

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4262031号
(P4262031)

(45) 発行日 平成21年5月13日 (2009.5.13)

(24) 登録日 平成21年2月20日 (2009.2.20)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/027 (2006.01)

H O 1 L 21/30 5 1 6 E

H O 1 L 21/30 5 3 1 A

請求項の数 4 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2003-295566 (P2003-295566)
 (22) 出願日 平成15年8月19日 (2003.8.19)
 (65) 公開番号 特開2005-64391 (P2005-64391A)
 (43) 公開日 平成17年3月10日 (2005.3.10)
 審査請求日 平成18年8月3日 (2006.8.3)

(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 100110412
 弁理士 藤元 亮輔
 (72) 発明者 長谷川 隆行
 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 三宅 明
 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 秋田 将行

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 露光装置及びデバイスの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光源からの光を用いて、マスクのパターンを被処理体に露光する露光装置において、
 前記光源からの光が照射される部材と、
 密閉空間に収納され、前記部材を冷却する冷媒と、
 前記冷媒を冷却する冷却手段と、
 前記密閉空間の容積を制御する制御手段と、
 前記密閉空間の圧力を計測する圧力計測手段とを有し、
 露光時において、
 前記冷媒を冷却せずに、前記冷媒により前記部材を冷却し、
 前記制御手段が前記圧力計測手段による計測結果に基づいて前記密閉空間の容積を制御
 することにより、前記密閉空間の圧力を一定にすることを特徴とする露光装置。

10

【請求項 2】

前記部材の温度を計測する温度計測手段を有し、
 前記制御手段は、前記温度計測手段による計測結果に基づいて前記密閉空間の容積を制
 御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】

前記部材から吸熱を行うとともに前記冷媒に排熱を行うペルチェ素子と、
 非露光時に前記ペルチェ素子を駆動するとともに露光時に該ペルチェ素子を非駆動とす
 る駆動手段とを備えたことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の露光装置。

20

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の露光装置を用いて前記被処理体を露光する工程と、

該露光された被処理体を現像する工程とを有するデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は例えばレチクル・ウエハ・反射ミラー等の部材を冷却する冷却方法に係り、より具体的には半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド、その他のマイクロデバイスを製造するための露光装置、例えば E U V 光（極紫外光）等の真空紫外光を用いて露光を行う露光装置及びデバイスの製造方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

従来、半導体メモリや論理回路などの微細な半導体素子を製造するための焼付け（リソグラフィ）方法として、紫外光を用いた縮小投影露光が行われている。この縮小投影露光においては、転写できる最小寸法は転写に用いる光の波長に比例し、投影光学系の開口数に反比例する。このため、より微細な回路パターンを転写するために使用する光の短波長化が進められ、水銀ランプ i 線（波長 365 nm）、KrF エキシマレーザ（波長 248 nm）、ArF エキシマレーザ（波長 193 nm）と、使用される紫外光（紫外線）の波長は短くなってきている。

20

【0003】

しかし、半導体素子は急速に微細化しており、紫外光を用いたリソグラフィでは転写可能な寸法に限界が出てきている。そこで 0.1 μm 以下の微細な回路パターンの焼付けを効率よく行うために、紫外線よりもさらに波長が短い 10 nm ~ 15 nm 程度の波長の極紫外光（E U V 光）を用いた縮小投影露光装置が開発されている。

【0004】

E U V 光の波長領域においては物質による光の吸収率が増大する。例えば、可視光や紫外光の波長領域で一般によく用いられるような光の透過や屈折を利用するレンズ光学系を E U V 光を光源とする光学系として用いると、光学系内で E U V 光が吸収されてしまい十分な光強度が得られない等の様々な問題が生じる。

30

【0005】

したがって、E U V 光を光源とする露光装置では、その光学系として一般に反射光学系が用いられる。この場合、回路パターンが形成された露光投影原版としてのレチクル（マスク）においても、透過型レチクルではなく反射型レチクルが一般に用いられる。この反射型レチクルは、反射ミラー上に吸収体によって転写すべきパターンを形成したものである。

【0006】

E U V 光を用いた露光装置を構成する反射型光学素子としては、多層膜ミラーと斜入射全反射ミラーとが用いられる。斜入射ミラーにおいては、E U V 光の波長領域では屈折率の実部は 1 より僅かに小さいので、入射角を小さくして反射面に近い角度から斜めに E U V 光を入射する斜入射で用いて反射効率を向上させる。通常、反射面から数度以内の角度の斜入射では数 10 % 以上の高い反射率が得られる。しかし光学設計上の自由度が小さく、この斜入射全反射ミラーを露光装置の投影光学系に用いることは難しい。

40

【0007】

入射角の比較的大きな直入射に近い入射角で用いる E U V 光用のミラーとしては、光学定数の異なる 2 種類の物質を交互に積層した多層膜ミラーが用いられることが多い。この多層膜ミラーは、精密な面形状に研磨されたガラス基板の表面に例えば厚さ 2 nm のモリブデン層と厚さ 5 nm のシリコン層とが交互に 20 ~ 60 層対程度積層されたものである。ここで 2 種類の物質の層（モリブデン層、シリコン層）の厚さを加えたものを膜周期とよぶ。上記の例では膜周期は 2 nm + 5 nm = 7 nm となる。

50

【 0 0 0 8 】

このような多層膜反射ミラーにEUV光を入射すると、入射EUV光のうち特定の波長のものが反射される。入射角を θ 、EUV光の波長を λ 、膜周期を d とすると近似的にはブラッグの式、 $2 \times d \times \cos \theta = \lambda$ 、の関係を満足するような λ を中心とした狭いバンド幅（波長幅）のEUV光だけが効率よく反射される。このときのバンド幅は $0.6 \text{ nm} \sim 1 \text{ nm}$ 程度である。反射されるEUV光の反射率は最大でも 0.7 程度であり、反射されなかったEUV光は多層膜中あるいは基板中に吸収され、そのエネルギーの大部分が熱に変換される。

【 0 0 0 9 】

多層膜反射ミラーは可視光用のミラーに比べて光の損失が大きいので、多層膜反射ミラーをリソグラフィのための露光装置の光学系として用いる際には、ミラーの枚数を最小限に抑えることが望ましい。少ない枚数のミラーで広い露光領域を実現するためには、光軸から一定の距離だけ離れた細い円弧状領域（リングフィールド）の光だけを用いて、レチクルとウエハを同時に走査して広い面積を転写する走査露光（スキャン露光）による方法が行われる。したがって、露光光源にEUV光を用いた露光装置（EUV露光装置）においては、一般に走査露光（スキャン露光）による方法が用いられる。

10

【 0 0 1 0 】

多層膜反射ミラーで反射されるEUV光の反射率は最大で 0.7 程度であり、反射されなかった残りの光は多層膜中又はミラー基板中で吸収されて、そのエネルギーの大部分が熱に変換される。このため、反射ミラー・レチクル・ウエハ等の光学部材にEUV光を照射した場合、EUV光が吸収されてその光学部材が発熱する。同様の理由によって、レチクルチャック・ウエハチャック（以下、これらを総称してチャックという）においても露光光としてのEUV光を吸収して発熱する場合がある。

20

【 0 0 1 1 】

EUV光は、ガスによって強く吸収される性質を有する。例えば、気圧 10 Pa の空气中を波長 13 nm のEUV露光装置光が 1 m 伝播すると、その 50% が空气中に吸収されてしまう。ガスによる吸収を避けるためには、EUV露光装置光が伝播する空間は少なくとも 10^{-1} Pa 以下、望ましくは 10^{-3} Pa 以下となっている必要がある。さらにEUV露光装置においては、EUV光が照射される光学部材が配置された空間に炭化水素等の炭素を含む分子が残留していた場合、光の照射によって光学部材表面に炭素が次第に付着し、この付着した炭素がEUV光を吸収するために反射率が低下してしまうという問題がある。この炭素付着を防止するためには、EUV光が照射される光学部材が配置される空間の気圧は少なくとも 10^{-4} Pa 以下、望ましくは 10^{-6} Pa 以下となっている必要がある。したがって、EUV露光装置においては、略真空環境下に反射ミラー等の光学系、レチクル、ウエハ等が配置されている。そのため、光学部材やチャック等において発生した熱は、周囲環境下に対流熱伝達によって放熱されることが殆どなく、それらの内部に滞留する。

30

【 0 0 1 2 】

また、チャックは光学部材の平面性を矯正する機能を必要とし、高剛性であることが求められる。走査露光においてステージ上でチャックを移動させる必要があることから、軽量であることも求められる。さらに、熱による形状変化が小さいことが必要であることから、線膨張係数が低いことも求められる。これらの要求から、チャックにはSiC（シリコンカーバイド）、SiN（窒化ケイ素）、AlN（窒化アルミニウム）等のセラミックス材料が用いられている。

40

【特許文献1】特開平10-70058

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 3 】

しかしながら、EUV露光装置に用いられるチャックでは、静電吸着力を十分に確保する観点から必ずしも理想的な低熱膨張材を選定できるという訳ではない。上述のセラミッ

50

クス材料も比較的低線膨張係数であるものの、その係数値は1 ~ 10 ppm程度である。

【0014】

例えば、0.01の温度上昇の場合、ウエハチャックの半径が150mm、その線膨張係数が3ppmであるとするとき熱膨張による位置ずれが4.5nmとなる。EUV露光装置のウエハチャックに要求される位置精度は数nmであるため、熱膨張によって4.5nmの位置ずれが生じると問題となってしまう。

【0015】

また、投影光学系の反射面の面形状は高精度であることが必要とされる。投影光学系を構成するミラーの枚数をn、EUV光の波長をλとすると、許容される反射面形状の形状誤差σ(rms値)は、マレシャルの式 $\sigma = \lambda / (2.8 \times \sqrt{n})$ で与えられる。例えば、ミラー枚数n = 4枚、EUV光の波長λ = 13nmの場合は、許容形状誤差σ = 0.23nmとなる。投影光学系を構成する光学部材の温度が上昇して許容形状誤差を超える面形状の乱れを生じると、投影光学系の結像性能を十分に発揮することができず、解像度の低下やコントラストの低下等を招き、微細なパターンの露光転写が困難となる。

【0016】

光学部材やチャックは真空中に配置されており、対流熱伝達による周囲環境への放熱冷却は期待できないので、レチクルチャック・ウエハチャック・ミラーホルダ等の保持手段を介してレチクル・ウエハ・反射ミラー等の光学部材を冷却する必要がある。従来、ウエハ・レチクル・反射ミラー等の光学部材は、一定温度の冷却水を循環する冷却手段を設けたレチクルチャック・ウエハチャック・ミラーホルダ等の保持手段に保持されることにより、EUV光の吸収によって光学部材に発生した熱が保持手段を介して放熱され、光学部材の温度上昇を低減させるようになっている。

【0017】

図11は従来の光学部材の冷却方法を用いた水冷ウエハステージ101の概略図である。この水冷ウエハステージ101は、リニアモータを用いており、露光装置のウエハステージとして用いられる。Y軸リニアモータ102は、電機子ユニットと磁極ユニットとからなる。磁極ユニットは、図中Y軸に対して磁極が交互に異なるように所定間隔で配置された磁石103を用いて構成されている。電機子ユニットは、電流を流すためのコイル104を用いて構成されている。このコイル104を流れる電流と磁石103の磁束との相互作用によって生じるローレンツ力を利用して電機子ユニットが固定子として、磁極ユニットが可動子として機能し、粗動ステージ105をY軸方向へ移動させるようになっている。同様に図示しないX軸リニアモータによって、X軸方向にも粗動ステージ105を移動させるようになっている。

【0018】

粗動ステージ105上に配置された微動ステージ106は、図中Z軸方向に剛性の低いバネで支持されており、Z軸方向へ可動するリニアモータによって粗動ステージ105に対するZ軸方向への微小な位置決めがなされる。さらに、水冷機構として冷却水循環装置によってウエハチャック107内に形成された流路に水を流す構成としている。微動ステージ106は、粗動ステージ105に対して相対移動する必要がある。また、粗動ステージ105はこの水冷ウエハステージ101全体を覆う真空容器108に対して相対移動する必要がある。したがって、冷却水を循環させるための配管109は、冷却水循環装置110と粗動ステージ105との間、粗動ステージ105と微動ステージ106との間においてフレキシブルに構成されている。この冷却水循環装置110は、一般に真空内で駆動が困難な構成であるので、真空容器108外に配置される。また、レチクルにおけるレチクルチャック・レチクルステージもこの水冷ウエハステージ101と同様の構成とされている。

【0019】

図12は、従来の光学部材の冷却方法を用いた水冷ミラー121の概略図である。ミラー122は、ピエゾ等のアクチュエータ123を介してミラーホルダ124に保持されている。このアクチュエータ123を駆動することにより、ミラー122の姿勢を制御でき

10

20

30

40

50

るようになっている。ミラーホルダ 1 2 4 は水冷配管 1 2 5 によって冷却される。この水冷配管 1 2 5 は、冷却水循環装置 1 1 0 に接続されており、その冷却水循環装置 1 1 0 から冷却水が供給されるようになっている。

【 0 0 2 0 】

しかしながら、ウエハチャックやレチクルチャックは、剛性の低いバネによってそれぞれ微動ステージに支持されているので、冷却水を流すことによりその流路、配管内で発生する渦や脈動等による振動によってウエハチャック・レチクルチャックの位置安定性が悪化するという問題がある。ミラーの冷却においては、流路、配管内で発生する渦や脈動等による振動によってミラーの位置安定性が悪化するのを防止するために、ミラー内に流路を形成して冷却水を通すのではなく、ミラーホルダ内に冷却水を通してしている。しかし、ミラーの姿勢制御のためにミラーホルダとミラーとは離間して配置され、接触部分が小さく構成されているのでミラーの冷却が充分に行えないという問題もある。熱歪によるミラー反射面形状の変化を生じてしまったり、ミラーホルダの冷却に伴う振動がミラーに伝達してしまい、ミラーの位置安定性が悪化するという問題もある。

10

【 0 0 2 1 】

冷却水の代わりにヘリウム等の伝熱ガスを用い、その伝熱ガスを配管中に循環させて冷却を行う方法も考えられる。露光光の吸収に伴う発熱を効率よく冷却し、温度上昇を低減して微動ステージを装置基準温度 2 3 に制御するためには、より低い温度のガスをチャックの配管内に流すことが必要となる。しかしながら、ガスは熱容量が小さく、配管温度が高い場合は微動ステージやチャックに到達するまでにガスの温度が上昇してしまい充分な冷却能力を発揮することができないという問題がある。

20

【 0 0 2 2 】

本発明は、振動等の外乱を露光に影響させることなくウエハ・レチクル・反射ミラー等の部材を効率よく、かつ充分に冷却することができ、その結果、高精度に回路パターンを露光転写することができる露光装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 3 】

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、マスクのパターンを被処理体に露光する露光装置において、前記光源からの光が照射される部材と、密閉空間に収納され、前記部材を冷却する冷媒と、前記冷媒を冷却する冷却手段と、前記密閉空間の容積を制御する制御手段と、前記密閉空間の圧力を計測する圧力計測手段とを有し、露光時において、前記冷媒を冷却せずに、前記冷媒により前記部材を冷却し、前記制御手段が前記圧力計測手段による計測結果に基づいて前記密閉空間の容積を制御することにより、前記密閉空間の圧力を一定にすることを特徴とする。

30

【 0 0 2 4 】

本発明の更なる目的又はその他の特徴は、以下添付図面を参照して説明される好ましい実施例によって明らかにされるであろう。

【発明の効果】

【 0 0 2 5 】

以上説明したように、本発明によれば、ウエハ・レチクル・反射ミラー等の部材を、振動等の外乱を露光に影響させずに効率よくかつ充分に冷却することができる。その結果、高精度に回路パターンを露光転写することができる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 6 】

[実施の形態 1]

以下、本発明の実施の形態を図面に基きつつ説明する。図 1 は、本発明の実施の形態 1 に係る光学部材の冷却方法を用いた露光装置 1 の露光部全体の構成を模式的に示す概略図である。この露光装置 1 は、露光光源に E U V 光 2 e を用いた走査露光方式の縮小投影露光装置であり、E U V 光（露光光源光）2 e を発する光源としての E U V 光源 2 ・照明光学系 3 ・反射型レチクル（以下、単にレチクルという。）4 ・レチクルステージ 5 ・レ

50

チクルチャック 9・投影光学系 6・位置測定装置としてのレチクル用レーザ干渉計 7 a 及びウエハ用レーザ干渉計 7 b・ウエハ 1 2・ウエハ微動ステージ（以下、ウエハステージという。） 1 3・ウエハチャック 1 4・アライメント検出手段 1 5・フォーカス位置検出手段 1 6・真空系 1 7 等を有して大略構成される。

【 0 0 2 7 】

E U V 光源 2 としては、例えばレーザプラズマ光源 2 a が用いられる。このレーザプラズマ光源 2 a は、励起用パルスレーザ 2 b、集光レンズ 2 c、ターゲット供給装置 2 d を有して大略構成される。このレーザプラズマ光源 2 a は、真空容器中のターゲット材に励起用パルスレーザ 2 b によって高強度のパルスレーザ光を照射し、高温のプラズマを発生させ、そこから放射される例えば波長 1 3 n m 程度の E U V 光 2 e を利用するものである。

10

【 0 0 2 8 】

ターゲット材としては金属薄膜・不活性ガス・液滴等が用いられ、ガスジェット等のターゲット供給装置 2 d によって真空容器内に供給される。励起用パルスレーザ 2 b のレーザ照射の繰り返し周波数が高い方が、放射される E U V 光 2 e の平均強度が高くなり、通常励起用パルスレーザ 2 b は数 k H z の繰り返し周波数で運転される。

【 0 0 2 9 】

照明光学系 3 は、E U V 光源 2 からの E U V 光 2 e を露光原版としてのレチクル 4 に導くためのものであり、複数の反射ミラー 3 a・オプティカルインテグレータ 3 b 等を有して大略構成される。E U V 光 2 e が照射されるので、反射ミラー 3 a としては多層膜反射ミラーや斜入射ミラーが用いられる。

20

【 0 0 3 0 】

初段の集光ミラー 3 a ' は E U V 光源 2 から略等方的に放射される E U V 光 2 e を集光するためのものである。また照明光学系 3 におけるレチクル 4 と共役な位置には、レチクル 4 の表面に E U V 光 2 e が照明される領域を円弧状に制限するためのアパーチャ 3 c が設けられている。

【 0 0 3 1 】

レチクル 4 は、ウエハ 1 2 に露光すべき回路パターンが表面 4 a に形成された露光原版である。レチクル 4 は、ウエハ 1 2 上に露光転写すべきパターンを吸収体によってミラー上に多層膜として形成したもので、E U V 光 2 e を反射する部分と吸収する部分との反射光強度の差によって回路パターンの情報を構成している。レチクル 4 は、保持手段としてのレチクルチャック 9 に保持されている。この実施の形態においては、このレチクル 4 は真空中に配置されているので、静電吸着方式のレチクルチャック 9 が用いられている。レチクルチャック 9 は、レチクルステージ 5 上に載置されている。

30

【 0 0 3 2 】

このレチクルステージ 5 は、露光の際にレチクル 4 を副走査方向（X 1 軸方向）に沿って精密に走査移動させるためのものである。レチクルステージ 5 としては、例えばサーボモータと精密送り機構とによる精密ステージや、リニアモータ等を用いた高精度走査移動及び高精度位置決め機構が用いられる。また、レチクルステージ 5 には、X 1 軸方向（副走査方向）、Y 1 軸方向（主走査方向）、Z 1 軸方向（レチクル 4 の面に垂直な方向）、及び各軸回りの回転方向に微動可能な微動機構（図示せず）が設けられ、レチクル 4 の精密な位置決めができるようになっている。

40

【 0 0 3 3 】

レチクルチャック 9 の位置と姿勢は、レーザ干渉計によって測定される。その位置測定結果に応じて、微動機構によりレチクルステージ 5 及びレチクルチャック 9 が移動してレチクル 4 の高精度な位置調整が行われるようになっているが、詳細は後述する。

【 0 0 3 4 】

投影光学系 6 は、レチクル 4 によって反射された E U V 光 2 e をウエハ 1 2 上に導くための光学系であり、複数のミラー 6 a ~ 6 d 及びアパーチャ 6 e を用いて構成される。この投影光学系 6 においては、ミラー枚数が少ない方が E U V 光 2 e の利用効率が高いが、

50

収差補正が難しくなる。収差補正に必要なミラー枚数は例えば4枚から6枚程度であり、ミラー6a～6dの反射面の形状は凸面又は凹面の球面又は非球面である。

【0035】

ミラー6a～6dは、低膨張率ガラスやSiC（シリコンカーバイド）等の高剛性、高硬度、低熱膨張率の材料からなる基板表面を研削又は研磨して所定の反射面形状を創成した後、その反射面にモリブデン／シリコン等の多層膜を成膜したものである。前述のブラッグの式から明らかなように、膜周期一定の多層膜反射ミラーにおいてはミラー面内の位置によって光の入射角が異なってしまうと高反射率となるEUV光2eの波長もその位置に応じて異なってしまう。そこでミラー面内で一定波長のEUV光2eが効率よく反射されるために、膜周期が分布を持つように構成される。

10

【0036】

ウエハ（被処理体）12はレチクル4からのEUV光2eが照射されてレチクル4表面の回路パターンが表面12aに露光されるもので、ウエハステージ13上に設けられた保持手段としてのウエハチャック14に保持される。ウエハステージ13はレチクルステージ5と同様にX2軸方向（副走査方向）に高速移動する機構を有している。このウエハステージ13とレチクルステージ5とは、露光投影の縮小倍率に比例した速度比で同期して走査する走査移動機構を有している。また、ウエハステージ13にはX2軸方向、Y2軸方向、Z2軸方向、及び各軸回りの回転方向に微動可能な微動機構（図示せず）が設けられ、ウエハ12の精密な位置決めができるようになっている。

【0037】

20

ウエハステージ13の位置と姿勢は、レチクルステージ5の場合と同様に、レーザ干渉計によって測定される。その位置測定結果に応じて、微動機構によりウエハステージ13及びウエハチャック14が移動してウエハ12の高精度な位置調整が行われるようになっている。

【0038】

レチクル4に対してウエハ12の位置決めを行うための構成を図2に基づきつつ説明する。図2は、この露光装置1のレチクル4周辺とウエハ12周辺とを模式的に示す図である。レチクル4の位置はレチクルステージ5上に固定されたレチクルステージミラー5aの位置をレチクル用レーザ干渉計7aで測定することによって得られる。このレチクル用レーザ干渉計7aは、例えば測定光源としてのレーザ光源、検出器としての干渉計を有して構成され、それらは固定手段10aによって露光装置1本体に固定されている。また、ウエハ12の位置はウエハ微動ステージ13上に固定されたウエハステージミラー13aの位置をウエハ用レーザ干渉計7bで測定することによって得られる。このウエハ用レーザ干渉計7bは、例えば測定光源としてのレーザ光源、検出器としての干渉計を有して構成され、それらは固定手段10bによって露光装置1本体に固定されている。

30

【0039】

レチクル4の位置とウエハ12の位置との相対位置関係が一定となるように、ウエハ微動ステージ13が駆動制御されて位置調整されるようになっている。ウエハチャック14としては2つの電極14aを有する双極型の静電チャックが用いられ、それによりウエハ12がウエハチャック14に静電吸着されるようになっている。

40

【0040】

アライメント検出手段15は、レチクル4の位置と投影光学系6の光軸との位置関係、及びウエハ12の位置と投影光学系6の光軸との位置関係を検出するためのものである。その検出結果に基づいて、レチクル4の投影像がウエハ12の所定の位置に一致するようにレチクルステージ5及びウエハ微動ステージ13の位置と角度とが設定されるようになっている。

【0041】

フォーカス位置検出手段16は、ウエハ表面12aのフォーカス位置（すなわちZ2軸方向位置）を検出するためのもので、ウエハ微動ステージ13の位置及び角度が制御されることにより、露光中のウエハ表面12aが、常に投影光学系6による結像位置に保持さ

50

れるようになっている。

【 0 0 4 2 】

この露光装置 1 においては、露光光源として E U V 光源 2 を用いている。この E U V 光 2 e は、上述のように空気によっても吸収されて光の強度が低下する。したがって、この露光装置 1 において照明光学系 3、レチクル 4、レチクルチャック 9、投影光学系 6、ウエハ 1 2、ウエハチャック 1 4 を含み、E U V 光 2 e の光路に相当する部分は、例えば真空ポンプ等の真空系 1 7 によって真空中に配されている。

【 0 0 4 3 】

図 3 は、この露光装置 1 に用いられるミラー近傍を拡大して示した模式図である。このミラーとしては、照明光学系 3 の反射ミラー 3 a、投影光学系 6 のミラー 6 a ~ 6 d のい

10

【 0 0 4 4 】

反射ミラー 3 a は保持手段としてのミラーホルダ 2 5 に保持されている。このミラーホルダ 2 5 は、反射ミラー 3 a を保持しつつその冷却を行うためのもので、この反射ミラー 3 a を冷却するための冷却装置 2 4 が一体に設けられている。この冷却装置 2 4 は、蓄熱体 2 6、冷媒 2 7、冷却水を内部に含む冷却配管 2 8、バルブ 2 9、バルブ制御装置 3 0、圧力計 3 1、ペローズ 3 2、ペローズ制御手段 3 3 を有して大略構成される。

【 0 0 4 5 】

蓄熱体 2 6 は、熱を蓄積したり放出したりするためのものであり、所定の密閉空間 2 6 a 内部に所定温度で蒸発する液相としての冷媒（例えばエタノール等）2 7 が充填されたものである。その所定の空間内部のうち、冷媒 2 7 が占める空間以外の空間部分には、気相としての冷媒 2 7（例えばエタノール蒸気等）が満たされている。補助冷却手段の一部としての冷却配管 2 8 は、蓄熱体 2 6 を冷却するための冷却水を内部に通すための配管である。その冷却水の流れはバルブ 2 9 によって制御される。反射ミラー 3 a の冷却状態等に応じてバルブ制御装置（補助冷却手段制御装置）3 0 によってバルブ 2 9 が開閉制御されるようになっている。

20

【 0 0 4 6 】

引用符号 3 1 は、冷媒 2 7 が充填された密閉空間 2 6 a の内部圧力を計測するための圧力計（圧力計測手段）であり、引用符号 3 2 は、その内部圧力を一定に保つために密閉空間 2 6 a の空間容積を可変させるペローズである。引用符号 3 3 は、圧力計 3 1 の出力に基づいて、密閉空間 2 6 a 内部の圧力が一定となるようにペローズ 3 2 の容積を制御するペローズ制御手段（空間容積制御手段）である。

30

【 0 0 4 7 】

次に、この露光装置 1 の動作について説明する。

【 0 0 4 8 】

レチクル 4 がレチクルチャック 9 に保持され、ウエハ 1 2 が図示しない搬送系から受け渡されてウエハチャック 1 4 に保持され、この露光装置 1 による露光が開始される。E U V 光源 2 からの E U V 光 2 e が照明光学系 3 を経てレチクル表面 4 a に導かれ、その後、投影光学系 6 を経てウエハ表面 1 2 a に至り、レチクル表面 4 a 上に形成された回路パターンをウエハ表面 1 2 a に転写することによって露光が行われる。

40

【 0 0 4 9 】

この露光装置 1 においては、走査露光方式によって回路パターンの露光が行われる。すなわち、アパーチャ 3 c によってスリット状とされた E U V 光 2 e をレチクル表面 4 a に照射しつつ、レチクルステージ 5 とウエハステージ 1 3 とを投影光学系 6 の縮小倍率に比例した速度比で同期させつつそれぞれ X 1 軸方向、X 2 軸方向に走査移動を行って露光を行う。露光に際しては、アライメント検出手段 1 5 によりレチクル 4 とウエハ 1 2 とのアライメントが調整され、フォーカス位置検出手段 1 6 によりウエハ 1 2 のフォーカス位置画調整されて、レチクル 4 上の回路パターンが正確にウエハ 1 2 上へと転写されていく。

50

【 0 0 5 0 】

ウエハ 1 2 上で 1 回のスキャン露光（走査露光）が終わると、ウエハステージ 1 2 は X 2 軸方向、Y 2 軸方向にステップ移動して次の走査露光開始位置に移動する。そして、レチクルステージ 5 及びウエハステージ 1 2 の走査移動速度が投影光学系 6 の縮小倍率に比例した速度比となるように、再びそれぞれ X 1 軸方向、X 2 軸方向への同期走査移動が行われる。

【 0 0 5 1 】

このようにして、レチクル 4 の縮小投影像がウエハ 1 2 上に結像した状態で、レチクル 4 とウエハ 1 2 との同期走査露光が繰り返され、レチクル 4 上の回路パターン像がウエハ 1 2 上に像形成されていく。この一連の動作をステップ・アンド・スキャンといい、このステップ・アンド・スキャンによって、ウエハ全面にレチクルの回路パターンが転写される。

10

【 0 0 5 2 】

この走査露光において、冷却装置 2 4 による反射ミラー 3 a の冷却が行われる様子を図 4 に基づいて説明する。図 4 (a) は、反射ミラー 3 a に E U V 光 2 e が照射されていない状態（非露光時）における冷却装置 2 4 の動作を示し、図 4 (b) は、反射ミラー 3 a に E U V 光 2 e が照射されている状態（露光時）における冷却装置 2 4 の動作を示す。

【 0 0 5 3 】

図 4 (a) に示すように、非露光時にはバルブ制御装置 3 0 がバルブ 2 9 を開き、冷却配管 2 8 内に冷却水を通水することにより蓄熱体 2 6 内の冷媒 2 7 を冷却して蓄熱体 2 6 の温度を所定の温度以下に保つ。図 4 (b) に示すように、露光時にはバルブ制御装置 3 0 によってバルブ 2 9 が閉じられ、通水による振動等の外乱が露光に影響しないように冷却水を止水している。したがって、蓄熱体 2 6 は冷却水によって冷却されない。E U V 光 2 e が反射ミラー 3 a に照射されることにより反射ミラー 3 a が高温となり、反射ミラー 3 a に接触している蓄熱体 2 6 にその熱が伝達される。このとき、蓄熱体 2 6 内の冷媒 2 7 の温度が上昇して気液界面より蒸発が開始される。相変化に伴う蒸発熱の吸熱により冷媒 2 7 の熱が奪われて冷媒 2 7 の温度は所定の温度以下に保たれる。その結果、反射ミラー 3 a の温度上昇を所定の範囲内に抑えることができる。

20

【 0 0 5 4 】

また、冷媒 2 7 が蒸発することにより、冷媒 2 7 が充填された密閉空間 2 6 a の圧力が上昇する。それにより冷媒 2 7 の沸点が上昇し、安定して反射ミラー 3 a の冷却を行うことができなくなる。そこで、この実施の形態 1 においては、密閉空間 2 6 a の圧力を計測する圧力計 3 1 の出力に基づいて、ペローズ制御手段 3 3 がペローズ 3 2 の容積を制御して密閉空間 2 6 a の圧力が一定となるように調整する。

30

【 0 0 5 5 】

蓄熱体 2 6 内の冷媒 2 7 としてエタノール（ C_2H_5OH ）を用い、反射ミラー 3 a を 2 3 に制御する場合について以下に説明する。量産対応の E U V 露光装置の投影光学系ミラーで最も大きいパワーを受けるのは E U V 光源直下流側 1 枚目の反射ミラー 3 a であり、例えばこの反射ミラー 3 a は 0 . 9 6 W のパワーを吸収する。この反射ミラー 3 a が吸収したパワーが全て熱に変換され、蓄熱体 2 6 がその熱を全て蓄熱すると仮定する。このとき、ウエハ 1 2 を交換する際にのみ反射ミラー 3 a を冷却することができるとすると、蓄熱体 2 6 は、ウエハ 1 枚の露光中に照射される E U V 光 2 e による総熱量を蓄熱する必要がある。ウエハ 1 枚の露光時間の合計を 3 0 秒とすると、蓄熱体 2 6 が吸収すべき熱量は、 $0.96 \times 30 = 28.8$ (J) となる。エタノール（ C_2H_5OH ）の蒸発熱 ΔH は、 $\Delta H = 854.8$ (k J / k g) であるので、必要な蒸発量は、 $28.8 / 854.8 = 0.033$ (g) となる。これは、エタノールのモル数に換算すると、 $0.033 / 46.069 = 0.00072$ (m o l) となり、標準状態で $0.00072 \times 22.4 = 0.016$ (l) = 16000 (m m ³) となる。エタノールの 2 3 における蒸気圧は 6 9 9 8 (P a) であるので、2 3 においては、 $16000 \times (6998 / 101308) = 231200$ (m m ³) の体積となる。これは一辺約 6 2 m m の立方体の体積

40

50

に相当し、ベローズ 3 2 程度の容積で圧力制御は可能である。

【 0 0 5 6 】

このように構成することにより、振動・位置安定性の悪化・面形状の劣化等の外乱を露光に影響させずに反射ミラー 3 a を効率よくかつ十分に冷却することができ、その結果、高精度に回路パターンを露光転写することができてウエハ 1 2 の不良率を低減し、また高性能のウエハ 1 2 を作成することができる。

【 0 0 5 7 】

次に、図 5 及び図 6 を参照して、上述の露光装置 1 を利用したデバイスの製造方法の実施例を説明する。図 5 は、デバイス（IC や LSI などの半導体チップ、LCD、CCD 等）の製造を説明するためのフローチャートである。ここでは、半導体チップの製造を例に説明する。ステップ 1（回路設計）ではデバイスの回路設計を行う。ステップ 2（マスク製作）では、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。ステップ 3（ウェハ製造）ではシリコンなどの材料を用いてウェハ（被処理体）を製造する。ステップ 4（ウェハプロセス）は前工程と呼ばれ、マスクとウェハを用いてリソグラフィ技術によってウェハ上に実際の回路を形成する。ステップ 5（組み立て）は後工程と呼ばれ、ステップ 4 によって作成されたウェハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（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）等の工程を含む。ステップ 6（検査）では、ステップ 5 で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ 7）される。

【 0 0 5 8 】

図 6 は、ステップ 4 のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ 1 1（酸化）ではウェハの表面を酸化させる。ステップ 1 2（CVD）では、ウェハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ 1 3（電極形成）では、ウェハ上に電極を蒸着などによって形成する。ステップ 1 4（イオン打ち込み）ではウェハにイオンを打ち込む。ステップ 1 5（レジスト処理）ではウェハに感光剤を塗布する。ステップ 1 6（露光）では、露光装置 1 によってマスクの回路パターンをウェハに露光する。ステップ 1 7（現像）では、露光したウェハを現像する。ステップ 1 8（エッチング）では、現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ 1 9（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ェハ上に多重に回路パターンが形成される。本実施例の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。

【 0 0 5 9 】

なお、本実施の形態 1 においては、ミラーホルダ 2 5 に冷却装置 2 4 を設け、反射ミラー 3 a を冷却する構成について説明したが、光学部材としてはもちろん反射ミラー 3 a に限られるものでなく、レチクル 4、ウエハ 1 2 等であってもよい。すなわち、レチクルチャック 9 に冷却装置 2 4 を設け、レチクル 4 を冷却する構成であってもよいし、ウエハチャック 1 4 に冷却装置 2 4 を設け、ウエハ 1 2 を冷却する構成であってもよい。もちろんミラーホルダ 2 5・レチクルチャック 9・ウエハチャック 1 4 等の保持手段も光学部材の範疇に属し、これら保持手段の冷却を主目的としてこの冷却装置 2 4 を適用しても何ら差し支えない。

【 0 0 6 0 】

また、この露光装置 1 の光源は E U V 光に限られることなく、可視光・紫外光・X 線・電子線等露光可能な光源であればいずれでもよいことはもちろんである。すなわち、E U V 露光装置に限られることなく、E B 露光装置、S R を光源とする等倍露光装置、A r F や F 2 レーザを光源とする露光装置についても本発明は適用可能である。さらに、この露光装置 1 の露光方式も本実施の形態にて説明したような走査露光方式（ステップ・アンド・スキャンタイプ）に限られず、ステップ・アンド・リピートタイプの露光方式であってももちろんよい。

【 0 0 6 1 】

また、冷媒 27 として所定温度で液相と気相との間で相変化可能なエタノールを用いたが、所定温度で固相と液相との間で相変化する冷媒を用い、その融解熱を利用して冷却を行うものであってももちろんよい。

【0062】

[実施例]

図 7 に、本実施の形態 1 において露光装置 1 で露光を行いつつ反射ミラー 3 a の冷却を行った際の結果を示す。図に示すように、露光が開始されると反射ミラー 3 a の温度は若干上昇するものの、蓄熱体 26 内のエタノールの蒸発が生じて蓄熱体 26 の温度が所定の温度範囲内に保たれるため、反射ミラー 3 a の温度は再びその後一定温度となる。

【0063】

また、露光が開始されると、その熱によりエタノールが蒸発を生じるが、バルブ制御装置 30 によってバルブ 29 が閉じられて冷却水の通水が停止されているので、ベローズ 32 の容積は図に示すように階段状に増加していく。露光が終了すると冷却水が通水されて蓄熱体 26 の冷却が開始され、蒸発したエタノールが液体に戻り、ベローズ 32 の容積は初期状態へと戻る。

【0064】

図 7 に示すように、この実施の形態 1 の構成によれば、露光時に反射ミラー 3 a の熱を蓄熱体 26 に蓄熱し、非露光時に蓄熱体 26 を冷却するようにしたので、露光時に反射ミラー 3 a に振動、位置安定性、形状安定性に影響するような外乱を与えずに、その温度上昇を所定範囲内に抑えることができ、より高精度な露光が可能となることがわかる。

【0065】

[実施の形態 2]

図 8 に、本発明の実施の形態 2 に係る光学部材の冷却方法を用いた露光装置の反射ミラー近傍を拡大した図を示す。なお、実施の形態 1 と同様の構成については、同様の引用符号を付し、その説明を省略する。

【0066】

図 8 において、引用符号 19 は反射ミラー 3 a の表面温度を計測する温度センサ（温度計測手段）である。この温度センサ 19 によって反射ミラー 3 a の温度計測を行いながら、その温度が一定となるようにベローズ 32 の容積を制御する。密閉空間 26 a 内の圧力を下げることにより冷媒 27 の沸点が下がり、冷媒 27 はより多く蒸発ようになる。それにより、冷媒 27 の温度を低下させることができる。また、ベローズ 32 の容積を増加させることにより密閉空間 26 a 内の気体（すなわち冷媒 27 がガス化したもの）が断熱膨張し、気体の温度も低下させることができる。

【0067】

一方、同様の理由から、密閉空間 26 a 内の圧力を上昇させることにより蓄熱体 26 の温度を上昇させることも可能である。密閉空間 26 a の圧力を制御することにより冷媒 27 の温度制御が可能となり、ひいては反射ミラー 3 a の温度制御が可能となる。この実施の形態 2 の構成によれば、反射ミラー 3 a の温度計測結果に基づきつつ密閉空間 26 a の圧力を制御することにより、振動・位置安定性の悪化・面形状の劣化等の外乱を露光に影響させずに反射ミラー 3 a を効率よくかつ十分に冷却することができる。その結果、高精度に回路パターンを露光転写することができてウエハ 12 の不良率を低減し、また高性能のウエハ 12 を作成することができる。

【0068】

[実施の形態 3]

図 9 に、本発明の実施の形態 3 に係る光学部材の冷却方法を用いた露光装置の反射ミラー近傍を拡大した図を示す。なお、実施の形態 1 と同様の構成については、同様の引用符号を付し、その説明を省略する。

【0069】

図 9 において、引用符号 11 a はペルチェ素子であり、引用符号 11 b はペルチェ素子を温度制御するペルチェ制御装置（駆動手段）である。この構成においては、露光時には

温度センサ 1 9 の計測値に基づきつつペルチェ制御装置 1 1 b がペルチェ素子 1 1 a の駆動制御を行って反射ミラー 3 a を冷却し、反射ミラー 3 a の温度上昇が所定範囲内となるようにされている。ペルチェ素子 1 1 a の排熱は蓄熱体 2 6 に蓄積されるようになっている。その他の構成及び動作については、実施の形態 1 と略同様である。

【 0 0 7 0 】

この構成によれば、反射ミラー 3 a に温度センサ 1 9 とペルチェ素子 1 1 a とを設け、温度センサ 1 9 の計測値に基づきつつペルチェ素子 1 1 a の駆動制御を行うことにより、振動・位置安定性の悪化・面形状の劣化等の外乱を露光に影響させずに反射ミラー 3 a を効率よくかつ十分に冷却することができる。その結果、高精度に回路パターンを露光転写することができてウエハ 1 2 の不良率を低減し、また高性能のウエハ 1 2 を作成することが

10

【 0 0 7 1 】

[実施の形態 4]

図 1 0 に、本発明の実施の形態 4 に係る光学部材の冷却方法を用いた露光装置のウエハ近傍を拡大した図を示す。なお、実施の形態 1 と同様の構成については、同様の引用符号を付し、その説明を省略する。本実施の形態 4 は、この発明をウエハの冷却に適用したものである。

【 0 0 7 2 】

図 1 0 において、引用符号 1 2 はウエハ、引用符号 1 4 はウエハチャック、引用符号 1 3 はウエハチャック 1 4 を載置し、図示しない駆動手段により走査駆動されるウエハステージである。冷却プレート 3 5 は、ウエハステージ 1 3 の走査移動経路中であってウエハ 1 2 を交換する際にウエハステージ 1 3 が停止する位置に対応して設けられ、ウエハ 1 2 の交換時にはウエハステージ 1 3 と接触するようになっている。冷却プレート 3 5 内には冷却水が通水されている。蓄熱体 2 6 はウエハステージ 1 3 に設けられており、ウエハ 1 2 の交換時には冷却プレート 3 5 と接触するようになっている。

20

【 0 0 7 3 】

露光中は E U V 光 2 e の吸収による熱が蓄熱体 2 6 に蓄積され、ウエハ 1 2 の温度が所定温度範囲内となるように制御されている。露光が終了し非露光時となると、ウエハ 1 2 交換のためにウエハステージ 1 3 が移動し、冷却プレート 3 5 と接触する位置で停止する。このとき冷却プレート 3 5 によって蓄熱体 2 6 が冷却され、蓄熱体 2 6 の温度を低下させる。この実施の形態 4 における蓄熱方法、冷媒 2 7 が充填された密閉空間 2 6 a の圧力制御、ウエハ 1 2 やウエハチャック 1 4 の温度制御等については、実施の形態 1 ~ 3 に記載のいずれの方法を適用することも可能である。

30

【 0 0 7 4 】

この構成によれば、ウエハステージ 1 3 にウエハ 1 2 やウエハチャック 1 4 の熱を蓄積する蓄熱体 2 6 を設けて露光時に生じる熱を蓄積し、ウエハ 1 2 の交換時にウエハステージ 1 3 及び蓄熱体 2 6 が冷却プレート 3 5 と接触して蓄熱体 2 6 を冷却するので、振動・位置安定性の悪化・面形状の劣化等の外乱を露光に影響させずに反射ミラー 3 a を効率よくかつ十分に冷却することができる。その結果、高精度に回路パターンを露光転写することができてウエハ 1 2 の不良率を低減し、また高性能のウエハ 1 2 を作成することができ

40

【 0 0 7 5 】

以上、本発明の好ましい実施の形態を説明したが、本発明はこれらに限定されるものではなく、その要旨の範囲内で様々な変形や変更が可能である。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 7 6 】

【 図 1 】 本発明の実施の形態 1 に係る光学部材の冷却方法を用いた露光装置の露光部全体の構成を模式的に示す概略図である。

【 図 2 】 図 1 に示す露光装置のレチクル周辺とウエハ周辺とを模式的に示す図である。

【 図 3 】 図 1 に示す露光装置に用いられるミラー近傍を拡大して示した図である。

50

【図４】走査露光において、冷却装置によるミラーの冷却行われる様子を説明する図であって、（a）は、ミラーに光が照射されていない状態（非露光時）における冷却装置の動作を示し、（b）は、ミラーに光が照射されている状態（露光時）における冷却装置の動作を示す。

【図５】図１に示す露光装置による露光工程を有するデバイス製造方法を説明するためのフローチャートである。

【図６】図５に示すステップ４の詳細なフローチャートである。

【図７】実施の形態１において露光装置で露光を行いつつミラーの冷却を行った際のミラー温度、ベローズ容積の変化を示した図である。

【図８】本発明の実施の形態２に係る光学部材の冷却方法を用いた露光装置の反射ミラー近傍を拡大した図である。

10

【図９】本発明の実施の形態３に係る光学部材の冷却方法を用いた露光装置の反射ミラー近傍を拡大した図である。

【図１０】本発明の実施の形態４に係る光学部材の冷却方法を用いた露光装置のウエハ近傍を拡大した図である。

【図１１】従来の光学部材の冷却方法を用いた水冷ウエハステージの概略図である。

【図１２】従来の光学部材の冷却方法を用いた水冷ミラーの概略図である。

【符号の説明】

【００７７】

１：露光装置

20

２e：ＥＵＶ光（露光光源光）

３a：反射ミラー（光学部材）

４：反射型レチクル

５：レチクルステージ

６a，６b，６c，６d：ミラー

９：レチクルチャック

１１a；ペルチェ素子

１１b：ペルチェ制御装置（駆動手段）

１２：ウエハ（被処理体）

１３：ウエハ微動ステージ

30

１４：ウエハチャック（保持手段）

１９：温度センサ（温度計測手段）

２４：冷却装置

２５：ミラーホルダ（保持手段）

２６：蓄熱体

２６a：密閉空間

２７：冷媒

２８：冷却配管（補助冷却手段の一部）

３０：バルブ制御装置（補助冷却手段制御装置）

３１：圧力計（圧力計測手段）

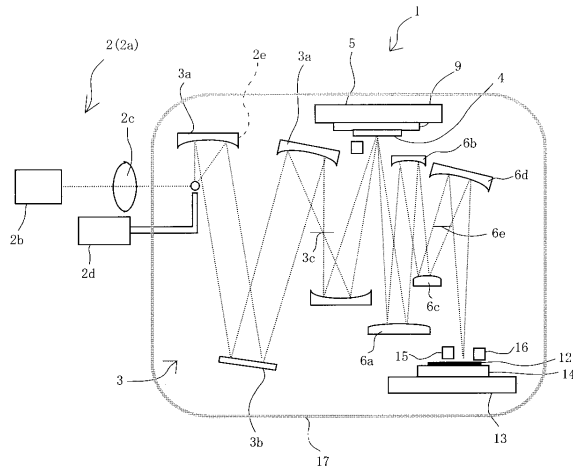
40

３２：ベローズ

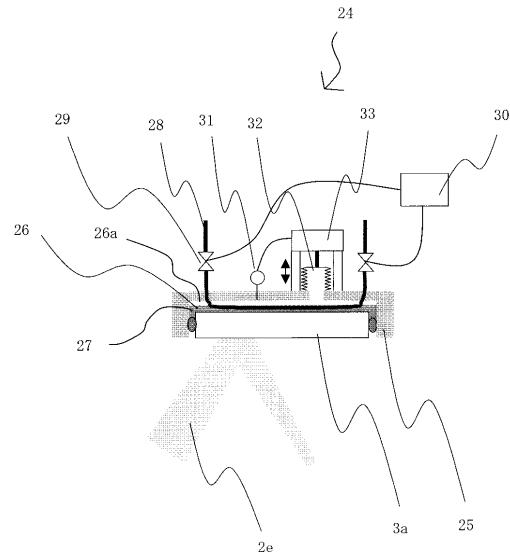
３３：ベローズ制御手段

３５：冷却プレート

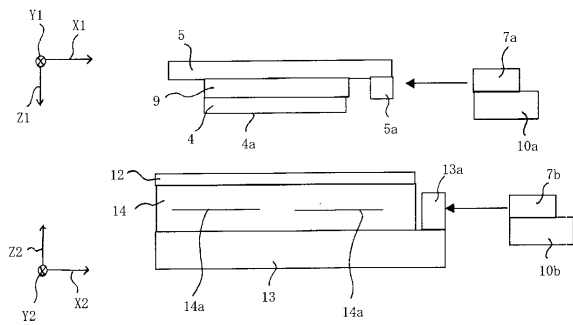
【図 1】



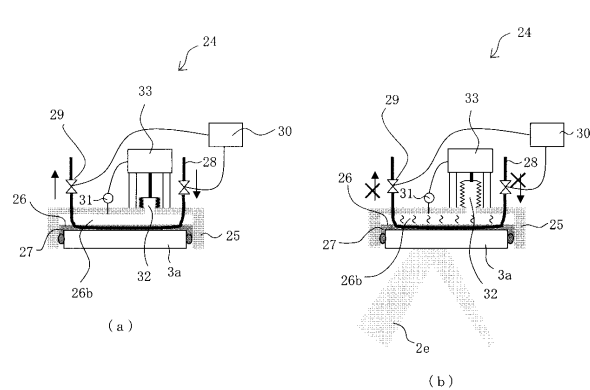
【図 3】



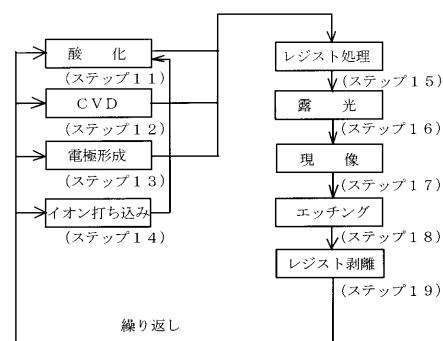
【図 2】



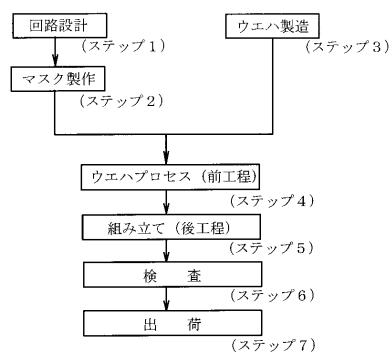
【図 4】



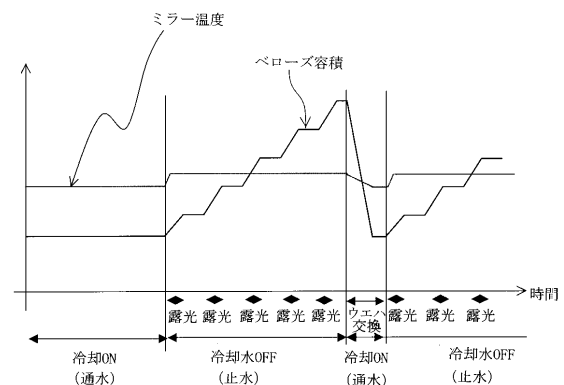
【図 6】



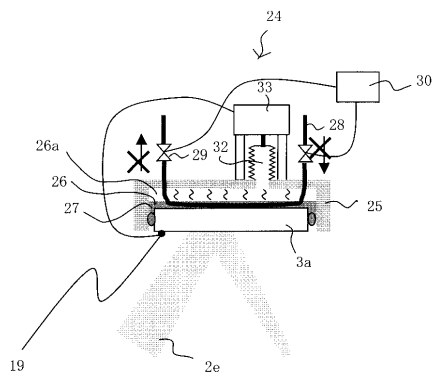
【図 5】



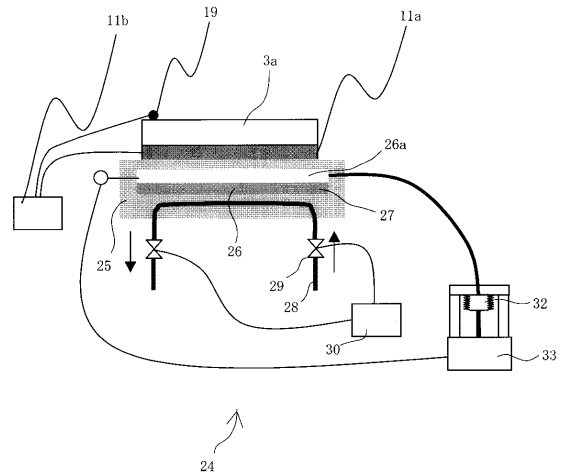
【図 7】



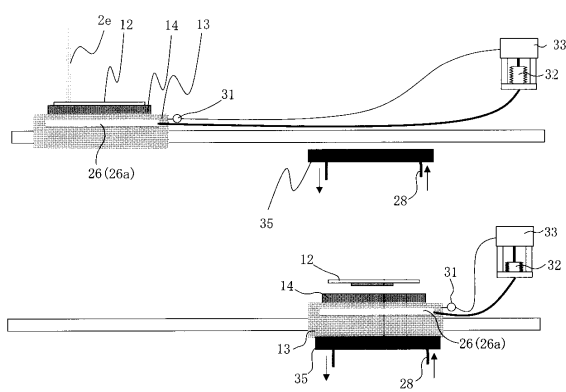
【図 8】



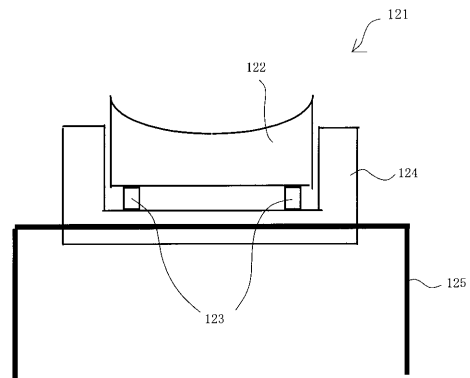
【図 9】



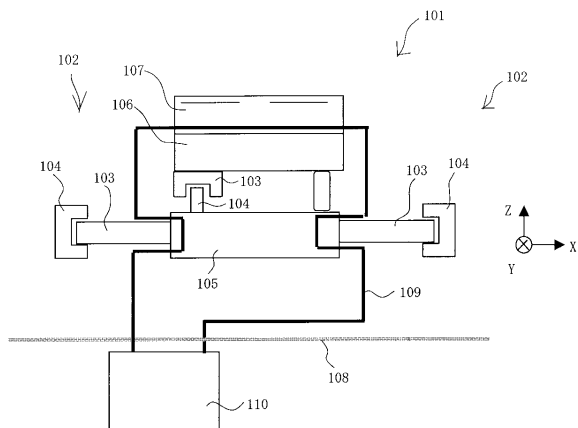
【図 10】



【図 12】



【図 11】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平03-091916(JP,A)
特開平04-085918(JP,A)
特開平04-168716(JP,A)
特開平10-125592(JP,A)
特開平11-243052(JP,A)
特開2000-048750(JP,A)
特開2000-243684(JP,A)
特開2001-013297(JP,A)
特開2003-068600(JP,A)
特開2003-068626(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027
G03F 7/20 - 7/24