段は、前記感光剤を感光しない第２の波長特性の光を射出する光源と、前記設定された照射領域に関する情報と既知の前記マスク上のパターン

の分布情報とに基づいて前記第２の波長特性の光によって照射される前記マスク上の照射領域を設定する第２の照射領域設定手段とを含んで構成することができる。

【００１０】

あるいは、前記伸縮調整手段は、前記マスクの周辺部に配置されたヒータと、前記設定された照射領域に関する情報と前記マスク上のパターンの分布情報とに基づいて前記ヒータの温度を調整する温度制御系とを含んで構成しても良い。

【００１１】

また、前記倍率調整系は、前記第１の波長特性の光のエネルギを入力する入力手段と、前記マスクのパターンの像の倍率を変化させる倍率調整機構と、前記入力された第１の波長特性の光のエネルギと前記マスクの伸縮に関する物理量とに基づいて前記倍率調整機構を制御する制御系とを含んで構成することができる。

【００１２】

さらに、前記マスクのパターンの像は投影光学系を介して前記感光基板上に形成されても良く、かかる場合は、前記倍率調整系は、前記投影光学系のエネルギ吸収によって変化する前記投影光学系の結像特性の変化を調整する手段であることが望ましい。

【００１３】

請求項６記載の発明は、露光用の光源から射出される第１の波長特性の光によりマスクを照射し、当該マスク上のパターンの像を感光剤が塗布された基板上に形成する露光装置であって、前記マスク上のパターンの分布情報に基づいて、前記マスクの伸縮に関する物理量が少なくとも前記マスク上の前記露光光の照射領域内においてほぼ均一となるように前記マスクの伸縮を調整する伸縮調整手段を有し、該伸縮調整手段により前記マスクの伸縮を調整した状態で、前記パターンの像を前記基板上に形成することを特徴とする。

【００１５】

【作用】

請求項１記載の発明によれば、照射領域設定手段では、第１の波長特性の光（露光光）によって照射されるマスク上の照射領域を設定する。伸縮調整手段では、設定された照射領域に関する情報と既知のマスク上のパターンの分布情報とに基づいて、第１の波長特性の光の照射時にマスクの伸縮に関する物理量（例えば、マスクの温度、伸縮量、あるいは温度の伸縮量への変換値等）が、少なくともマスク上の照射領域においてほぼ均一となるようにすることにより、マスクの伸縮を調整する。このようにしてマスクの伸縮が調整された状態で、倍率調整系では、マスクの伸縮に関する物理量に基づいて、マスクのパターンの像の倍率を調整する。

【００１６】

この状態で露光用の光源から射出される第１の波長特性の光によりマスクが照射されると、当該マスク上のパターンの像の倍率が調整されて感光剤が塗布された基板（以下、「感光基板」という）上に形成される。

【００１７】

これによれば、マスクの伸縮が調整（一様な伸縮量となるように調整）された段階で倍率調整系によりパターンの像の倍率が調整されるので、結像状態の変化を求めるための複雑な演算を行なうことなく、且つ倍率変動を補正するのみで、マスクの熱変形に起因するマスクパターンの結像状態の変化に対して良好な補正が可能となる。

【００２０】

請求項６記載の発明によれば、マスク上のパターンの分布情報に基づいて、マスクの伸縮に関する物理量が少なくともマスク上の露光光の照射領域内においてほぼ均一となるようにマスクの伸縮を調整した状態で、パターンの像が基板上に形成される。従って、マスクの熱変形に起因する光学特性の変化に対して良好な補正が可能となり、マスクのパターンを基板上のパターンに正確に重ね合わせることができる。

【００２１】

【実施例】

《第１実施例》

以下、本発明の第１実施例を図１ないし図３に基づいて説明する。図１には、第１実施例に係る露光装置としての投影露光装置１０の概略構成が示されている。

【００２２】

この投影露光装置１０は、図１における紙面直交面内（ＸＹ平面内）を２次元移動するウエハステージ１２と、このウエハステージ１２の移動面に直交して光軸ＡＸが配置された投影光学系としての投影レンズＰＬと、投影レンズＰＬの上方に配置されたマスクとしてのレチクルＲと、第１の波長特性の光（露光光）を射出する露光用の光源としての主光源１４と、第２の波長特性の光を射出する光源としての副光源１６と、露光光ＩＬの照射光学系と、第２の波長特性の光の照射光学系と、倍率調整機構１８と、これらの制御系等を備えている。

【００２３】

ウエハステージ１２には図示しないモータを含んで構成されるステージ駆動部２０が併設されている。このウエハステージ１２の移動位置は図示しない光波干渉計により検出されるようになっており、この光波干渉計の出力に基づいてステージ駆動部２０が主制御部２２に駆動制御されることにより、ウエハステージ１２がＸ、Ｙ座標軸上を２次元移動する構成となっている。このウエハステージ１２上にはウエハホルダ２４が設けられており、このウエハホルダ２４上に感光基板としてのウエハＷが真空吸着により保持されている。

【００２４】

また、ウエハステージ１２には照射量センサ２６が設置されている。この照射量センサ２６の受光面（計測面）とウエハＷの表面とはほぼ同じ高さである。照射量センサ２６により投影レンズＰＬを介してウエハＷに照射される露光光ＩＬのパワー（エネルギ）を測定できるようになっている。

【００２５】

投影レンズＰＬとしては、本実施例では両側テレセントリックな投影レンズが使用されており、この投影レンズＰＬは、実際には光軸ＡＸ方向（Ｚ方向）に沿って配置された複数のレンズエレメント（いずれも図示省略）を含んで構成されている。

【００２６】

レチクルＲは、投影レンズＰＬの光軸ＡＸと直交する面内でＸ、Ｙ、θ方向に微動するレチクルステージ２８上に保持されている。このレチクルＲのパターン面は、投影レンズＰＬに関しウエハＷの表面と共役となっている。

【００２７】

主光源１４は、例えば、超高圧水銀ランプ、エキシマレーザ（ＫｒＦ、ＡｒＦ）、ＹＡＧレーザ等を含み、ｇ線、ｉ線、エキシマ光（波長２４８ｎｍ：ＫｒＦ、１９３ｎｍ：ＡｒＦ）、ＹＡＧレーザの高調波（波長２００ｎｍ以下）等のウエハＷ上に塗布された感光剤としてのレジストを感光する第１の波長特性の光（露光光）ＩＬを発生する。

【００２８】

露光光ＩＬをレチクルＲ上に照射する照射光学系は、主光源１４から出射された露光光ＩＬを反射して水平に折曲げるミラー３０と、このミラー３０により反射された露光光ＩＬの進行方向先に順次配置されたオプチカルインテグレータ（フライアイレンズ）等を含むフライアイ光学系３２、リレー光学系３４と、レチクルＲの上方にほぼ４５度で斜設されたダイクロイックミラー３６と、このダイクロイックミラー３６とレチクルＲとの間に配置されたメインコンデンサレンズ３８と、を含んで構成されている。主光源１４とミラー３０との間には、露光光ＩＬの光路を開閉するシャッター４０が設けられており、このシャッター４０は駆動部４２を介してシャッター制御回路４４によって駆動されるようになっている。また、フライアイ光学系３２の出口には、照明系絞り４６が配置されている。更に、この照明系絞り４６と前述したリレー光学系３４との間には、ハーフミラー（ビームスプリッタ）４８が配置されており、このハーフミラー４８で反射された露光光ＩＬの一部がＰＩＮフォトダイオード等のインテグレータセンサ（パワーモニタ）５０で測定され、露光光ＩＬのパワー（エネルギー）がモニタされるようになっている。

【００２９】

また、リレー光学系３４の中には、レチクルＲ上の露光光ＩＬの入射領域を設定するための主ブラインド５２が設けられており、この主ブラインド５２はレチクルＲのパターン面と共役に配置されている。この主ブラインド５２は主ブラインド駆動部５４により駆動される。本第１実施例では、主ブラインド５２と主ブラインド駆動部５４とによって、照射領域設定手段が構成されている。

【００３０】

副光源１６としては、レジストを感光しない第２の波長特性の光、本実施例では赤外線ＩＲを射出する光源が使用されている。

【００３１】

この赤外線ＩＲをレチクルＲに照射する照射光学系は、光学系５６と、リレー光学系５８と、前述したメインコンデンサレンズ３８とを含んで構成されている。リレー光学系５８の中には、レチクルＲのパターン面と共役となる位置に副ブラインド６０が設けられている。この副ブラインド６０は、例えば図２に示されるような１６行１６列のマトリクス状に配置された液晶素子やフォトクロミック素子等の光電素子（以下、「液晶素子」という）６０Ａから成る。各液晶素子６０Ａは、副ブラインド駆動部６２からの電気信号により独立にオン・オフ（ＯＮ／ＯＦＦ）されるようになっている。従って、副ブラインド駆動部６２では、副光源１６から出た赤外線ＩＲを副ブラインド６０の任意の位置で透過させたり、不透過にしたりすることが可能である。

【００３２】

倍率調整機構１８は、投影レンズＰＬの露光光（具体的にはレチクルＲを透過した光）ＩＬの入射による光学特性（倍率）の変動を補正するためのものである。この倍率調整機構１８としては、本実施例では投影レンズＰＬを構成する特定のレンズエレメント間の気密空間の圧力を増減するものが使用されている。なお、この倍率調整機構として例えば、投影レンズＰＬを構成する一部のレンズエレメントを圧電素子、磁歪素子等の駆動素子により光軸ＡＸ方向に駆動させたり、傾けたり、回転させたりするものを使用してもよい。

【００３３】

この投影露光装置１０の制御系は、前述したシャッター制御回路４４、倍率補正コントローラ６４、赤外線照射コントローラ６６及び装置全体を制御する主制御部２２等から構成されている。

【００３４】

この内、赤外線照射コントローラ６６は、マイクロコンピュータ等から構成されている。この赤外線照射コントローラ６６には、シャッタ制御回路４４からのシャッタ開閉制御信号と、インテグレータセンサ５０で検出されたエネルギ値と、主ブラインド駆動部５４で設定されたレチクルＲ上の露光光ＩＬの照射領域の情報とが入力されるようになっている。また、この赤外線照射コントローラ６６の内部メモリにはレチクルＲ上のパターンの分布情報が予め格納されている。

【００３５】

このレチクルＲ上のパターンの分布情報としては、例えば、照射量センサ２６をフォトダイオードアレー等から構成し、この照射量センサ２６を用いてレチクルＲのパターン領域を多数ブロックに分割した各ブロックの露光光ＩＬのレチクル透過率を、レチクルＲがある状態での照射量センサ２６の値とない状態での照射量センサ２６の値との比をとることによって予め測定し、各ブロック毎のパターンの存在率を求め、これをパターンの分布情報とすることができる。あるいは、照射量センサ２６の受光面を各分割されたブロックに対応する面積に設定してこの照射量センサ２６が投影レンズＰＬの下方で２次元走査されるようにウエハステージ１２を移動制御して、レチクルＲがある状態での照射量センサ２６の値とない状態での照射量センサ２６の値との比をとることによって各ブロック毎のパターンの存在率を求めてもよい。

【００３６】

赤外線照射コントローラ６６では、主ブラインド駆動部５４で設定されたレチクルＲ上の露光光ＩＬの照射領域の情報と、内部メモリ内に格納されたパターン分布情報とに基づい

て、露光光ＩＬの照射によりレチクルＲに生じる伸縮量（熱変形量）の分布を露光前に予測し、この予測した伸縮量の分布に基づいて後述するようにして副ブラインド駆動部６２を制御する。

【００３７】

倍率補正コントローラ６４には、シャッタ制御回路４４からシャッタ開閉制御信号が入力されている。この倍率コントローラ６４の具体的な制御動作については後述する。また、主制御部２２には、レチクルＲのパターンを形成するクロム等の遮光部材の種類、熱吸収率、熱膨張係数等がキーボード等から予め入力され、そのメモリ内に格納されている。

【００３８】

次に、上述のようにして構成された本第１実施例の作用を説明する。

【００３９】

レチクルＲのパターンをウエハＷに転写する工程において、実際のウエハＷの露光ショットの露光に先立ち、主制御部２２からの命令に基づいて主ブラインド駆動部５４により所定の開口となるように主ブラインド５２が駆動され、露光光ＩＬの照射領域が設定されると、この設定された照射領域の情報（主ブラインド５２の開口情報）が赤外線照射コントローラ６６に送られる。また、赤外線照射コントローラ６６には、インテグレータセンサ５０の出力も常時入力されるようになっている。また、インテグレータセンサ５０の出力は主制御部２２にも出力される。主制御部２２は、インテグレータセンサ５０の出力に基づいて露光量（ブラインドの開時間）を制御する。

【００４０】

赤外線照射コントローラ６６では、照射領域の情報と既知のパターンの分布情報とに基づいて露光光ＩＬの吸収によりレチクルＲに生じる伸縮量（熱変形量）の分布を演算する。

【００４１】

例えば、レチクルＲ上のパターンが一様分布である場合には、露光光ＩＬの照射される領域内ではレチクルＲは大きく膨張し、露光光ＩＬが照射されない領域ではレチクルＲはあまり膨張しないと予測される。そこで、赤外線照射コントローラ６６では、この予測結果に基づいて副ブラインド駆動部６２を制御して主ブラインド５２の開口と反転するように副ブラインド６０の透過部を設定する。例えば、主ブラインド５２の開口を介してレチクルＲの中心部（図２の黒ぬりで示された領域）に露光光ＩＬが照射される場合には、図２に示されるように、中心部（図２に黒ぬりで示された領域）６０Ｂが不透過、外周部（図２のマトリクスで示された領域）６０Ｃが透過となるように副ブラインド６０の透過部を設定する。これにより、実際の露光時には、露光光ＩＬが照射されない領域部分に赤外線が照射されることとなり、レチクルＲの伸縮量（膨張量）が全体的に等方かつ均一に近い状態となる。

【００４２】

また、例えば、レチクルＲの中心部（図３の黒ぬりで示された領域$60B_1$と斜線で示された領域$60D_1$）に露光光が照射され、図３のレチクルＲのパターン領域内の右上部分$60D_1$のパターンの存在率が小さいようなパターン分布である場合には、該部分の膨張量も非常に小さいと予測されるので、赤外線照射コントローラ６６では、この部分$60D_1$に露光光ＩＬと共に赤外線ＩＲを照射し、及び前述の外周部$60C_1$に赤外線ＩＲが照射されるように、副ブラインド駆動部６２を制御する。すなわち、外周部$60C_1$と右上部分$60D_1$が透過となるように副ブラインド６０の透過部を図３に示されるように設定する。この場合にも、実際の露光時に露光光ＩＬとともに赤外線ＩＲがレチクルＲに照射された場合には、レチクルＲの伸縮量（膨張量）が全体的に等方かつ均一に近い状態となる。このように、本第１実施例では、副ブラインド６０、副ブラインド駆動部６２及び赤外線照射コントローラ６６によって、第２の照射領域設定手段が構成され、更に、この第２の照射領域設定手段と副光源１６とによって伸縮調整手段が構成されている。

【００４３】

以上のように赤外線ＩＲをレチクルＲに照射することにより、レチクルＲの伸縮量（ある

いは熱分布）がレチクルの全体においてほぼ均一となる。

【００４４】

レチクルＲの伸縮量（あるいは熱分布）がレチクルの全体でほぼ均一となるので、レチクルの熱膨張によるレチクルのパターンの投影像はほぼ等方的に倍率変化（レチクルの中心を基準として点対称となるように変化）する。従って、レチクルＲの伸縮量（あるいは熱分布）がレチクルの全体でほぼ均一となった後は、レチクルのパターンの投影像の倍率変化のみを補正すればよい。

【００４５】

レチクルＲがほぼ均一に伸縮しているとみなせるので、倍率補正コントローラ６４は、主制御部２２のメモリ内に格納されたレチクルＲのパターンの熱膨張係数と露光光のエネルギによって、レチクルＲの露光時の伸縮量を算出する。

【００４６】

レチクルＲのパターンの露光時の伸縮量とレチクルパターンの投影像の倍率変化との関係を実験あるいは計算により予め求めておき、次にこのレチクルＲの実際の伸縮量に基づいて、レチクルパターンの投影像の倍率変化を求める。

【００４７】

倍率調整機構１８の制御量とレチクルのパターンの投影像の変化との関係を実験あるいは計算等により予め求めておき、倍率補正コントローラ６４はレチクルパターンの投影像の倍率変化がほぼ零となるように、倍率調整機構１８を制御する。具体的には、倍率調整機構１８は、例えば投影光学系ＰＬの特定部分の各レンズエレメント間の気体の屈折率を変えたり（気体の圧力を変えたり）、レンズエレメントを投影光学系ＰＬの光軸に沿って、あるいは光軸と垂直な平面内で移動、回転するものである。

【００４８】

また、露光光がレチクルＲに入射した時のレチクルＲの伸縮量を、フラインド２２によって設定された照射領域とパターンの分布情報とパターンの熱膨張係数とに基づいてレチクルＲの実際の伸縮量を求めて、この実際の伸縮量に基づいて主制御部２２は伸縮調整手段と倍率調整機構１８との両方を制御する。

【００４９】

なお、本第１実施例の場合は、赤外線照射コントローラ６６には、インテグレータセンサ５０の出力も常時入力されていることから、露光光ＩＬの強度がわかる。この露光光の強度を使って赤外線照射コントローラ６６では、例えば、特開平４－１９２３１７号に開示されているような手法により、レチクルＲのパターンを形成するクロム等の遮光部材の種類、熱吸収率をも考慮し、数値計算によってレチクルＲ内の代表的な数点の熱変形量を求めるようにして、レチクルＲの実際の伸縮量を求めるようにしても良い。このようにする場合には、赤外線照射コントローラ６６がレチクルＲの伸縮量の分布をより一層厳密に予測することができるので、副ブラインド６０を１６行１６列以上に細分化し、伸縮量の分布に応じて当該副ブラインド６０を構成する各液晶素子６０Ａのオン・オフ制御をより緻密に行なうようにすることが望ましい。

【００５０】

ウエハＷの露光ショットの露光開始前に、主ブラインド５２と副ブラインド６０とが前述した手順で設定された後、主制御部２２は、照射量センサ２６が投影レンズＰＬの下方に位置するようにウエハステージ１２をステージ駆動部２０を介して駆動する。次いで、主制御部２２は、シャッタ制御回路４４を介してシャッタ４０を開くと、このシャッタ４０の開閉制御信号に基づいて赤外線照射コントローラ６６により副光源１６がオンされて露光光ＩＬと共に赤外線ＩＲがレチクルＲ及び投影レンズＰＬを介して照射量センサ２６に照射される。照射量センサ２６ではレチクルＲ及び投影レンズＰＬを透過する光量を測定する。この照射量センサ２６の出力は、主制御部２２に入力される。主制御部２２では、この照射量センサ２６の測定値をメモリに記憶すると共に、主制御部２２から赤外線照射コントローラ６６にも送られるようになっている。主制御部２２は常時、インテグレータセンサ５０の出力をモニタしているので、インテグレータセンサ５０の出力値と照射量セ

ンサ２６の出力値との比を一定とするように、赤外線照射コントローラ６６は赤外線ＩＲのエネルギ（光量）を補正する。この結果、主光源１４の劣化などによる像面パワーの経時変化をキャンセルできる。

【００５１】

このようにして事前準備が完了すると、主制御部２２により、ウエハステージ１２が、ウエハWのショット配列座標に基づいてウエハW上のファーストショットが投影レンズＰＬの投影視野内に位置決めされるように駆動され、シャッタ制御回路４４が制御されてファーストショット上にレチクルのパターンが転写（露光）される。この転写工程の露光が始まると、赤外線照射コントローラ６６では、シャッター４０の開閉に同期して副光源１６からの赤外線ＩＲがレチクルＲに照射されるように、副光源１６のオンオフをも管理する。

【００５２】

露光中、主光源１４を出た露光光ＩＬは、シャッター１４が開状態にあるとき、ミラー３０で反射され、フライアイ光学系３２、リレー光学系５４を通ってダイクロイックミラー３６で反射され、コンデンサレンズ３８で集光されてレチクルＲに入射する。このとき、レチクルＲのパターン領域にほぼ一致するように露光光ＩＬの照射領域が主ブラインド５２によって設定されているものとすれば、レチクルＲ上に形成されたパターンが投影レンズＰＬを介して共役位置にあるウエハWに転写される。そして、ウエハステージ１２の移動と露光とを繰り返すことにより、ウエハW上にレチクルのパターンが逐次転写される。

【００５３】

このようにして、主制御部２２によっていわゆるステップ・アンド・リピート方式でレチクルＲのパターンがウエハ上に転写されるが、この露光中、上記のようにして赤外線照射コントローラによりレチクルＲの伸縮量が均一となるように調整される。これと共に倍率コントローラ６４により、公知の方法、例えば、特開昭６０－７８４５４号公報や、特開昭６２－１３６８２１号公報等に開示されているような以下の方法で露光光ＩＬ及び赤外線ＩＲの吸収による投影レンズＰＬの熱変形による結像特性，例えば投影レンズの光学特性（倍率）の変動補正がなされる。

【００５４】

即ち、この倍率補正コントローラ６４の内部メモリには、投影レンズＰＬの倍率変動特性上の時定数（減衰特性）、先に測定された投影レンズＰＬを透過した主として露光光ＩＬの全体的な光量（エネルギ）、及び圧力調整量に対する倍率変化（係数）等のデータが予め記憶されている。即ち、本実施例では、露光光のエネルギ（値）を予め記憶する内部メモリが入力手段の役目を果たしている。露光光のエネルギを予め測定した後、入力手段としてキーボード等を設けてキー入力してもよい。

【００５５】

倍率補正コントローラ６４では、シャッター制御回路４４からシャッター４０の開状態と閉状態との単位時間（サンプリング時間）内におけるデューティ比を表わす信号を入力して結像特性の変動の現時点における予測情報を作り出し、これと圧力調整量に対する倍率変化との関係とに基づいて倍率調整機構１８を制御する。

【００５６】

これを更に詳述すると、この倍率補正コントローラ６４では、露光光のエネルギと、デューティ比と、予め実験等で求めておいた比例定数を用いて単位時間内において入射した露光光ＩＬの積算的なエネルギー量に対応した変動量を算出し、前回の単位時間の終了時における変動量の単位時間の経過後の減衰値をメモリから読み出し、これらの合計値として変動量を算出する。なお、上記の減衰値の算出に際しては、前述の倍率変動特性上の時定数（減衰特性）が用いられる。

【００５７】

そして、倍率補正コントローラ６４では、上で求められた変動量に基づいて投影レンズＰＬへの露光光ＩＬ及び赤外線ＩＲの入射により生じた変動分のみを補正するように倍率調整機構１８を制御して、投影レンズＰＬを構成する特定のレンズエレメント間の気密空間

の圧力を制御する。

【００５８】

倍率補正コントローラ６４では、このような倍率補正制御を露光が終了するまで単位時間間隔毎に繰り返す。これにより、倍率調整機構１８により、時事刻々に倍率変動が補正される。このように、本第１実施例では、倍率調整機構１８と倍率補正コントローラ６４とによって、投影レンズＰＬのエネルギ吸収によって変化する投影レンズＰＬの結像特性の変化までも補正する。

【００５９】

以上説明したように、本第１実施例によると、前述したようにして赤外線照射コントローラ６６により、シャッタ１４の開閉に同期してレチクルＲへの赤外線ＩＲの照射制御がなされ、露光光ＩＬの吸収によるレチクルＲの伸縮量が全体的に等方かつ均一となるように副光源１６から赤外線ＩＲがレチクルＲに照射されるので、レチクルＲに不均一な熱変形が生ずることがない。このため、上述したような手法により倍率補正コントローラが投影倍率の補正を行なうだけで、レチクルＲの熱変形に起因する光学特性を良好に補正することができる。

【００６０】

なお、実施に当たっては、照射した赤外線ＩＲが投影レンズＰＬに吸収されることによる投影レンズＰＬの結像特性に影響が極力発生しないように、照射した赤外線ＩＲが投影レンズＰＬに入射しないような光学系の構成、例えば赤外線を斜めの方からマスクに照射するような構成にすることが一層望ましい。

【００６１】

また、副光源１６側にもシャッタやインテグレータセンサを設置することによりきめ細かな制御が可能である。

【００６２】

《第２実施例》

次に、本発明の第２実施例を図４ないし図６に基づいて説明する。ここで、前述した第１実施例と同一若しくは同等の構成部分については同一の符号を付すと共に、その説明を簡略にし若しくは省略するものとする。

【００６３】

図４には、第２実施例に係る露光装置としての投影露光装置７０の構成が概略的に示されている。この実施例は、第１実施例における副光源１６及びその周辺の構成部分が省略され、赤外線照射コントローラ６６に代えて温度制御手段としてのレチクル温調コントローラ７２及び複数（ここでは、８つ）のヒータ７４ａ、７４ｂ、７４ｃ、７４ｄ、７４ｅ、７４ｆ、７４ｇ、７４ｈ（図５参照）が設けられている点に特徴を有する。

【００６４】

前記ヒータ７４ａ～７４ｈは、図５に示されるように、レチクルステージ２８のプラテン部２８Ａの４角と各辺の中央部にそれぞれ各一つ配置され、これらのヒータ７４ａ～７４ｈによってレチクルＲが加熱（加温）される構成になっている。これらのヒータ７４ａ～７４ｈは、レチクル温調コントローラ７２によって独立に制御されるようになっている。なお、本実施例では８ヵ所で温調しているが精度との兼合いで温調箇所は任意に選択すればよい。

【００６５】

次に、レチクル温調コントローラ７２によるレチクルＲの温調制御について説明する。

【００６６】

まず、露光前に、レチクル温調コントローラ７２では、主ブラインド駆動部５４からの照射領域情報と既知のレチクルＲ上のパターン分布情報とからレチクルＲの伸縮量の分布を推定する。この伸縮量の分布は、調整時に数種のレチクルＲと焼付け結果からモデルを数パターン求めて、実露光時は数パターンの中から最も近いものを選択するようにしてもよい。

【００６７】

この伸縮量の分布は、レチクルＲの温度分布と比例すると考えられるので、レチクル温調コントローラ７２では、レチクルＲ上の温度が全体的に均一となるように、即ち伸縮量がレチクルＲ全面で等方かつ均一となるようにヒータ７４ａ～７４ｈの制御を行なう。

【００６８】

図６には、図５のＯ－Ａ断面における実際の温度分布曲線（温度分布モデル）と温度調節のための補正温度曲線との関係が示されている。この図６を用いて本実施例の温調制御について更に詳述する。

【００６９】

まず、レチクル温調コントローラ７２では、Ｏ－Ａ断面付近のパターン分布情報とレチクルＲの照射領域情報とに基づいて露光光ＩＬの吸収によるレチクルＲの温度分布曲線ＲＴ１　を演算によって予め求める（推定する）。

【００７０】

次に、この推定した温度分布曲線ＲＴ１　に基づいて、補正後に温度分布曲線ＲＴ２　のようにＯ－Ａ断面で温度が一定となるような補正温度分布曲線ＨＴを演算して求め、この補正温度分布曲線ＨＴと同様な温度補正がなれるようにヒータ７４ｄを制御する。以上のようなモデル計算、及びヒータの制御を全てのヒータ７４ａ～７４ｈに対して実行することにより、レチクルＲの温度分布が全面で均一に近い状態となり、伸縮量が第１実施例と同様に等方かつ均一に近い状態となる。

【００７１】

例えば、図３の場合のように、レチクルＲの右上部分をより高温にする必要がある場合には、ヒータ７４ｂ、７４ｃ、７４ｄの温度を他よりも高く設定することにより、所望の温調効果が得られる。

【００７２】

その他の部分の構成及び作用は第１実施例と同一である。これまでの説明から明らかなように、本第２実施例ではヒータ７４ａ～７４ｈとレチクル温調コントローラ７２とによって伸縮調整手段が構成されている。

【００７３】

以上説明したように、本第２実施例によると、第１実施例と同等の効果を得られる他、第１実施例のように赤外線がレチクルＲを透過して投影レンズＰＬに照射されることがないので、投影レンズＰＬ等は通常温度からの変化が小さくなり、投影レンズＰＬの赤外線吸収による結像性能（アスや湾曲など他の収差）が悪化せず、しかも温調後の温度分布曲線ＲＴ２　からレチクルＲの膨脹量が計算できるので、第１実施例と同様の手法によって一層正確な倍率補正が可能となる。

【００７４】

なお、上記第１、第２実施例では、投影レンズＰＬ（投影光学系）を介してレチクルＲ（マスク）上のパターンをウエハ（感光基板）上に転写する投影露光装置に本発明が適用される場合を例示したが、本発明の適用範囲はこれに限定されるものではなく、投影光学系を用いない、プロキシミティ方式の露光装置にも適用できる。これらの場合であっても、露光光がマスク上の一部に照射される場合には、マスクの熱変形量が均一とならず、従ってマスクの伸縮量を均一にする必要はあるからである。かかる場合には、マスク上の露光光の照射領域の情報とマスク上のパターンの分布情報とがわかれば、これらに基づいて、上記実施例で説明したような赤外線の照射や、ヒータによる温調によりマスクの伸縮を均一にすることができる。そして、マスクの熱変形（均一な熱変形）によって生じる倍率変化分をマスクとウエハの間隔を変えることにより補正すればよい。

【００７５】

また、上記第１実施例では、倍率調整機構１８と倍率補正コントローラ６４にとによって、投影レンズＰＬのエネルギ吸収によって変化する投影レンズＰＬの結像特性の変化までも補正する倍率補正系が構成される場合を例示したが、本発明はこれに限定されるものではない。感光基板上に形成されるマスク上のパターンの像の倍率を変化させる倍率調整機構と、この倍率調整機構を、露光光のエネルギとマスクの伸縮に関する物理量、例えばマ

スクの温度とに基づいて制御する制御系とによって、倍率補正系を構成した場合であっても、感光基板上に形成されるマスク上のパターンの像の倍率の調整は十分正確に行なうことができる。従って、マスクの伸縮が均一化された後の状態では、このような倍率調整系の構成もも有効である。

【００７６】

更に、上記第１、第２実施例で説明したようなレチクルＲの伸縮量の均一化のための調整は、レチクルＲ上の露光光ＩＬの照射領域内で行なわれていれば足り、必ずしもレチクルＲ全面で行なう必要はない。

【００７７】

また、上記第１、第２実施例の装置において、図１、図４にそれぞれ仮想線で示されるように、ミラー（ダイクロイックミラー）３６の上方にレチクルＲの熱分布を計測するセンサ（温度分布センサ）２００を設け、このセンサ２００により計測されるレチクルＲの熱分布に応じて副ブラインド６０を構成する各液晶素子６０Ａのオン・オフ制御を行なうようにしてもよい。この場合において、熱分布を計測するセンサ２００が、例えば１６行１６列以上の分解能を有する場合は、副ブラインド６０を１６行１６列以上に細分化して各液晶素子６０Ａのオン・オフを制御すればよい。

【００７８】

《第３実施例》

次に、本発明の第３実施例について図７ないし図９に基づいて説明する。この第３実施例は、第１実施例において副光源１６及びその周辺の構成部分が省略されるとともに、レチクルＲに後述するマスク保護部材としてのペリクル８０が装着され、更にこのペリクル８０内の温度を検出する温度センサ８２（図９参照）と、この温度センサ８２の出力に基づいてペリクル８０内が所定の温度となるように調整する温度調節手段とが、設けられている点に特徴を有し、その他の構成部分は第１実施例と同一である。従って、ここでは上記の特徴部分についてのみ説明する。

【００７９】

図７には、レチクルＲにペリクル８０が装着された状態が示されている。ここで、ペリクル８０は、ウエハ上に異物の像が形成されるのを避けるためのもので、透明の保護膜（薄膜）と所定の高さを有し保護膜をレチクルから投影光学系の光軸方向に所定距離だけ離して装備するための枠部材とをもつ構成体である。この保護膜としては、露光光に対して透過性を持つ薄膜（ｇ線用又はｉ線用のもの）が使用されている。このペリクル８０によってレチクルＲに異物が付着することを防止するとともに、保護膜上がレチクルから光軸方向に所定距離だけデフォーカスしているので、保護膜上に付着した異物の像はウエハ上に形成されない。

【００８０】

図７に示されるようにレチクルＲにペリクル８０を装着した状態で露光を行なうと、ペリクル８０内に熱がこもりレチクルＲの温度が上昇し（実験ではペリクルの無い場合に比較して１．５倍の温度上昇を示した）、レチクルＲの温度分布のむらが大きくなってしまう。

【００８１】

本実施例では、図７に示されるように、ペリクル８０の枠部材としてのフレームの相互に対向する位置に吸気用の孔８４Ａ、排気用の孔８４Ｂがそれぞれ設けられている。また、レチクルステージ２８上には、孔８４Ａ、８４Ｂの外側に、吸気ノズル８８、排気ノズル９０がそれぞれ設けられている。これらの吸気ノズル８８、排気ノズル９０は、矢印Ａ、Ｂ方向又はこれと反対方向に駆動部８６（図９参照）により駆動され、孔８４Ａ、８４Ｂの内部に挿入・離脱可能となっている。

【００８２】

図９には、これの吸気ノズル８８、排気ノズル９０を含んで構成される温度調整手段１００の構成が示されている。

【００８３】

この温度調整手段１００は、マイクロコンピュータから成るペリクル温調コントローラ９２を中心として構成されている。このペリクル温調コントローラ９２の入力側には、圧力センサ９４及び前述した温度センサ８２が接続されている。これらのセンサ９４、８２は、排気ノズル９０の先端に設けられている。

【００８４】

ペリクル温調コントローラ９２の出力側には、駆動部８６が接続され、さらにこの駆動部８６には吸気ノズル８８、排気ノズル９０が接続されている。従って、吸気ノズル８８、排気ノズル９０は駆動部８６を介して図示しないペリクル温調コントローラにより前記の如く駆動制御されるようになっている。さらに、このペリクル温調コントローラ９２の出力側には、図示しないコンプレッサ、排気系、吸気系等を含んで構成される吸排気装置９６が接続されている。排気系、吸気系には、吸気弁、排気弁がそれぞれ設けられている。

【００８５】

このようにして構成された本第３実施例の作用を説明する。図示しないレチクルローダによりペリクル８０が装着されたレチクルＲが搬送され、図７に示されるように、レチクルステージ２８上に移載される。この場合、レチクルＲは、レチクルステージ２８の４角の部分にそれぞれ設けられた図示しないレチクル保持部材によって４点支持されている。レチクルステージ２８上にレチクルＲが移載されると、図示しないレチクルアライメント系からの信号に基づいてレチクルステージがＸ，Ｙ、θ方向に微動され、レチクルアライメントが行なわれる。

【００８６】

このレチクルアライメントが終了すると、ペリクル温調コントローラ９２では、駆動部８６を介して吸気ノズル８８、排気ノズル９０を矢印Ａ、Ｂ方向にそれぞれ駆動する。これにより、孔８４Ａ、８４Ｂをそれぞれ介して吸気ノズル８８、排気ノズル９０の先端がペリクル８０の内部に挿される（図８参照）。

【００８７】

この状態で、露光が始まると次第にペリクル８０内の温度が上昇するので、ペリクル温調コントローラ９２では温度センサ８２の出力に基づいて吸排気装置９６を起動する。このとき、吸気弁、排気弁が開放される。これにより、排気ノズル９０から冷却空気がペリクル８０内に排出されると共に吸気ノズル８８によりペリクル８０内の空気が吸入され外部へ排出される。この結果、ペリクル８０内が冷却されてレチクルＲの他の部分との温度差が緩和されて、レチクルＲの温度分布が一様分布に近い状態となる。

【００８８】

従って、前述した第１、第２実施例と同様にして倍率調整機構１８によりレチクルＲの熱変形により生じる光学特性（倍率）の補正が可能となる。

【００８９】

なお、本第３実施例では温度センサ８２の出力に基づいてペリクル８０内を冷却する場合について例示したが、前述した第１、第２実施例で説明したようなレチクル伸縮モデル（あるいは温度上昇モデル）を作成し、これに基づいて冷却空気の温度を計算で求めるようにしてもよい。

【００９０】

厳密に言えば、ペリクル内の空気とレチクルＲとの間には熱伝達により温度差が生じているので、意識的に温度差をキャンセルするようにペリクル８０内温度を下げてレチクルＲの部分的熱膨脹を抑さえるようにすれば、レチクルＲの温度分布がより一層一様分布に近い状態となる。

【００９１】

なお、上記第３実施例では、温度センサ８２によりペリクル８０の内部空間（レチクルＲとペリクル８０とで形成される空間）の温度を検出する場合を例示したが、温度センサ８２によりペリクル８０そのものの温度（例えば、ペリクル８０の枠部材の温度）を検出するようにしても良い。

【００９２】

なお、実施に当たっては、ペリクル８０のフレームに設けられた孔８４Ａ、８４Ｂの内側に開閉可能な蓋を設け、この蓋を常時ばねにより外側に付勢するような構造にすることが、ペリクル本来の目的であるレチクルＲへの異物付着の防止、ウエハ上に異物の像が形成されることを防止という点からは望ましい。

【００９３】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、結像状態の変化を求めるための複雑な演算を行なうことなく、且つ簡単な構成の倍率補正手段を具備するのみで、マスクの熱変形に起因する光学特性の変化に対して良好な補正を行なうことができるという従来にない優れた効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図１】第１実施例に係る投影露光装置の概略構成を示す図である。

【図２】図１の副ブラインドの一構成例を示す平面図であって、一様パターン分布の場合にレチクル中心部に露光光が照射される場合の設定状態を示す図である。

【図３】一様でないパターン分布の場合の図２の副ブラインドの設定状態の一例を説明するための図である。

【図４】第２実施例に係る投影露光装置の概略構成を示す図である。

【図５】図４のレチクルステージ上のヒータの配置を示す平面図である。

【図６】第２実施例に係るレチクルの温調原理を説明するための線図である。

【図７】第３実施例の主要部の構成を示す概略斜視図である。

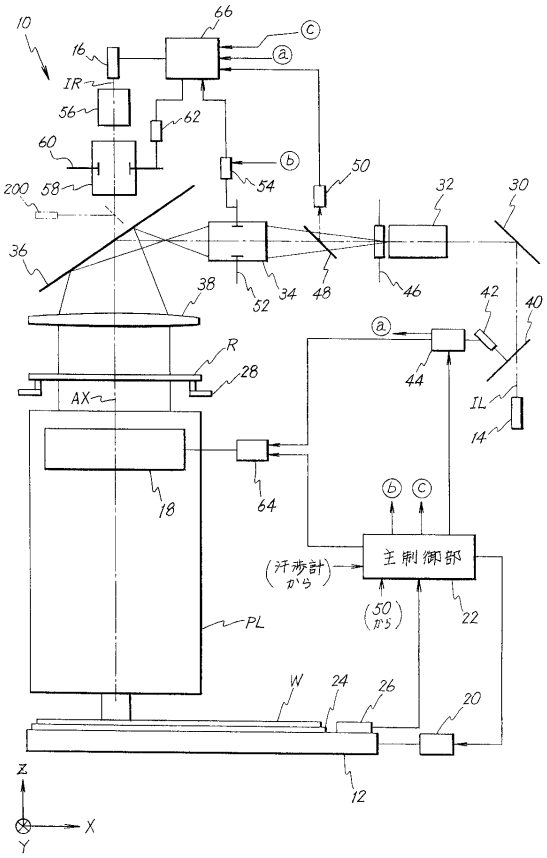
【図８】ペリクル内に吸気ノズルと排気ノズルの先端が挿入された状態のペリクル近傍の平面図である。

【図９】第３実施例に係る温度調節手段の概略構成を示すブロック図である。

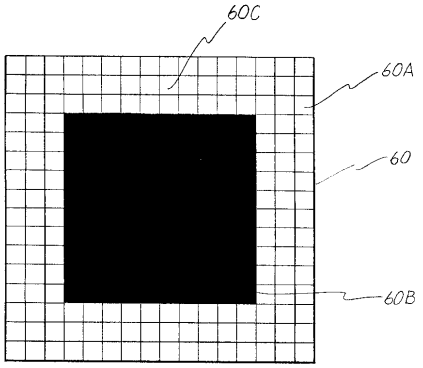
【符号の説明】

１０　投影露光装置（露光装置）
１４　主光源（露光用の光源）
１６　副光源（第２の波長特性の光を射出する光源、伸縮調整手段の一部）
１８　倍率調整機構（倍率調整系の一部）
５２　主ブラインド（照射領域設定手段の一部）
５４　照射領域設定手段
６０　副ブラインド（第２の照射領域設定手段の一部、伸縮調整手段の一部）
６２　副ブラインド駆動部（第２の照射領域設定手段の一部、伸縮調整手段の一部）
６４　倍率補正コントローラ（倍率調整系の一部）
６６　赤外線照射コントローラ（第２の照射領域設定手段の一部、伸縮調整手段の一部）
７０　投影露光装置（露光装置）
７２　レチクル温調コントローラ（温度制御系、伸縮調整手段の一部）
７４ａ～７４ｈ　ヒータ（伸縮調整手段の一部）
８０　ペリクル（マスク保護部材）
８２　温度センサ
１００　温度調整手段
ＩＬ　露光光（第１の波長特性の光）
ＩＲ　赤外線（第２の波長特性の光）
Ｒ　レチクル（マスク）
ＰＬ　投影レンズ（投影光学系）
Ｗ　ウエハ（基板）

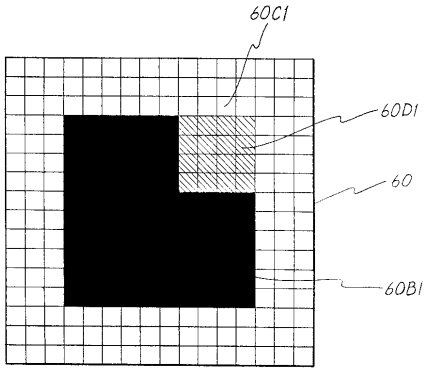
【図１】



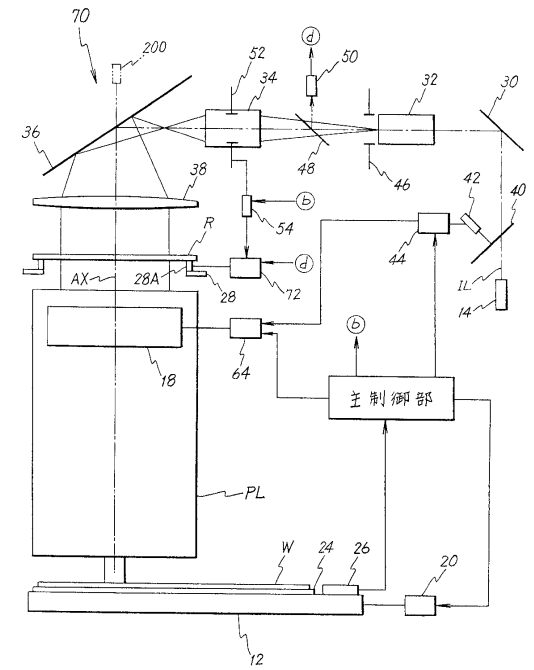
【図２】



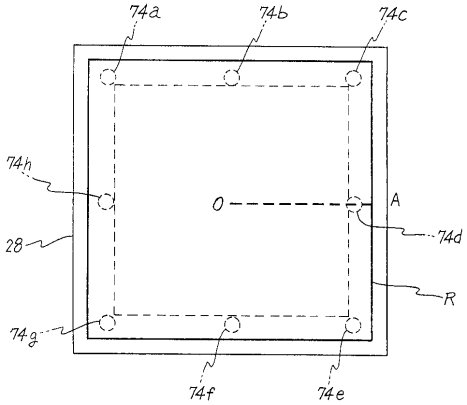
【図３】



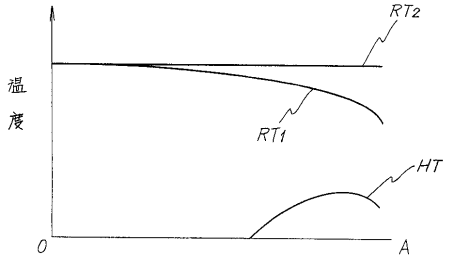
【図４】



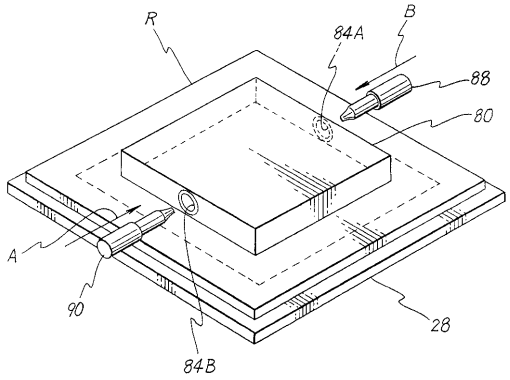
【図５】



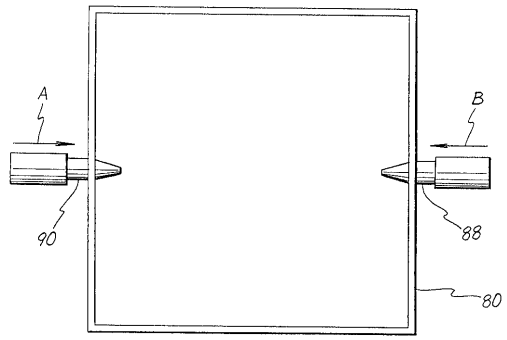
【図６】



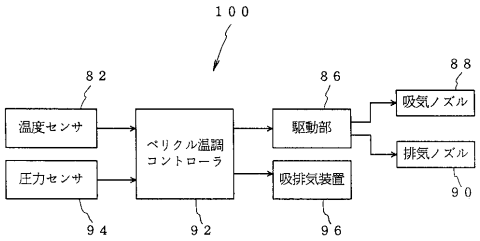
【図７】


R
B
84A
88
80
A
90
84B
28

【図８】


A
B
90
88
80

【図９】


100
82
温度センサ
圧力センサ
94
ペリクル温調
コントローラ
92
86
駆動部
吸排気装置
96
88
吸気ノズル
排気ノズル
90

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平０１－２５１６１２（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－２６０３８７（ＪＰ，Ａ）
特開平０１－１１７３２３（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－０２９８０２（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－０８４３５７（ＪＰ，Ａ）

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