

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2010年9月2日(02.09.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/098299 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 7/02 (2006.01) G03F 7/20 (2006.01)
H01L 21/30 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/052687
- (22) 国際出願日: 2010年2月23日(23.02.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2009-041575 2009年2月24日(24.02.2009) JP
特願 2009-041871 2009年2月25日(25.02.2009) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン(NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区有楽町1丁目12番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 高瀬 洋平(TAKASE Yohei) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区有楽町1丁目12番1号 株式会社ニコン知的財産本部内 Tokyo (JP). 増川 孝志(MASUKAWA Takashi) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代

田区有楽町1丁目12番1号 株式会社ニコン 知的財産本部内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 大森 聡(OMORI Satoshi); 〒2140014 神奈川県川崎市多摩区登戸2075番2-501 大森特許事務所 Kanagawa (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

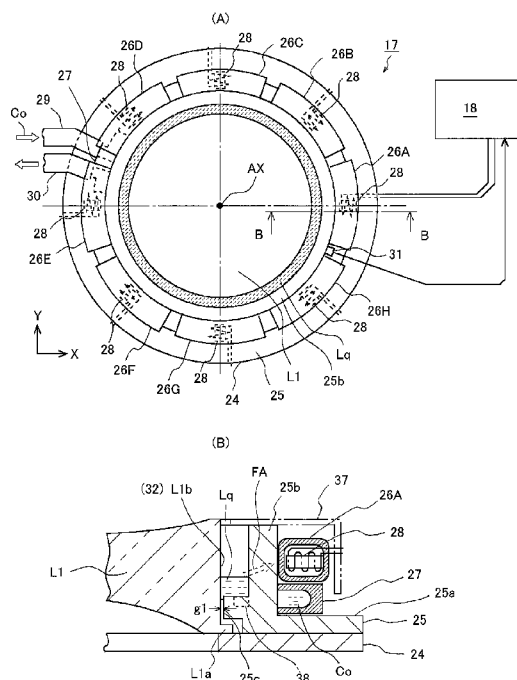
(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL ELEMENT RETAINING DEVICE, OPTICAL SYSTEM, AND EXPOSURE DEVICE

(54) 発明の名称: 光学素子の保持装置、光学系、及び露光装置

[図2]



(57) Abstract: Disclosed is a retaining device for an optical element with which the non-rotationally symmetric temperature distribution of a lens and other optical elements can be approached the rotationally symmetric distribution without radiating a beam of light for temperature control. This retaining device (17) retains a lens (L1) in a projection optical system, and is equipped with: a supporting plate (24) which supports the lens (L1); a liquid-retaining plate (25) which retains a magnetic fluid (Lq) which contacts at least some regions of the surface of the lens (L1); and multiple fluid control units (26A-26H) which contain electromagnets (28) which control the distribution of the magnetic fluid (Lq) retained by the liquid-retaining plate (25).

(57) 要約: 温度制御用の光束を照射することなく、レンズ等の光学素子の非回転対称な温度分布を回転対称な分布に近付けることが可能な光学素子の保持装置である。投影光学系内のレンズL1を保持する保持装置17であって、レンズL1を支持する支持板24と、レンズL1の表面の少なくとも一部の領域に接触する磁性流体Lqを保持する液体保持板25と、液体保持板25で保持された磁性流体Lqの分布を制御する電磁石28を含む複数の流体制御部26A~26Hと、を備える。

WO 2010/098299 A1



CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, 添付公開書類:
TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：光学素子の保持装置、光学系、及び露光装置

技術分野

[0001] 本発明は、光学素子の保持装置に関し、特に光学素子の温度分布を制御する機構を備えた保持装置に関する。さらに本発明は、その保持装置を備える光学系、この光学系を備える露光装置、及びこの露光装置を用いるデバイス製造方法に関する。

背景技術

[0002] 半導体デバイス等の各種デバイスの製造工程中で、レチクルのパターンを投影光学系を介して感光基板上に転写露光するためにステッパやスキャニングステッパ等の露光装置が使用される。この露光装置は、投影光学系の結像特性を所定の状態に維持するために、所定のレンズの位置及び傾斜角を調整する結像特性補正機構が備えられている。従来の結像特性補正機構によって補正できる結像特性は、歪曲収差や倍率等の回転対称の低い次数の収差成分である。

[0003] これに対して近年の露光装置では、例えば所定の周期性を持つパターンを転写する際の解像度を高めるために、2極照明（ダイポール照明）又は4極照明等の、照明光学系の瞳面上での露光光の強度分布を非回転対称とする照明条件が使用されることがある。このような場合に発生する光軸上の非点収差（センターアス）のような非回転対称な収差を低減するために、投影光学系の瞳面近傍のレンズに対して、温度分布を回転対称に近付けるように非露光光を照射するようにした結像特性補正機構が提案されている（例えば、特許文献1参照）。

特許文献1：国際公開第2005/022614号パンフレット

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 従来の非露光光を照射する方式の結像特性補正機構は構造が複雑である。

さらに、この構造では、投影光学系が全体として大型化するとともに、例えば投影光学系内で他のレンズに近接して配置されているレンズにその補正機構を装着することは困難であった。

また、従来の露光装置の投影光学系には、露光光の照射によるレンズ等の光学素子の温度上昇を抑制するために、光学素子の支持部材に液体（冷媒）を供給するヒートシンクを装着した冷却機構を備えたものもある。しかしながら、一般に光学素子は複数点で支持部材に支持されており、光学素子と支持部材との接触面積は小さく、かつ空気層はほぼ断熱層として作用するため、従来の冷却機構を用いて光学素子の温度分布を制御することは困難であった。

[0005] 本発明はこのような課題に鑑み、温度制御用の光束、又は本来の照明光以外の光束を照射することなく、光学素子の非回転対称な温度分布を回転対称な分布に近付けることを可能にすることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の第1の態様によれば、光学素子の保持装置が提供される。この保持装置は、その光学素子を支持する支持部材と、その光学素子の表面の少なくとも一部の領域に接触する磁性体又は金属を含む流体を保持する流体保持部材と、その流体保持部材で保持されたその流体の状態を制御する制御装置と、を備えるものである。

また、本発明の第2の態様によれば、複数の光学素子を含む光学系において、その複数の光学素子の少なくとも一つの光学素子を支持するために、本発明の第1の態様による光学素子の支持装置を備え、その光学系の非回転対称な収差に応じてその制御装置によってその流体の状態を制御する光学系が提供される。

[0007] また、本発明の第3の態様によれば、光学素子の保持装置が提供される。この保持装置は、その光学素子を支持する支持部材と、その光学素子の表面の少なくとも一部に非接触状態で配置され、互いに独立に温度制御される複数の温度制御部材と、その複数の温度制御部材とその光学素子との間に供給

される流体と、を備えるものである。

また、本発明の第４の態様によれば、複数の光学素子を含む光学系において、その複数の光学素子の少なくとも一つの光学素子を支持するために、本発明の第３の態様の光学素子の支持装置を備え、その光学系の非回転対称な収差に応じてその複数の温度制御部材の温度を制御する光学系が提供される。

[0008] また、本発明の第５の態様によれば、露光光でパターンを照明し、その露光光でそのパターン及び投影光学系を介して物体を露光する露光装置において、本発明の光学系を備える露光装置が提供される。

また、本発明の第６の態様によれば、本発明の露光装置を用いて基板上に感光層のパターンを形成することと、そのパターンが形成された基板を処理することと、を含むデバイス製造方法が提供される。

発明の効果

[0009] 本発明の第１の態様の光学素子の保持装置によれば、光学素子の非回転対称な温度分布を抑制するように流体の状態を制御することで、温度制御用の光束を照射することなく、光学素子の温度分布を回転対称な分布に近付けることができる。また、流体を介することによって、流体の状態の変化に高速に追従して光学素子の温度分布を制御できるとともに、その流体のダンピング作用によって外乱による光学素子の振動を抑制できる。

[0010] また、本発明の第３の態様の光学素子の保持装置によれば、光学素子の非回転対称な温度分布を抑制するように複数の温度制御部材の温度を個別に制御することで、本来の照明光以外の光束を照射することなく、光学素子の温度分布を回転対称な分布に近付けることができる。また、その光学素子の表面に対向して配置された複数の温度制御部材から流体を介して広い面積で温度制御することによって、複数の温度制御部材の温度変化に高速に追従して光学素子の温度分布を制御できる。

図面の簡単な説明

[0011] [図１]第１の実施形態の露光装置を示す一部を切り欠いた図である。

[図2] (A) は図 1 中のレンズ L 1 及び保持装置 1 7 の機構部を示す平面図、
(B) は図 2 (A) の B B 線に沿う断面図である。

[図3] (A) は X 方向の L & S パターンを示す拡大図、(B) は図 3 (A) の
パターンに対応する瞳面上の強度分布を示す図である。

[図4] (A) は Y 方向の L & S パターンを示す拡大図、(B) は図 4 (A) の
パターンに対応する瞳面上の強度分布を示す図である。

[図5] 保持装置 1 7 によって制御された磁性流体 L q の分布の一例を示す平面
図である。

[図6] 第 1 の実施形態の変形例を示す平面図である。

[図7] (A) は第 2 の実施形態のレンズ L 1 及び保持装置 1 7 B の機構部を示
す平面図、(B) は図 7 (A) の B B 線に沿う断面図である。

[図8] 保持装置 1 7 B によって制御されたレンズ L 1 の温度分布の一例を示す
平面図である。

[図9] 第 3 の実施形態の露光装置を示す一部を切り欠いた図である。

[図10] 図 9 中のレンズ L 1 及び保持装置 1 7 C の機構部を示す斜視図である
。

[図11] (A) は図 9 中のレンズ L 1 及び保持装置 1 7 C の機構部を示す平面
図、(B) は図 1 1 (A) の A A 線に沿う断面図、(C) は図 1 1 (A) の
B B 線に沿う断面図である。

[図12] 保持装置 1 7 C からカバー部材を外した状態を示す分解斜視図である
。

[図13] 保持装置 1 7 C でレンズ L 1 の温度制御を行う場合を示す平面図であ
る。

[図14] 保持装置 1 7 C の別の動作の説明に供する平面図である。

[図15] 半導体デバイスの製造工程の一例を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0012] [第 1 の実施形態]

以下、本発明の第 1 の実施形態につき図 1 ～図 5 を参照して説明する。本

実施形態は、スキャニングステッパ（スキャナー）よりなる走査露光型の露光装置（投影露光装置）の投影光学系内のレンズを保持するための保持装置に本発明を適用したものである。

図 1 は、本実施形態の露光装置 100 の概略構成を示す。図 1 において、露光装置 100 は、露光光源（不図示）、この露光光源からの露光用の照明光（露光光） I_L でレチクル R（マスク）を照明する照明光学系 4、レチクル R を保持して移動するレチクルステージ RST、レチクル R のパターンの像をレジスト（感光材料）が塗布されたウエハ W（基板）上に投影する投影光学系 PL、及びウエハ W を保持して移動するウエハステージ WST を備えている。さらに露光装置 100 は、ステージの駆動系、投影光学系 PL の結像特性を所定の状態に維持するための制御を行う結像特性制御系 16、この結像特性制御系 16 によって制御される結像特性補正機構、及び装置全体の動作を統括的に制御するコンピュータを含む主制御系 14 等を備えている。

[0013] 露光光源としては、一例として ArF エキシマレーザ（波長 193 nm）が用いられている。なお、露光光源としては、KrF エキシマレーザ（波長 248 nm）、F₂ レーザ（波長 157 nm）のような発振段階で紫外域のレーザ光を放射するもの、固体レーザ光源（YAG 又は半導体レーザ等）からの近赤外域のレーザ光を波長変換して真空紫外域の高調波レーザ光を放射するもの、或いは水銀放電ランプ等も使用できる。

[0014] 照明光学系 4 は、例えば特開 2001-313250 号公報（対応する米国特許出願公開第 2003/0025890 号明細書）などに開示されるように、オプティカルインテグレータ（フライアイレンズ、ロッドインテグレータ、回折光学素子など）等を含む照度均一化光学系、レチクルブラインド（可変視野絞り）、及びコンデンサ光学系等を含んでいる。照明光学系 4 は、レチクルブラインドで規定されたレチクル R 上のスリット状の照明領域を照明光 I_L によりほぼ均一な照度で照明する。また、通常照明、2 極照明、4 極照明、輪帯照明、又はコヒーレンスファクタの小さい小 σ 照明等の照明条件に応じて、照明光学系 4 内の瞳面 5 における照明光 I_L の強度分布が不

図示の設定機構によって、光軸を中心とする円形領域、光軸を挟む２つの円形領域、光軸を挟む４つの円形領域、輪帯状の領域、又は小さい円形領域等でそれぞれ大きい強度となる分布に切り換えられる。

[0015] レチクルRに形成された回路パターン領域のうち、照明光I Lによって照射される部分（パターン）の像は、両側テレセントリック（又はウエハ側に片側テレセントリック）で投影倍率 β が縮小倍率の投影光学系P Lを介してウエハW上の一つのショット領域に結像投影される。一例として、投影光学系P Lの投影倍率 β は $1/4$ 、視野直径は $27 \sim 30$ mm程度である。投影光学系P Lは屈折系であるが、その他に反射屈折系等も使用できる。以下、投影光学系P Lの光軸A Xと平行な方向に沿ってZ軸を取り、Z軸に垂直な面内で図１の紙面に平行な方向にX軸を、図１の紙面に垂直な方向にY軸を取って説明する。この場合、走査露光時にレチクルRとウエハWとが相対走査される方向がY軸に平行な方向（Y方向）である。また、XY平面はほぼ水平面に平行である。なお、X軸、Y軸、及びZ軸の回りの回転（傾斜）方向をそれぞれ θ_x 、 θ_y 、及び θ_z 方向と呼ぶ。

[0016] 先ず、投影光学系P Lの物体面側において、レチクルRを保持するレチクルステージR S Tは、走査露光時にレチクルベース（不図示）上をエアベアリングを介して少なくともY方向に定速移動する。レチクルステージR S Tの移動座標位置（X方向、Y方向の位置、及び θ_z 方向の回転角）は、移動鏡M rとこれに対向して配置されたレーザ干渉計システム１０とで逐次計測され、その移動はリニアモータ等で構成される駆動系１１によって行われる。なお、移動鏡M r、レーザ干渉計システム１０は、実際には少なくともX方向に１軸及びY方向に２軸の３軸のレーザ干渉計を構成している。レーザ干渉計システム１０の計測情報はステージ制御ユニット１５に供給され、ステージ制御ユニット１５はその計測情報及び主制御系１４からの制御情報に基づいて、駆動系１１の動作を制御する。

[0017] 一方、投影光学系P Lの像面側において、ウエハWをウエハホルダ（不図示）を介して保持するウエハステージW S Tは、走査露光時に少なくともY

方向に定速移動できるとともに、X方向及びY方向にステップ移動できるように、エアベアリングを介して不図示のウエハベース上に載置されている。また、ウエハステージWSTの移動座標位置（X方向、Y方向の位置、及び θ_z 方向の回転角）は、投影光学系PL下部の基準鏡Mfと、ウエハステージWST上の移動鏡Mw（鏡面加工された側面でもよい）と、これに対向して配置されたレーザ干渉計システム12とで逐次計測され、その移動はリニアモータ等で構成される駆動系13によって行われる。なお、移動鏡Mw及びレーザ干渉計システム12は、少なくともX方向に1軸及びY方向に2軸の3軸のレーザ干渉計を構成している。また、レーザ干渉計システム12は、実際には更に θ_x 方向、 θ_y 方向の回転角計測用の2軸のレーザ干渉計も備えている。レーザ干渉計システム12の計測情報はステージ制御ユニット15に供給され、ステージ制御ユニット15はその計測情報及び主制御系14からの制御情報に基づいて、駆動系13の動作を制御する。

[0018] また、ウエハステージWSTには、ウエハWのZ方向の位置（フォーカス位置）と、 θ_x 方向及び θ_y 方向の傾斜角とを制御するZレベリング機構も備えられている。そして、例えば斜入射方式の多点のオートフォーカスセンサ（不図示）で計測されるウエハW表面の像面からのデフォーカス量が所定精度内に収まるように、オートフォーカス方式でそのZレベリング機構が駆動される。

[0019] さらに、ウエハWの露光前に予めレチクルRとウエハWとのアライメントを行っておくために、レチクルRの位置を計測するためのレチクルアライメント系（不図示）と、ウエハW上のマークを検出するためのオフアクシス方式のアライメント系19とが設けられている。

そして、図1の露光装置100によるウエハWの露光時には、レチクルRへの照明光ILの照射を開始して、レチクルRのパターンの一部の投影光学系PLを介した像をウエハW上の一つのショット領域に投影しつつ、レチクルステージRSTとウエハステージWSTとを投影光学系PLの投影倍率 β を速度比としてY方向に同期して移動（同期走査）する走査露光動作によっ

て、そのショット領域にレチクルRのパターン像が転写される。その後、照明光I Lの照射を停止して、ウエハステージW S Tを介してウエハWをX方向、Y方向にステップ移動する動作と、上記の走査露光動作とを繰り返すことによって、ステップ・アンド・スキャン方式でウエハW上の全部のショット領域にレチクルRのパターン像が転写される。

[0020] 次に、本実施形態の投影光学系P Lの結像特性補正機構の構成及び動作につき説明する。まず、図1の主制御系1 4は照明条件（照明光学系4の瞳面5上の照明光I Lの強度分布）及び露光時間（積算露光量）の情報を結像特性制御系1 6に供給し、結像特性制御系1 6は、例えば1ロットのウエハの露光中に所定の時間間隔で、その情報を用いて投影光学系P Lの歪曲収差及び倍率等の回転対称な収差の変動量と、センターアス等の非回転対称な収差の変動量とを計算する。また、結像特性補正機構は、回転対称な収差を補正するために、投影光学系P L中の所定のレンズのZ方向の位置及び θ_x 方向、 θ_y 方向の傾斜角を補正する機械的な補正機構（不図示）を備えている。このような結像特性の機械的な補正機構は、例えば特開平4-134813号公報に開示されている。結像特性制御系1 6は、露光中にその所定の時間間隔で、上記の回転対称な収差の変動量が許容範囲内に収まるようにその機械的な補正機構を駆動する。

[0021] また、結像特性補正機構は、非回転対称な収差を補正又は低減するために、投影光学系P L中の瞳面の近傍のレンズL 1を保持する保持装置1 7を備えている。即ち、図1において、投影光学系P Lは、それぞれ複数の光学素子としてのレンズや収差補正板等を収納している円筒状の下部鏡筒2 1及び上部鏡筒2 3と、下部鏡筒2 1に連結されたリング状のフランジ部材2 2と、下部鏡筒2 1と上部鏡筒2 3との間でレンズL 1を保持する保持装置1 7とを備えている。投影光学系P Lのフランジ部材2 2が、コラム機構の一部である支持部材2 0に設けられた開口を覆うように支持部材2 0に載置されている。

[0022] また、保持装置1 7は、下部鏡筒2 1及びフランジ部材2 2の上面に固定

されて、中央に照明光 I_L を通過させる開口が形成された平板状の支持板 24 と、中央にレンズ L_1 が配置される開口が形成されて、支持板 24 上に固定された液体保持板 25 とを備え、支持板 24 によってレンズ L_1 が支持され、液体保持板 25 の外周部に上部鏡筒 23 が固定されている。液体保持板 25 とレンズ L_1 の側面との間に磁性流体 L_q が保持されている。また、下部鏡筒 21 の上部にレンズ L_3 が保持され、上部鏡筒 23 の下部にレンズ L_2 が保持されている。

[0023] 図 2 (A) は、図 1 中のレンズ L_1 及び保持装置 17 の機構部を示す斜視図であり、図 2 (B) は、図 2 (A) の BB 線に沿う断面図である。図 2 (B) において、レンズ L_1 の側面 L_1b の下部に凸部 L_1a が形成され、凸部 L_1a の例えば 3 箇所が支持板 24 によって安定に支持されている。液体保持板 25 は、支持板 24 上に載置される輪帯状の固定部 25a と、固定部 25a の内周側にレンズ L_1 の側面 L_1b から所定間隔を隔てて側面 L_1b を囲むように一端部が設けられた側壁部 25b と、側壁部 25b の他端部（自由端）から離れた位置、すなわち、一端部に設けられ、レンズ L_1 の側面 L_1b に向かって延びる底部 25c とを有する。支持板 24 及び液体保持板 25 の固定部 25a は、複数のボルト（不図示）によって図 1 のフランジ部材 22 に固定されている。

[0024] 液体保持板 25 は、熱伝導率が高く導電性の良好な金属、例えばチタン合金等から形成されている。液体保持板 25 の側壁部 25b とレンズ L_1 の側面 L_1b との間隔は例えば数 mm である。また、液体保持板 25 の側壁部 25b 及び底部 25c と、レンズ L_1 の側面 L_1b との間に磁性流体 L_q が保持されている。磁性流体 L_q は、例えばテフロン（登録商標）系の液体中に所定量の磁性体の粉末（例えば鉄粉）を混入したものである。この場合、底部 25c と側面 L_1b との間隔 g_1 は、底部 25c と側面 L_1b との間における磁性流体 L_q の表面張力の作用によって、その上の磁性流体 L_q が漏れ出ないような例えば数 μm （例えば $5 \sim 8 \mu m$ 程度）の微小間隔に設定されている。このような構成によって、液体保持板 25 とレンズ L_1 とは非接触

であるにも関わらず、液体保持板 25 とレンズ L1 との間の磁性流体 Lq が支持板 24 側に漏れ出ることが防止されている。

[0025] また、レンズ L1 の側面 L1b の側壁部 25b に対向する部分には、導電性の薄膜（例えば金属の薄膜）及び磁性流体 Lq をはじく撥液性のコーティング膜 32 が形成されている。コーティング膜 32 としては例えばテフロン（登録商標）等の合成樹脂等が使用できる。これによって、磁性流体 Lq は側面 L1b に沿って容易に移動可能である。

図 2（A）に示すように、磁性流体 Lq に磁場を作用させない状態では、レンズ L1 の側面と側壁部 25b との間の全面に磁性流体 Lq が満たされている。この状態での磁性流体 Lq の深さは、一例として、図 2（B）の底部 25c から側壁部 25b の上面（レンズ L1 の上端よりも低く設定されている）までの高さ（最大深さ）の数分の 1 である。その磁性流体 Lq の量は、後述のように、磁性流体 Lq の分布を変えたときに、磁性流体 Lq の部分的な深さの最大値がその最大深さを超えないように設定されている。

[0026] また、液体保持板 25 の隔壁部 25b の外周の底部にリング状のヒートシンク 27 が設けられ、ヒートシンク 27 に対して図 1 の温度制御系 18 から可撓性を持つ供給配管 29 を介して温度制御された冷媒 Co が供給され、ヒートシンク 27 内を流れた冷媒 Co が、可撓性を持つ回収配管 30 を介して温度制御系 18 に回収されている。冷媒 Co 等としては、例えばフッ素系不活性液体などが使用できる。フッ素系不活性液体としては例えばフロリナート（米国スリーエム社の商品名）が使用できる。側壁部 25b には温度センサ 31 が設けられ、温度センサ 31 で計測される温度情報が温度制御系 18 に供給されている。温度制御系 18 は、側壁部 25b の温度の計測値に基づいてヒートシンク 27 に供給される冷媒 Co の温度及び流量を制御する。

[0027] また、液体保持板 25 の側壁部 25b の外周のヒートシンク 27 の上部に、レンズ L1 の中心（光軸 AX）の周りに等角度間隔で 8 個の同じ構造の流体制御部 26A, 26B, 26C, 26D, 26E, 26F, 26G, 26H が固定されている。流体制御部 26A～26H は、それぞれ非磁性体の容

器内に、レンズ L 1 のほぼ中心方向に磁性流体 L q を吸引するための磁場を発生する電磁石 28 を収納したものである。

[0028] 図 2 (B) に示すように、流体制御部 26 A の電磁石 28 は、例えばレンズ L 1 の半径方向に沿って配列された鉄心にコイルを巻回して形成されている。そのコイルに直流電流を流すことによって、側壁部 25 b を隔てて保持されている磁性流体 L q に対して流体制御部 26 A 側に磁場による吸引力 F A が発生し、流体制御部 26 A 側に磁性流体 L q を集めることができる。流体制御部 26 A ~ 26 H 内の電磁石 28 に流れる電流が温度制御系 18 によって個別に制御される。

[0029] なお、図 2 (B) に 2 点鎖線で示すように、磁性流体 L q の上部、及び流体制御部 26 A ~ 26 H の外面を覆うように輪帯状のカバー部材 37 を設けることが好ましい。これによって、流体制御部 26 A ~ 26 H からの放射の影響が軽減される。

図 2 (A) において、レンズ L 1 用の保持装置 17 は、支持板 24、液体保持板 25、液体保持板 25 に設けられたヒートシンク 27、液体保持板 25 の側壁部 25 b を囲むように設けられた電磁石 28 を含む流体制御部 26 A ~ 26 H、側壁部 25 b とレンズ L 1 の側面との間に保持される磁性流体 L q、温度センサ 31、供給配管 29、回収配管 30、及び図 1 の温度制御系 18 を含んで構成されている。温度制御系 18 から流体制御部 26 A ~ 26 H 内の電磁石 28 に選択的に直流電流を供給することによって、流体制御部 26 A ~ 26 H が接する側壁部 25 b に個別に磁性流体 L q を吸引して、レンズ L 1 の側面の磁性流体 L q の分布を制御できる。この場合、ヒートシンク 27 によって側壁部 25 b は一様に冷却されているため、レンズ L 1 の側面で磁性流体 L q の量が多い部分では、磁性流体 L q の量が少ない部分に比べて冷却効果が高くなって温度がより低下する。従って、磁性流体 L q の分布によってレンズ L 1 の温度分布を効率的に制御することができる。

[0030] また、図 1 の結像特性制御系 16 から温度制御系 18 に対して液体保持板 25 の側壁部 25 b の目標温度、及びレンズ L 1 の目標とする温度分布の情

報が供給される。温度制御系 18 は、側壁部 25 b の温度がその目標温度に維持されるようにヒートシンク 27 に供給する冷媒 C o の温度及び流量を制御する。さらに温度制御系 18 は、レンズ L 1 の温度分布がその目標とする温度分布になるように、流体制御部 26 A ~ 26 H の電磁石 28 に流れる直流電流を制御して、磁性流体 L q の分布を制御する。磁性流体 L q は空気に比べて熱伝導率が数倍以上であるため、磁性流体 L q の分布を制御することによって、レンズ L 1 の温度分布を目標とする分布に迅速に設定できる。

[0031] そして、照明光学系 4 の瞳面 5 の強度分布がほぼ回転対称となる通常の照明条件で露光を行う場合には、照明光 I L の照射によるレンズ L 1 の温度上昇を抑制するために、ヒートシンク 27 によって液体保持板 25 の側壁部 25 b の温度は例えばレンズ L 1 の温度よりも低い所定温度に設定される。そして、流体制御部 26 A ~ 26 H 内の電磁石 28 には電流は供給されない。従って、レンズ L 1 の側面の磁性流体 L q の分布は一様となり、レンズ L 1 は回転対称な温度分布で効率的に冷却される。この際に磁性流体 L q は空気に比べて熱伝導率が数倍以上であるため、レンズ L 1 を効率的に冷却できる。従って、保持装置 17 は、レンズ L 1 を支持するとともに、レンズ L 1 を一様に冷却する装置として作用する。

[0032] 次に、保持装置 17 を用いて投影光学系 P L の非回転対称な収差（例えばセンターアス）を補正又は低減する動作の一例につき説明する。この場合、レチクル R 上に図 3（A）の拡大図で示すように、主に X 方向に微細ピッチで配列されたライン・アンド・スペースパターン（以下、L & S パターンと言う。）33 V が形成されているときには、照明条件として、照明光学系 4 の瞳面 5 における照明光 I L の強度分布が図 3（B）の X 方向（レチクル R 上の X 方向に対応する方向）に離れた 2 つの領域 34 で大きくなる X 方向の 2 極照明が使用される。

[0033] 一方、レチクル R 上に図 4（A）の拡大図で示すように、主に Y 方向に微細ピッチで配列された L & S パターン 33 H が形成されているときには、照明条件として、瞳面 5 における照明光 I L の強度分布が図 4（B）の Y 方向

に離れた2つの領域36Yで大きくなるY方向の2極照明が使用される。これらの場合には、投影光学系PL上の瞳面の近傍のレンズL1等では、照明光ILの強度分布が非回転対称になるため、センターアス等の非回転対称な収差が発生する。

[0034] 例えば図3(B)のX方向の2極照明が使用される場合には、図5に示すように、保持装置17で保持されるレンズL1において、光軸AXをX方向に対称に挟むように配列される2つのほぼ円形の領域34Pで照明光ILの強度が大きくなり、領域34P及びこの近傍の温度が上昇する。そこで、一例として、図1の結像特性制御系16は、レンズL1内で領域34P及びこの近傍の領域の上昇後の平均的な温度 T_1 と、それ以外の領域の平均的な温度 T_2 ($T_2 < T_1$) とを予測(計算)する。この場合、ヒートシンク27の温度は温度 T_2 よりも低く設定されている。そこで、結像特性制御系16は、その2つの温度の差 ΔT ($= T_1 - T_2$) が所定の許容値を超えたときに、温度制御系18に対して、図5のレンズL1の2つの領域34P及びこの近傍の領域の温度を低下させるように制御情報を供給する。

[0035] これに応じて温度制御系18は、2つの領域34Pに近いレンズL1の側面に対向している2つの流体制御部26A及び26Eに磁場による吸引力を発生させる。この結果、2つの領域34Pに近いレンズL1の側面の領域38A及び38Eに磁性流体Lqが集まり、領域38A、38Bにおける熱伝導率がその他の領域の熱伝導率よりも数倍に高まるため、レンズL1の2つの領域34Pを囲む領域35A及び35Eの温度がその他の領域の温度よりも低下して、レンズL1の温度分布は回転対称に近くなる。

[0036] この場合、レンズL1の温度分布がほぼ回転対称になったと予測された時点で、流体制御部26A、26Eによる吸引力の発生を停止させて、磁性流体Lqの分布を図2(A)のような回転対称な分布に戻す。その後、レンズL1の上記の温度の差 ΔT の計算値がその許容値を超えたときに、磁性流体Lqの分布を図5のように変化させるという動作が繰り返される。この結果、レンズL1の温度分布は、ほぼ回転対称な分布に維持されるため、投影光

学系PLの非回転対称な収差が減少する。

[0037] なお、図5における磁性流体Lqの分布は、磁性流体Lqの全部がレンズL1の側面の2つの領域38A、38Eに集まる必要はなく、領域38A、38Bにおける磁性流体Lqの平均的な深さ（量）がその他の領域にある磁性流体Lqの平均的な深さ（量）よりも大きくなるだけでもよい。また、図5の場合には、レンズL1をX方向に挟む2つの流体制御部26A及び26Eから磁性流体Lqに対して強い吸引力を発生し、それらに隣接する流体制御部26B、26H及び26D、26Fからも磁性流体Lqに対して弱い吸引力を発生してもよい。

[0038] 一方、図4（B）のY方向の2極照明が使用される場合には、図5のレンズL1において、光軸AXをY方向に対称に挟むように配列される2つのほぼ円形の領域（不図示）で照明光ILの強度が大きくなり、これらの領域の温度が上昇する。そこで、一例としてレンズL1をY方向に挟む1対の流体制御部26C、26Gから磁性流体Lqに対する吸引力を発生させて、レンズL1のY方向の側面に磁性流体Lqを集める。この結果、レンズL1内でY方向の両端部の領域の温度が低下して、レンズL1の温度分布は回転対称に近づくため、非回転対称な収差が減少する。なお、この場合にも、さらに流体制御部26C、26Gに隣接する流体制御部26B、26D及び26F、26Hからも磁性流体Lqに対して弱い吸引力を発生させてもよい。

[0039] 上述のように、2極照明のように、照明光学系の瞳面における照明光ILの強度分布が非回転対称となる照明条件を用いる場合には、保持装置17は、レンズL1を保持するとともに、レンズL1の温度分布を回転対称な分布に近付けて、投影光学系PLの非回転対称な収差を低減する結像特性補正機構としても作用する。従って、投影光学系PLの結像特性が目標とする状態に維持されるため、レチクルRの種々のパターンを常に高精度にウエハW上に転写できる。

[0040] 本実施形態の作用効果等は以下の通りである。

（1）本実施形態のレンズL1の保持装置17は、レンズL1を支持する

支持板 24 と、レンズ L1 の側面の少なくとも一部に接触する磁性流体 Lq を保持する液体保持板 25 と、液体保持板 25 で保持された磁性流体 Lq の状態として、レンズ L1 の表面に関して、磁性流体 Lq が接触する領域の分布を制御する流体制御部 26A ~ 26H と、を備えている。

[0041] この実施形態によれば、流体制御部 26A ~ 26H による磁性流体 Lq に対する吸引力を制御して、レンズ L1 の非回転対称な温度分布を抑制するようにレンズ L1 の側面の磁性流体 Lq の分布を制御することで、温度制御用の光束を照射することなく、レンズ L1 の温度分布を回転対称な分布に近づけることができる。また、空気よりも熱伝導率の高い磁性流体 Lq を介することによって、磁性流体 Lq の分布の変化に高速に追従してレンズ L1 の温度分布を制御できるとともに、磁性流体 Lq のダンピング作用によって外乱によるレンズ L1 の振動を抑制できる。さらに、レンズ L1 が他のレンズに近接して配置されていても、容易に保持装置 17 を設置できる。

[0042] (2) また、レンズ L1 の表面に関して、磁性流体 Lq が接触する領域（接触面積）の分布は、複数の流体制御部 26A ~ 26H の電磁石 28 によって容易に制御可能である。

(3) また、液体保持板 25 に設けられ、温度制御された冷媒 Co が供給されるヒートシンク 27（配管部材）を備えている。従って、ヒートシンク 27 の温度によってレンズ L1 の平均的な温度を容易に制御できる。

[0043] (4) また、液体保持板 25 の磁性流体 Lq が保持される部分の底部 25c とレンズ L1 の側面との間隔 g1 は、磁性流体 Lq が漏洩しない微小間隔に設定されている。従って、液体保持板 25 とレンズ L1 とが非接触であっても、その間に磁性流体 Lq を安定に保持できるとともに、磁性流体 Lq のダンピング効果によって外乱の影響が軽減される。

(5) なお、図 2 (B) に点線で示すように、例えば液体保持板 25 の磁性流体 Lq が保持される部分の底部 25c の上面に、磁性流体 Lq を +Z 方向に常時弱い力で吸引して保持するための永久磁石 38（発磁体）を設けてもよい。これによって、レンズ L1 と液体保持板 25 との間の間隔を広げる

ことが可能になる。

[0044] (6) また、液体保持板 25 は支持板 24 上に重ねられているため、保持装置 17 の機構部を容易に組み立てることができる。なお、例えばレンズ L1 の凸部 L1a がいない場合には、支持板 24 と液体保持板 25 とを一体の部材とすることも可能である。これによって、保持装置 17 の機構を簡素化できる。

(7) また、本実施形態の投影光学系 PL は、複数のレンズ L1 ~ L3 を含む光学系において、レンズ L1 を支持するために保持装置 17 を備え、投影光学系 PL の非回転対称な収差を補正又は低減するように（その収差に応じて）、流体制御部 26A ~ 26H によって磁性流体 Lq の状態である分布を制御する。従って、温度制御用の光束を照射することなく、投影光学系 PL の非回転対称な収差を補正又は低減できる。

[0045] また、保持装置 17 は、レンズ L1 と隣接するレンズ L2, L3 との間隔が狭い場合にも容易に設置できるため、光学系の設計が容易である。

(8) また、本実施形態の露光装置 100 は、保持装置 17 を備えた投影光学系 PL を備えている。従って、露光を継続した場合でも、常に高精度にレチクル R のパターンの像をウエハ上に露光できる。

[0046] なお、上記の実施形態においては以下のような変形が可能である。

(1) 上記の実施形態では、レンズ L1 と液体保持板 25 との間に磁性流体 Lq を保持しているが、磁性流体 Lq の代わりに常温で液体になる例えばガリウム (Ga) のような金属液体（液体金属）を保持することも可能である。金属液体も熱伝導率が高いため、レンズ L1 を効率的に冷却できる。さらに、金属液体の分布を制御するためには、一例として、レンズ L1 の側面に等角度間隔で複数の上下動可能な中空のロッドを配置し、これらのロッドの金属液体に対する深さを個別に制御してもよい。

[0047] (2) また、上記の実施形態では、液体保持板 25 に密着したヒートシンク 27 に温度制御された冷媒を供給しているが、その代わりに液体保持板 25 にペルチエ素子のような温度制御素子（冷却素子）を固定して、これらの

温度制御素子を介して液体保持板 25 を冷却してもよい。

(3) また、上記の実施形態では液体保持板 25 の温度のみを温度センサ 31 を介して計測しているが、レンズ L1 の側面の流体制御部 26A~26H に対向する位置にそれぞれ温度センサを固定して、温度制御系 18 がレンズ L1 の温度分布を直接計測できるようにしてもよい。これによって、レンズ L1 の温度分布をより高精度に制御できる。

[0048] (4) 磁性流体 Lq は、レンズ L1 の側面に保持されているが、レンズ L1 の側面の近傍の表面又は裏面にも接触するように磁性流体 Lq を保持してもよい。また、例えばレンズ L1 の外周部が薄いような場合には、その外周部（側面、並びに上面及び裏面の端部）に接触するように磁性流体 Lq を保持してもよい。

(5) また、レンズ L1 の周囲の電磁石 28 を含む流体制御部 26A~26H の個数は複数であればよく、例えばレンズ L1 を X 方向及び Y 方向に挟む流体制御部 26A, 26E 及び 26C, 26G のみを設けてもよい。これによって、X 方向及び Y 方向の 2 極照明時にレンズ L1 の温度分布を回転対称に近付けることが可能である。

[0049] また、2 極照明時に発生する非回転対称な収差を 2θ 収差とすると、瞳面上で光軸の周りにほぼ 120° 間隔で設定される領域で照明光の強度が大きくなる照明条件を使用する場合、又はレチクル R のパターン密度にほぼ $1/3$ 回転周期の周期性がある場合等には、 $1/3$ 回転周期の非回転対称な収差である 3θ 収差が発生する。このような 2θ 収差及び 3θ 収差の両方を高精度に補正するためには、図 6 の保持装置 17A で示すように、流体制御部 26A~26L の個数を例えば 12 個 ($=4 \times 3$ 個) とすればよい。この場合、 2θ 収差を補正するためには、X 方向の流体制御部 26A, 26G 又は Y 方向の 26D, 26J によって磁性流体 Lq を吸引すればよい。

[0050] 一方、図 6 の保持装置 17A において、例えば 120° 間隔で配置されている 3 個の流体制御部 26B, 26F, 26J によって磁性流体 Lq に対する吸引力を発生して、磁性流体 Lq の分布をレンズ L1 の側面に 120° 間

隔で配置される領域 38 A, 38 F, 38 J で高めることによって、領域 38 A ~ 38 J に接するレンズ L 1 の領域 35 B, 35 F, 35 J の温度を低下させることができる。これによって、レンズ L 1 の 3 θ 収差が変化するため、既に発生している 3 θ 収差を相殺するように磁性流体 L q の分布を制御することで、3 θ 収差を低減できる。

[0051] (6) また、保持装置 17 はレンズ L 1 を保持するために設けられているが、レンズ L 1 の近傍のレンズ L 2 及び／又は L 3 等に対しても保持装置 17 と同様の温度制御機構を備えた保持装置を設けてもよい。これによって、投影光学系 PL の結像特性をより高精度に補正できる。

(7) また、投影光学系 PL が反射屈折系であるような場合には、その中のミラーの温度制御を行うために保持装置 17 を使用してもよい。

[0052] [第 2 の実施形態]

次に、本発明の第 2 の実施形態につき図 7 及び図 8 を参照して説明する。本実施形態も図 1 の露光装置 100 の投影光学系 PL 内のレンズ L 1 を保持するための保持装置に本発明を適用したものである。図 7 及び図 8 において図 1、図 2 (A)、及び図 2 (B) に対応する部分には同一の符号を付してその詳細な説明を省略する。

[0053] 図 7 (A) は、本実施形態の保持装置 17 B でレンズ L 1 を保持した状態を示す平面図、図 7 (B) は、図 7 (A) の BB 線に沿う断面図である。図 7 (B) において、レンズ L 1 を囲むように液体保持板 25 の側壁部 25 b 及び底部 25 c が配置され、レンズ L 1 の側面 L 1 b と側壁部 25 b 及び底部 25 c とで囲まれる領域に磁性流体 L q が保持されている。液体保持板 25 はヒートシンク 27 によって冷却されている。側壁部 25 b の外周部に固定された温度センサ 31 I の計測値が目標温度になるように、温度制御系 18 がヒートシンク 27 に供給する冷媒 C o の温度を制御する。

[0054] また、図 7 (A) に示すように、液体保持板 25 の側壁部 25 b の外周面に図 2 (A) の 8 個の流体制御部 26 A ~ 26 H の代わりに 8 個の流体制御部 46 A ~ 46 H が設けられている。さらに、側壁部 25 b の流体制御部 4

6 A ~ 4 6 H の境界に対応する位置に、それぞれ凸の隔壁部 2 5 d が設けられ、隔壁部 2 5 d とレンズ L 1 の側面とに間隔 g 2 が設定されている。この間隔 g 2 は、磁性流体 L q が通過しない、あるいは多少の磁性流体 L q の通過を許容できる微小な隙間である。従って、レンズ L 1 の側面の磁性流体 L q は、レンズ L 1 の側面の流体制御部 4 6 A ~ 4 6 H に対応して独立に配置された 8 個の領域 C A ~ C H に分かれて保持され、領域 C A ~ C H 間での磁性流体 L q は独立しているものとして考えることができる。

[0055] また、図 7 (B) において、流体制御部 4 6 A は、非磁性体の容器内にレンズ L 1 の光軸の方向 (Z 方向) に所定周波数の交番磁界を発生するための電磁石 3 9 を収納したものである。電磁石 3 9 は、Z 方向に平行に配置された鉄心にコイルを巻回したものであり、電磁石 3 9 のコイルに温度制御系 1 8 から必要に応じて交流電流が供給される。この場合、電磁石 3 9 に交流電流を供給すると、発生する交番磁界 B A が流体制御部 4 6 A とレンズ L 1 との間の領域 C A 内の磁性流体 L q 内を Z 方向に通過し、交番磁界 B A によって磁性流体 L q が加熱されるため、磁性流体 L q の温度が上昇する。また、領域 C A 内の磁性流体 L q の温度を計測するための温度センサ 3 1 A が側壁部 2 5 b の内周面に固定され、温度センサ 3 1 A の計測値が温度制御系 1 8 に供給されている。温度制御系 1 8 は、温度センサ 3 1 A で計測される磁性流体 L q の温度が目標温度になるように、流体制御部 4 6 A の電磁石 3 9 に供給される交流電流を制御する。

[0056] 図 7 (A) において、流体制御部 4 6 A と同様に、他の流体制御部 4 6 B ~ 4 6 H もそれぞれ電磁石 3 9 を有し、流体制御部 4 6 B ~ 4 6 H に対応する領域 C B ~ C H 内の磁性流体 L q の温度を計測するための温度センサ (不図示) が側壁部 2 5 b の内周面に固定されている。領域 C B ~ C H 内の磁性流体 L q の温度の計測値が目標温度になるように、温度制御系 1 8 が流体制御部 4 6 B ~ 4 6 H 内の電磁石 3 9 に交流電流を供給する。

[0057] 本実施形態において、例えば図 3 (B) の X 方向の 2 極照明が使用される場合には、図 8 に示すように、保持装置 1 7 B で保持されるレンズ L 1 の光

軸 A X を X 方向に対称に挟むように配列される 2 つのほぼ円形の領域 3 4 P 及びこの近傍の温度が上昇する。そこで、一例として、レンズ L 1 を Y 方向に挟むように配置されている 1 対の流体制御部 4 6 C 及び 4 6 G 内の電磁石 3 9 を交流電流で駆動して、領域 C C 及び C G 内の磁性流体 L q の温度を領域 3 4 P に関して予測される温度（目標温度）程度まで上昇させる。これによって、レンズ L 1 内で 2 つの領域 3 4 P と交差するように配置される 2 つの半円状の領域 3 5 C 及び 3 5 G の温度がほぼ領域 3 4 P の温度まで上昇するため、レンズ L 1 の温度分布が回転対称な分布に近づいて、投影光学系の非回転対称な収差が減少する。

[0058] 同様に、図 4（B）の Y 方向の 2 極照明が使用される場合には、レンズ L 1 を X 方向に挟むように配置されている 2 つの流体制御部 4 6 A 及び 4 6 E 内の電磁石 3 9 を交流電流で駆動して、領域 C A 及び C E 内の磁性流体 L q の温度を上昇させればよい。

本実施形態の作用効果等は以下の通りである。

（1）本実施形態のレンズ L 1 の保持装置 1 7 B は、液体保持板 2 5 で保持された磁性流体 L q の状態として、磁性流体 L q の温度分布を制御する流体制御部 4 6 A ～ 4 6 H（電磁石 3 9）を備えている。従って、流体制御部 4 6 A ～ 4 6 H によって、レンズ L 1 の非回転対称な温度分布を抑制するようにレンズ L 1 の側面の磁性流体 L q の温度分布を制御することで、温度制御用の光束を照射することなく、レンズ L 1 の温度分布を回転対称な分布に近付けることができる。従って、投影光学系 P L の非回転対称な収差を補正又は低減できる。さらに、磁性流体 L q のダンピング作用によって外乱によるレンズ L 1 の振動を抑制できる。

[0059] （2）また、流体制御部 4 6 A ～ 4 6 H の電磁石 3 9 によって磁性流体 L q の温度を制御することによって、レンズ L 1 を取り囲む磁性流体 L q の温度分布を容易に制御できる。

（3）また、図 7（A）において、磁性流体 L q は液体保持板 2 5 の側壁部 2 5 b の内面に隔壁部 2 5 d によって隔てられた 8 個の領域 C A ～ C H に

保持されている。しかしながら、液体保持板 25 をレンズ L1 の光軸 AX の周りに等角度間隔で 8 個の保持板に分割し、各保持板とレンズ L1 の側面との間にそれぞれ磁性流体 Lq を保持するようにしてもよい。これによって、各領域間の断熱性を高めることができる。

(4) 本実施形態においても、磁性流体 Lq の代わりにガリウム等の金属液体を使用可能である。

[0060] [第 3 の実施形態]

次に、本発明の第 3 の実施形態につき図 9 ～図 13 を参照して説明する。本実施形態も図 1 の露光装置 100 と同様の構成の図 9 の露光装置 100 の投影光学系 PL 内のレンズ L1 を保持するための保持装置 17C に本発明を適用したものである。図 9 ～図 13 において、図 1 ～図 8 に対応する部分には同一の符号を付してその詳細な説明を省略する。

[0061] 図 9 は本実施形態の露光装置 100 を示す。図 9 において、露光装置 100 は、投影光学系 PL の結像特性を補正する結像特性補正機構を備え、この結像特性補正機構は、非回転対称な収差を補正又は低減するために、投影光学系 PL 中の瞳面の近傍のレンズ L1 を保持する保持装置 17C を備えている。即ち、投影光学系 PL は、それぞれ複数の光学素子としてのレンズや収差補正板等を収納している円筒状の下部鏡筒 21 及び上部鏡筒 23 と、下部鏡筒 21 に連結されたリング状のフランジ部材 22 と、下部鏡筒 21 と上部鏡筒 23 との間でレンズ L1 を保持する保持装置 17C とを備えている。投影光学系 PL のフランジ部材 22 が、コラム機構の一部である支持部材 20 に設けられた開口を覆うように支持部材 20 に載置されている。

[0062] また、保持装置 17C は、下部鏡筒 21 及びフランジ部材 22 の上面に固定されて、中央に照明光 IL を通過させる開口が形成された平板状の支持板 24 と、中央にレンズ L1 が配置される開口が形成されて、支持板 24 上に固定された液体保持板 125 とを備え、支持板 24 によってレンズ L1 が支持され、液体保持板 125 の外周部に上部鏡筒 23 が固定されている。下部鏡筒 21 の上部にレンズ L3 が保持され、上部鏡筒 23 の下部にレンズ L2

が保持されている。

[0063] 図10は、図9中のレンズL1及び保持装置17Cの機構部を示す斜視図である。図10において、液体保持板125の内周側の上面に円周方向に近接して8個の同じ構造の温度制御部126A, 126B, 126C, 126D, 126E, 126F, 126G, 126Hが形成されている。この場合、レンズL1をX方向及びY方向に非接触で挟むようにそれぞれ1対の温度制御部126A, 126E及び126C, 126Gが配置されている。また、代表的に+X方向の温度制御部126Aは、レンズL1の側面に対向して配置された波状の多数の凸部よりなるフィン部126Aaと、フィン部126Aaを円周方向に挟むように配置された隔壁部126Ab, 126Acとを含み、温度制御部126Aのフィン部126Aa、隔壁部126Ab, 126Ac、液体保持板125及びレンズL1の側面で囲まれた空間内に液体Lqaが保持されている。同様に、温度制御部126B～126HとレンズL1の側面とで囲まれた空間内にもそれぞれ液体Lqb～Lqhが保持されている。液体Lqa～Lqhは好ましくは熱伝導率の良好な液体である。液体Lqa～Lqhとしては、例えば純水（水）又はフッ素系不活性液体等が使用でき、フッ素系不活性液体としては例えばフロリナート（米国スリーエム社の商品名）が使用できる。また、液体Lqa～Lqhとしては、常温で液体となるガリウム（Ga）等の金属液体又は磁性流体等も使用できる。

[0064] また、温度制御部126A～126Hの外周部（フィン部126Aa等の外面）には、それぞれヒートシンク127A, 127B, 127C, 127D, 127E, 127F, 127G, 127Hが固定され、ヒートシンク127A～127Hに対して図9の温度制御系18Cから可撓性を持つ供給配管29A～29Hを介して個別に温度制御された冷媒Coa等が供給され、ヒートシンク127A～127H内を流れた冷媒Coa等が、可撓性を持つ回収配管30A～30Hを介して温度制御系18Cに回収されている。冷媒Coa等としては、例えばフッ素系不活性液体などが使用できる。温度制御部126A～126Hのフィン部126Aa等にそれぞれ温度センサ131

A, 131B, 131C, 131D, 131E, 131F, 131G, 131H (131B~131Eは不図示)が固定され、温度センサ131A~131Hで検出される温度が温度制御系18Cに供給されている。

[0065] 図11(A)は図9のレンズL1及び保持装置17Cの機構部を示す平面図、図11(B)は図11(A)のAA線に沿う断面図、図11(C)は図11(A)のBB線に沿う断面図である。図11(B)に示すように、レンズL1の側面の下部に凸部L1aが形成され、凸部L1aの例えば3箇所が支持板24によって安定に支持されている。支持板24及び液体保持板125は、外周部の多数のねじ穴125aを介してボルト(不図示)によって図9のフランジ部材22に固定される。また、温度制御部126Aのフィン部126Aaは、液体保持板125の上面にすり割り部126Adを隔てて形成され、温度制御部126Aの底面側の隔壁部126AeとレンズL1の側面との間隔g1は、温度制御部126Aの底面側の隔壁部126AeとレンズL1の側面との間における液体Lqaの表面張力の作用によって、その上の液体Lqaが漏れ出ないような例えば数 μm (例えば5~8 μm 程度)の微小間隔に設定されている。また、レンズL1の側面L1bの温度制御部126A~126Hに対向する部分には、液体Lqa~Lqhをはじく撥液性のコーティング膜32が設けられている。コーティング膜32としては例えばテフロン(登録商標)等の合成樹脂等が使用できる。

[0066] さらに、図11(C)に示すように、温度制御部126Bの隔壁部126BbとレンズL1の側面との間隔g2も、温度制御部126Bの隔壁部126BbとレンズL1の側面との間における液体Lqaの表面張力の作用によって、液体Lqbが隣接する温度制御部126A側に漏れ出ないような例えば数 μm (例えば5~8 μm 程度)の微小間隔に設定されている。同様に図11(A)の温度制御部126A, 126C~126Hの隔壁部126Ab等とレンズL1の側面との間隔も、間隔g2と同様に液体が漏れ出ないように設定されている。このような構成によって、温度制御部126A~126HとレンズL1とは非接触であるにも関わらず、温度制御部126A~12

6 HとレンズL 1 との間の液体L q a～L q hが支持板2 4 側に漏れ出ることが防止されている。

- [0067] また、図1 2に示すように、温度制御部1 2 6 A～1 2 6 Hの上面には、液体L q a～L q hを覆うように輪帯状のカバー部材1 3 7が固定される。なお、カバー部材1 3 7は、図9等では省略されている。

図1 0において、レンズL 1 用の保持装置1 7 Cは、支持板2 4、液体保持板1 2 5、液体保持板1 2 5上の温度制御部1 2 6 A～1 2 6 H、ヒートシンク1 2 7 A～1 2 7 H、温度制御部1 2 6 A～1 2 6 HとレンズL 1 の側面との間に保持される液体L q a～L q h、温度センサ1 3 1 A～1 3 1 E、図1 2のカバー部材1 3 7、供給配管2 9 A～2 9 H、回収配管3 0 A～3 0 H、及び図9の温度制御系1 8 Cを含んで構成されている。

- [0068] この場合、温度制御部1 2 6 A～1 2 6 Hの境界部にはそれぞれ所定厚さの空気層よりなる断熱層1 2 8 A～1 2 8 Hが設けられている。この結果、温度制御部1 2 6 A～1 2 6 HとレンズL 1 の側面との間の液体L q a～L q hは互いに漏れ出ないとともに、温度制御部1 2 6 A～1 2 6 Hは互いにほぼ断熱されている。

また、図9の結像特性制御系1 6から温度制御系1 8 Cに対して温度制御部1 2 6 A～1 2 6 Hの目標温度の情報が供給され、温度制御系1 8 Cでは、温度センサ1 3 1 A～1 3 1 Hで検出される温度がその目標温度になるように、ヒートシンク1 2 7 A～1 2 7 H内を流れる冷媒の温度を制御する。また、液体L q a～L q hが保持されているため、温度制御部1 2 6 A～1 2 6 Hに対向するレンズL 1 の側面及びこの近傍の部分の温度は、高い追従速度で対応する温度制御部1 2 6 A～1 2 6 Hとほぼ同じ温度になる。これによって、本実施形態では、温度制御部1 2 6 A～1 2 6 Hと対向するレンズL 1 の部分の温度を、互いに独立に高い追従速度でその目標温度に設定できる。

- [0069] そして、照明光学系4の瞳面5の強度分布がほぼ回転対称となる通常の照明条件で露光を行う場合には、照明光I Lの照射によるレンズL 1 の温度上

昇を抑制するために、温度制御部 1 2 6 A ~ 1 2 6 H の温度は例えばレンズ L 1 の温度よりも低い同一の所定温度に設定される。従って、保持装置 1 7 C は、レンズ L 1 を支持するとともに、レンズ L 1 を冷却する装置として作用する。

[0070] 次に、保持装置 1 7 C を用いて投影光学系 P L の非回転対称な収差（例えばセンターアス）を補正又は低減する動作の一例につき説明する。この場合、レチクル R 上に図 3 (A) の拡大図で示すように、主に X 方向に微細ピッチで配列されたライン・アンド・スペースパターン（以下、L & S パターンと言う。） 3 3 V が形成されているときには、照明条件として、照明光学系 4 の瞳面 5 における照明光 I L の強度分布が図 3 (B) の X 方向（レチクル R 上の X 方向に対応する方向）に離れた 2 つの領域 3 4 で大きくなる X 方向の 2 極照明が使用される。

[0071] 一方、レチクル R 上に図 4 (A) の拡大図で示すように、主に Y 方向に微細ピッチで配列された L & S パターン 3 3 H が形成されているときには、照明条件として、瞳面 5 における照明光 I L の強度分布が図 4 (B) の Y 方向に離れた 2 つの領域 3 6 Y で大きくなる Y 方向の 2 極照明が使用される。これらの場合には、投影光学系 P L 上の瞳面の近傍のレンズ L 1 等では、照明光 I L の強度分布が非回転対称になるため、センターアス等の非回転対称な収差が発生する。

[0072] 例えば図 3 (B) の X 方向の 2 極照明が使用される場合には、図 1 3 に示すように、保持装置 1 7 C で保持されるレンズ L 1 において、光軸を X 方向に対称に挟むように配列される 2 つのほぼ円形の領域 3 4 P で照明光 I L の強度が大きくなり、領域 3 4 P 及びこの近傍の温度が上昇する。そこで、一例として、図 9 の結像特性制御系 1 6 は、レンズ L 1 内で領域 3 4 P の温度 T 1 を予測し、レンズ L 1 の光軸を Y 方向に挟む 1 対の領域の温度もその温度 T 1 となるように、レンズ L 1 を Y 方向に挟む 1 対の温度制御部 1 2 6 C , 1 2 6 G の目標温度を T 1 よりも僅かに高く設定する。この目標温度は温度制御系 1 8 C に設定される。これに応じて、温度制御部 1 2 6 C , 1 2 6

Gに密着したヒートシンク127C, 127G内に供給される冷媒Coc, Ccgの温度が他のヒートシンク127A, 127B, 127D~127F, 127Hに供給される冷媒の温度よりも高くなる。また、温度制御部126A~126HとレンズL1との間には液体Lqa~Lqhが保持されているため、レンズL1の側面及びこの近傍の部分の温度は温度制御部126A~126Hの温度に高速に追従して変化する。この結果、レンズL1内でY方向の両端部の領域35C, 35Gの温度がほぼT1まで上昇して、レンズL1の温度分布が回転対称に近づくため、非回転対称な収差が減少する。

[0073] なお、レンズL1の温度分布をより回転対称にするために、さらにレンズL1の斜め方向に配置されている温度制御部126B, 126D, 126F, 127Hの温度を高く設定してもよい。

一方、図4(B)のY方向の2極照明が使用される場合には、図13のレンズL1において、光軸をY方向に対称に挟むように配列される2つのほぼ円形の領域(不図示)で照明光ILの強度が大きくなり、これらの領域の温度が上昇する。そこで、一例としてレンズL1をX方向に挟む1対の温度制御部126A, 126Eの温度を高く設定する。この結果、レンズL1内でX方向の両端部の領域の温度が上昇して、レンズL1の温度分布は回転対称に近づくため、非回転対称な収差が減少する。なお、この場合にも、さらにレンズL1の斜め方向に配置されている温度制御部126B, 126D, 126F, 127Hの温度を高く設定してもよい。

[0074] 従って、2極照明のように、照明光学系の瞳面における照明光ILの強度分布が非回転対称となる照明条件を用いる場合には、保持装置17Cは、レンズL1を保持するとともに、レンズL1の温度分布を回転対称な分布に近づけて、投影光学系PLの非回転対称な収差を低減する結像特性補正機構としても作用する。従って、投影光学系PLの結像特性が目標とする状態に維持されるため、レチクルRのパターンを常に高精度にウエハW上に転写できる。

[0075] 本実施形態の作用効果等は以下の通りである。

(1) 本実施形態のレンズL1の保持装置17Cは、レンズL1を支持する支持板24と、レンズL1の側面に非接触状態で配置され、互いに独立に温度制御される複数の温度制御部126A～126Hと、これらの温度制御部126A～126HとレンズL1との間に供給（保持）される流体としての液体Lqa～Lqhと、を備えている。

[0076] この実施形態によれば、レンズL1の非回転対称な温度分布を抑制するように温度制御部126A～126Hの温度を個別に制御することで、本来の照明光IL以外の光束を照射することなく、レンズL1の温度分布を回転対称な分布に近付けることができる。また、レンズL1に対向する温度制御部126A～126Hの面積は広いとともに、液体Lqa～Lqhを介することによって、温度制御部126A～126Hの温度変化に個別に高速に追従してレンズL1の温度分布を制御できる。さらに、液体Lqa～Lqhのダンプ作用によって外乱によるレンズL1の振動を抑制できる。また、レンズL1が他のレンズに近接して配置されていても、容易に保持装置17Cを設置できる。

[0077] なお、レンズL1の側面と温度制御部126A～126Hとの間に流体として空気等の気体を供給してもよい。

(2) また、保持装置17Cにおいて、温度制御部126A～126Hは、それぞれレンズL1に対向して配置されるフィン部126Aa等（波形部材）を含み、フィン部126Aa等に設けられて、温度制御された冷媒が供給されるヒートシンク127A～127H（配管部材）を備えている。従って、レンズL1の温度分布を高速に制御できる。

[0078] なお、フィン部126Aa等の中に液体の流路を設け、この流路に直接に温度制御された冷媒を供給してもよい。

(3) また、保持装置17Cは、温度制御部126A～126Hのフィン部126Aa等の温度を計測する温度センサ131A～131Hと、温度センサ131A～131Hの計測結果に基づいてヒートシンク127A～127Hに供給される冷媒の温度を個別に制御する温度制御系18C（冷媒制御

装置)とを備えている。従って、温度制御部126A~126Hの温度、ひいてはレンズL1の温度分布を正確に制御できる。

[0079] (4) また、液体Lqa~Lqhが水であるときには扱いが容易で、かつ液体が廉価である。一方、液体Lqa~Lqhがガリウム等の金属液体である場合には、熱伝導率が高いため、より高速にレンズL1の温度分布を制御できる。

(5) また、液体Lqa~Lqhを封止するためのカバー部材137を備えているため、液体Lqa~Lqhの蒸発又は上部からの漏れ出しを抑制することができる。

[0080] (6) また、温度制御部126A~126HはレンズL1の側面に非接触状態で配置され、温度制御部126A~126Hの液体Lqa~Lqhを囲む隔壁部126Ab, 126Ac, 126Ae等とレンズL1の表面との間隔g1, g2は、液体Lqa~Lqhが漏洩しない間隔に設定されている。従って、温度制御部126A~126HとレンズL1とが非接触であっても、その間に液体Lqa~Lqhを安定に保持できる。

[0081] (7) また、温度制御部126A~126H(フィン部126Aa等)は液体保持板125の上部に形成され、液体保持板125は支持板24とは異なるため、保持装置17Cの機構部を容易に組み立てることができる。

なお、例えばレンズL1の凸部L1aがない場合には、支持板24と液体保持板125(フィン部126Aa)とを一体の部材とすることも可能である。これによって、保持装置17Cの機構を簡素化できる。

[0082] (8) また、本実施形態の投影光学系PLは、複数のレンズL1~L3を含む光学系において、レンズL1を支持するために保持装置17Cを備え、投影光学系PLの非回転対称な収差を補正又は低減するために(その収差に応じて)、複数の温度制御部126A~126Hの温度を制御している。従って、温度制御用の光束を照射することなく投影光学系PLの非回転対称な収差を補正できる。

[0083] また、保持装置17Cは、レンズL1と隣接するレンズL2, L3との間

隔が狭い場合にも容易に設置できるため、光学系の設計が容易である。

(9) また、本実施形態の露光装置 100 は、保持装置 17C を備えた投影光学系 PL を備えている。従って、露光を継続した場合でも、常に高精度にレチクル R のパターンの像をウエハ上に露光できる。

[0084] なお、上記の実施形態においては以下のような変形が可能である。

(1) 上記の実施形態では、図 13 において、レンズ L1 の温度分布を回転対称にするために、照明光 IL が照射される領域 34P の間の領域 35C、35G の温度を上昇させている。しかしながら、その代わりに図 14 に示すように、領域 34P に近い温度制御部 126A、126E の温度を低下させて、領域 34P 及びこの近傍の領域を含む領域 35A 及び 35E の温度を低下させることによって、レンズ L1 の温度分布を回転対称に近づけてもよい。

[0085] (2) また、上記の実施形態では、温度制御部 126A～126H に密着したヒートシンク 127A～127H に温度制御された冷媒を供給しているが、その代わりに温度制御部 126A～126H にそれぞれペルチエ素子のような温度制御素子（冷却素子）を固定して、これらの温度制御素子の温度を直列に冷媒が供給される冷却機構で冷却してもよい。この場合には、個別の温度制御素子の吸熱量等を制御することで、対応する温度制御部 126A～126H の温度を制御できる。

[0086] (3) 温度制御部 126A～126H はレンズ L1 の側面に配置されているが、レンズ L1 の側面の近傍の表面又は裏面に近接させて温度制御部 126A～126H を配置してもよい。さらに、レンズ L1 の側面、並びにこの近傍の表面及び／又は裏面に近接させて温度制御部 126A～126H を配置してもよい。

(4) また、レンズ L1 の周囲の温度制御部 126A～126H の個数は複数であればよく、例えばレンズ L1 を X 方向及び Y 方向に挟む温度制御部 126A、126E 及び 126C、126G のみを設けてもよい。これによって、X 方向及び Y 方向の 2 極照明時にレンズ L1 の温度分布を回転対称に

近付けることが可能である。

[0087] また、2極照明時に発生する非回転対称な収差を 2θ 収差とすると、瞳面上で光軸の周りに 120° 間隔で設定される領域で照明光の強度が大きくなる照明条件を使用する場合には、 $1/3$ 回転周期の非回転対称な収差である 3θ 収差が発生する。このような 2θ 収差及び 3θ 収差の両方を高精度に補正するためには、温度制御部126A等の個数を例えば12個（ $=4 \times 3$ 個）とすればよい。

[0088] （5）また、保持装置17CはレンズL1を保持するために設けられているが、レンズL1の近傍のレンズL2及び／又はL3等に対しても保持装置17Cと同様の温度制御機構を備えた保持装置を設けてもよい。これによって、投影光学系PLの結像特性をより高精度に補正できる。

（6）また、投影光学系PLが反射屈折系であるような場合には、その中のミラーの温度制御を行うために保持装置17Cを使用してもよい。

（7）また、温度制御部126A～126HとレンズL1の側面との間に保持される液体Lqa～Lqhは、液体保持板125に液体の供給口、液体の回収口を設けて、循環させてもよい。この場合、保持される液体の量の常に一定になるように調整することが望ましい。

（8）また、温度制御部126A～126Hは、それぞれフィン部を設ける構成について説明したが、このフィン部を省略することも可能である。例えば、温度制御部126A～126Hのうち、レンズL1に対向する面を平坦な面で形成してもよい。

[0089] また、第1の実施形態における保持装置17と、第3の実施形態における保持装置17Cとを一つの投影光学系PLに適用してもよい。すなわち、投影光学系PLが備える複数の光学素子のうち、一つの光学素子に保持装置17を適用し、他の光学素子に保持装置17Cを適用してもよい。

次に、上記の各実施形態の露光装置100を用いて半導体デバイス（電子デバイス）を製造する場合、この半導体デバイスは、図15に示すように、デバイスの機能・性能設計を行うステップ221、この設計ステップに基づ

いてマスク（レチクル）を製作するステップ 222、デバイスの基材である基板（ウエハ）を製造するステップ 223、露光装置 100 によりレチクルのパターンをレジストが塗布された基板（感光基板）に露光する工程、露光した基板を現像してレジストパターンを形成する工程、現像した基板の加熱（キュア）及びエッチング工程などを含む基板処理ステップ 224、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程などの加工プロセスを含む） 225、並びに検査ステップ 226 等を経て製造される。

[0090] 言い換えると、このデバイスの製造方法は、上記の実施形態の露光装置を用いて基板（ウエハ）上に感光層のパターンを形成することと、そのパターンが形成された基板を処理することとを含んでいる。このとき、その露光装置では非回転対称な収差を含む諸収差を低減できるため、微細パターンを有するデバイスを高精度に製造できる。

なお、本発明は、国際公開第 99/49504 号パンフレット、又は国際公開第 2004/019128 号パンフレットなどに開示される液浸型露光装置の投影光学系の収差補正を行う場合にも適用することができる。また、本発明は、走査型の露光装置のみならず、一括露光型の露光装置（ステッパ等）等にも適用することができる。また、本発明は、波長数 $n\text{m} \sim 100\text{nm}$ 程度の極端紫外光（EUV 光）を露光光として用いる投影露光装置の投影光学系の収差補正を行う場合にも適用できる。露光光として EUV 光を用いる場合には、投影光学系は特定のフィルタ等を除いて複数のミラーから構成されるため、本発明の光学素子の保持装置は、その複数のミラーのうちの少なくとも 1 枚のミラーを保持しながらその温度分布を制御して結像特性を補正するために使用される。このようにミラーを保持する場合には、複数の温度制御部の少なくとも一部をミラーの裏面に配置し、これらの温度制御部とミラーとの間に流体を供給（保持）してもよい。

[0091] これらの場合に、投影光学系の投影倍率は縮小のみならず、等倍でも拡大でもよい。

また、本発明は、半導体デバイス製造用の露光装置への適用に限定されることなく、例えば、角型のガラスプレートに形成される液晶表示素子、若しくはプラズマディスプレイ等のディスプレイ装置用の露光装置や、撮像素子（ＣＣＤ等）、マイクロマシーン、薄膜磁気ヘッド、及びＤＮＡチップ等の各種デバイスを製造するための露光装置にも広く適用できる。更に、本発明は、各種デバイスのマスクパターンが形成されたマスク（フォトマスク、レチクル等）をフォトリソグラフィ工程を用いて製造する際の、露光装置にも適用することができる。

[0092] なお、上述の実施形態の露光装置１００は、不図示のコラム機構を設置した後、複数のレンズから構成される照明光学系、及び保持装置１７（又は１７Ａ～１７Ｃ）が装着された投影光学系を露光装置本体に組み込み光学調整をして、多数の機械部品からなるレチクルステージやウエハステージを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより製造することができる。なお、その露光装置の製造は温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

[0093] なお、本発明は上述の実施形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。また、明細書、特許請求の範囲、要約、及び図面を含む２００９年２月２４日付け提出の日本国特許出願第２００９－０４１５７５、並びに２００９年２月２５日付け提出の日本国特許出願第２００９－０４１８７１の全ての開示内容は、そっくりそのまま引用して本願に組み込まれている。

符号の説明

[0094] R…レチクル、W…ウエハ、P L…投影光学系、１６…結像特性制御系、１７，１７Ａ，１７Ｂ…保持装置、１８…温度制御系、２２…フランジ部材、２４…支持板、２５…液体保持板、２６Ａ～２６Ｈ，４６Ａ～４６Ｈ…流体制御部、２７…ヒートシンク、２８，３９…電磁石、２９…供給配管、３０…回収配管、３１，３１Ａ，３１Ｉ…温度センサ、１００…露光装置

請求の範囲

- [請求項1] 光学素子の保持装置であって、
前記光学素子を支持する支持部材と、
前記光学素子の表面の少なくとも一部の領域に接触する磁性体又は金属を含む流体を保持する流体保持部材と、
前記流体保持部材で保持された前記流体の状態を制御する制御装置と、
を備えることを特徴とする光学素子の保持装置。
- [請求項2] 前記制御装置は、前記光学素子の表面に関して、前記流体が接触する領域の分布を制御することを特徴とする請求項1に記載の光学素子の保持装置。
- [請求項3] 前記流体保持部材に設けられ、温度制御された冷媒が供給される配管部材を備えることを特徴とする請求項2に記載の光学素子の保持装置。
- [請求項4] 前記流体は磁性流体であり、
前記制御装置は、前記磁性流体の分布を制御するために複数の電磁石を有することを特徴とする請求項2又は請求項3に記載の光学素子の保持装置。
- [請求項5] 前記磁性流体を保持するための発磁体を備えることを特徴とする請求項4に記載の光学素子の保持装置。
- [請求項6] 前記制御装置は、前記流体の温度分布を制御することを特徴とする請求項1に記載の光学素子の保持装置。
- [請求項7] 前記流体は磁性流体であり、
前記制御装置は、前記磁性流体の温度分布を制御するために、前記磁性流体内に部分的に交番磁界を発生する複数の電磁石を有することを特徴とする請求項6に記載の光学素子の保持装置。
- [請求項8] 前記光学素子はレンズであり、
前記レンズの側面の少なくとも一部に接触するように前記流体が保

持されることを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれか一項に記載の光学素子の保持装置。

[請求項9] 前記流体は金属液体であることを特徴とする請求項 1、請求項 2、請求項 3、又は請求項 6 に記載の光学素子の保持装置。

[請求項10] 前記制御装置からの放射熱を遮断する被覆部材を備えることを特徴とする請求項 1 から請求項 9 のいずれか一項に記載の光学素子の保持装置。

[請求項11] 前記光学素子の前記流体と接触する部分に導電性膜及び前記液体をはじく撥液性膜が形成されることを特徴とする請求項 1 から請求項 10 のいずれか一項に記載の光学素子の保持装置。

[請求項12] 前記流体保持部材は、前記支持部材の一部であることを特徴とする請求項 1 から請求項 11 のいずれか一項に記載の光学素子の支持装置。

[請求項13] 複数の光学素子を含む光学系において、
前記複数の光学素子の少なくとも一つの光学素子を支持するために、請求項 1 から請求項 12 のいずれか一項に記載の光学素子の支持装置を備え、

前記光学系の非回転対称な収差に応じて前記制御装置によって前記流体の状態を制御することを特徴とする光学系。

[請求項14] 光学素子の保持装置であって、
前記光学素子を支持する支持部材と、
前記光学素子の表面の少なくとも一部に非接触状態で配置され、互いに独立に温度制御される複数の温度制御部材と、
前記複数の温度制御部材と前記光学素子との間に供給される流体と、
を備えることを特徴とする光学素子の保持装置。

[請求項15] 前記複数の温度制御部材は、それぞれ前記光学素子に対向して配置される波形部材と、該波形部材に設けられ、温度制御された冷媒が供

給される配管部材とを含むことを特徴とする請求項 1 4 に記載の光学素子の保持装置。

[請求項16] 前記複数の波形部材の温度情報を計測する複数の温度センサと、該複数の温度センサの計測結果に基づいて前記複数の配管部材に供給される前記冷媒の温度を個別に制御する冷媒制御装置と、を備えることを特徴とする請求項 1 5 に記載の光学素子の保持装置。

[請求項17] 前記流体は水又は金属液体であることを特徴とする請求項 1 4 から請求項 1 6 のいずれか一項に記載の光学素子の保持装置。

[請求項18] 前記光学素子と前記複数の温度制御部材との間に前記流体を封止する被覆部材を備えることを特徴とする請求項 1 4 から請求項 1 7 のいずれか一項に記載の光学素子の保持装置。

[請求項19] 前記流体は液体であり、
前記光学素子の前記液体と接触する部分に前記液体をはじく撥液性コーティングが施されることを特徴とする請求項 1 4 から請求項 1 8 のいずれか一項に記載の光学素子の保持装置。

[請求項20] 前記流体は液体であり、
前記複数の温度制御部材は前記光学素子の側面に非接触状態で配置され、
前記温度制御部材の前記液体を囲む隔壁部と前記光学素子の表面との間隔は、前記隔壁部と前記光学素子の表面との間における前記液体の表面張力の作用によって、前記液体が漏洩しない間隔に設定されることを特徴とする請求項 1 4 から請求項 1 9 のいずれか一項に記載の光学素子の保持装置。

[請求項21] 前記複数の温度制御部材の前記波形部材は、前記支持部材の一部であることを特徴とする請求項 1 5 又は請求項 1 6 に記載の光学素子の支持装置。

[請求項22] 複数の光学素子を含む光学系において、
前記複数の光学素子の少なくとも一つの光学素子を支持するために

、請求項 1 4 から請求項 2 1 のいずれか一項に記載の光学素子の支持装置を備え、

前記光学系の非回転対称な収差に応じて前記複数の温度制御部材の温度を制御することを特徴とする光学系。

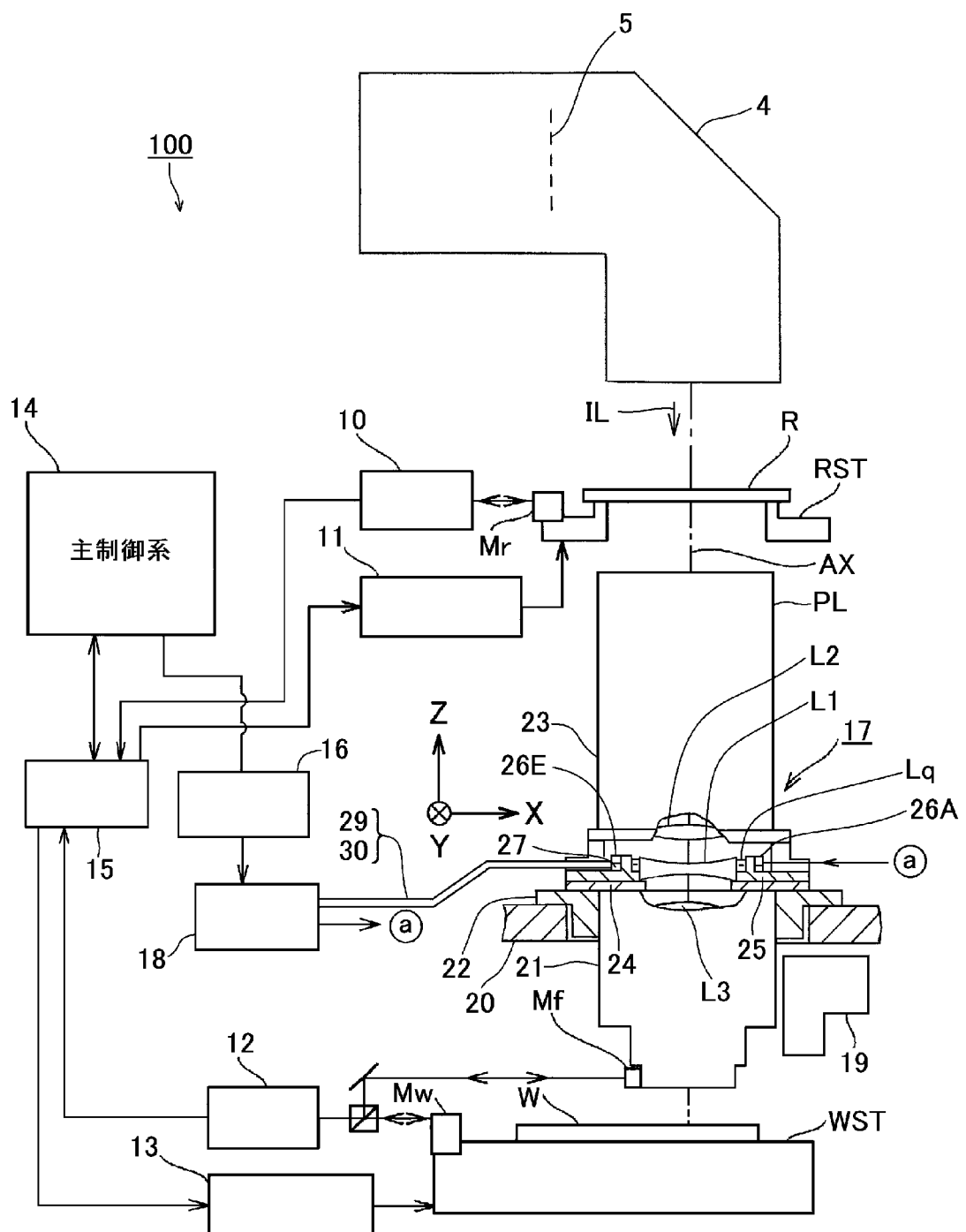
[請求項23] 露光光でパターンを照明し、前記露光光で前記パターン及び投影光学系を介して物体を露光する露光装置において、

請求項 1 3 又は請求項 2 2 に記載の光学系を備えることを特徴とする露光装置。

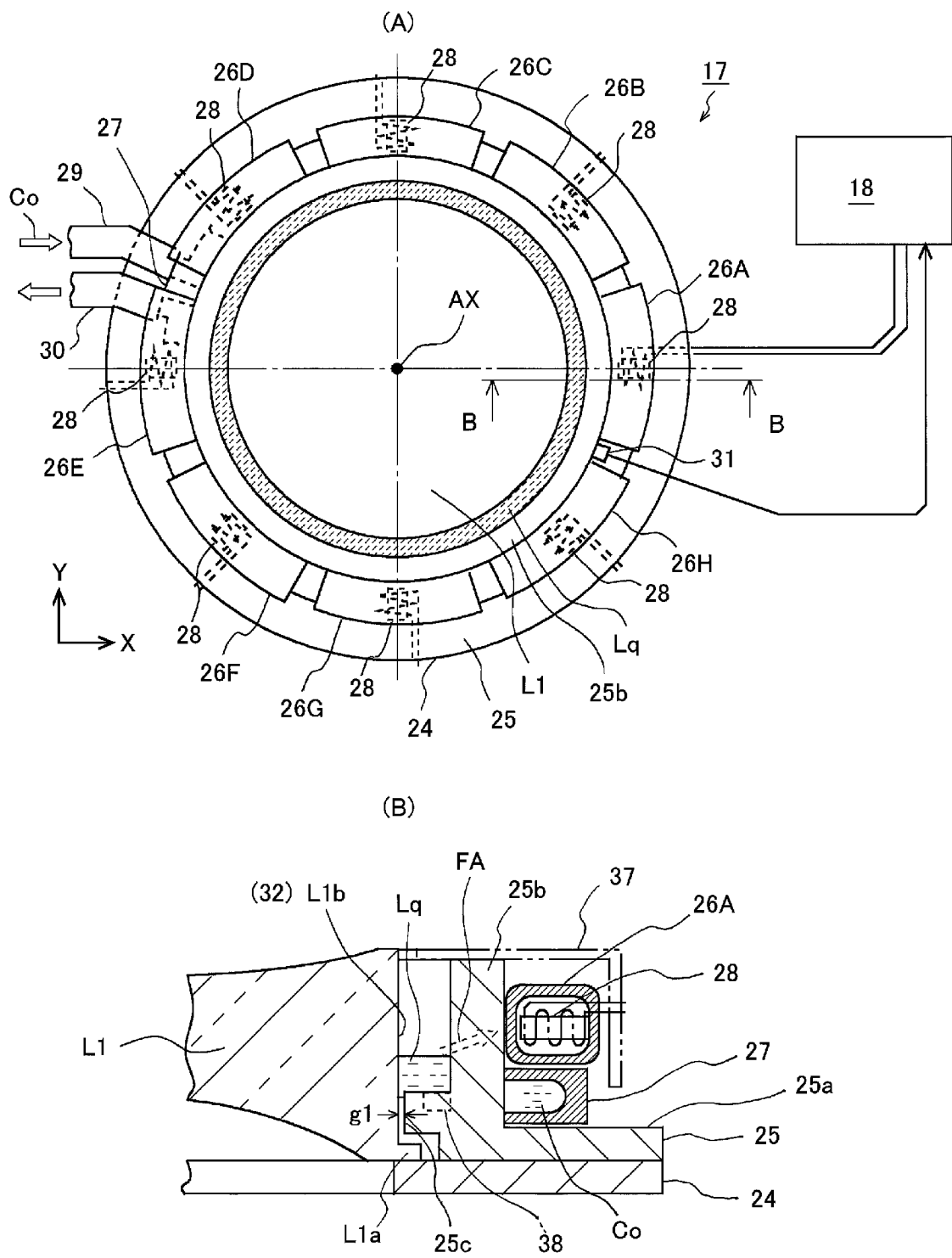
[請求項24] 請求項 2 3 に記載の露光装置を用いて基板上に感光層のパターンを形成することと、

前記パターンが形成された基板を処理することと、を含むデバイス製造方法。

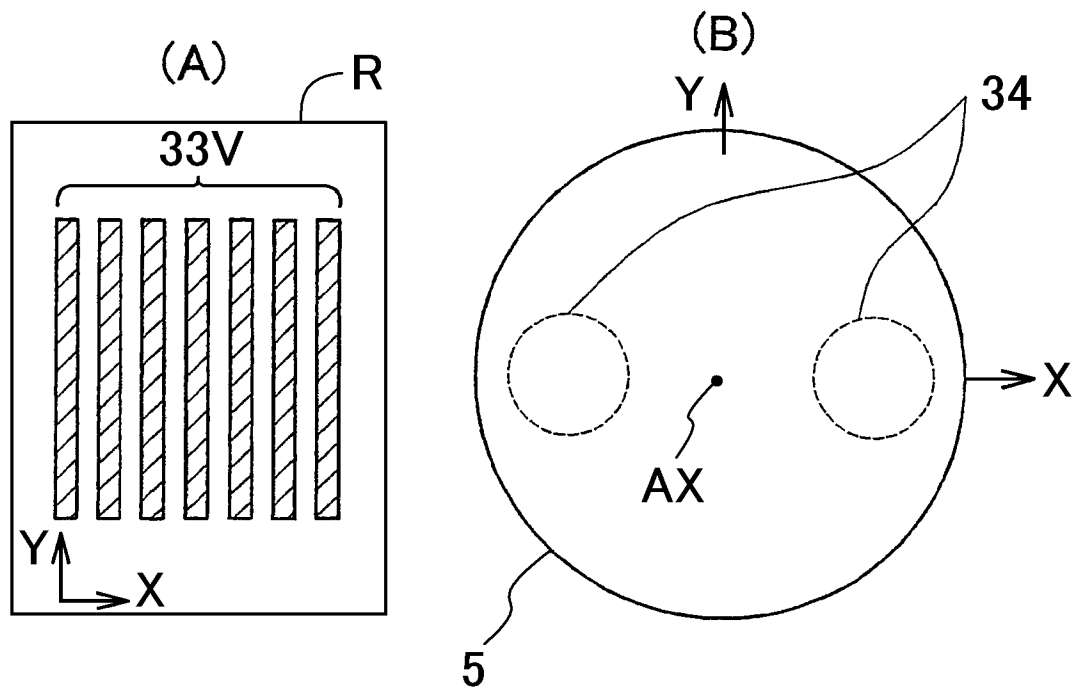
[図1]



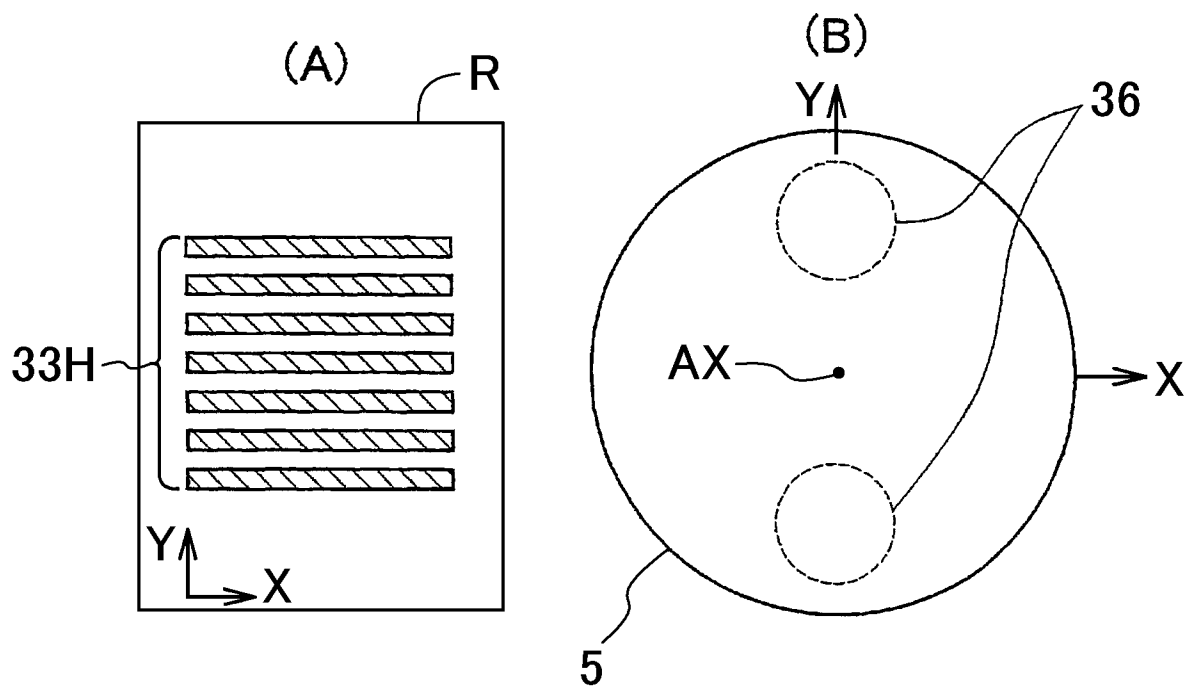
[図2]



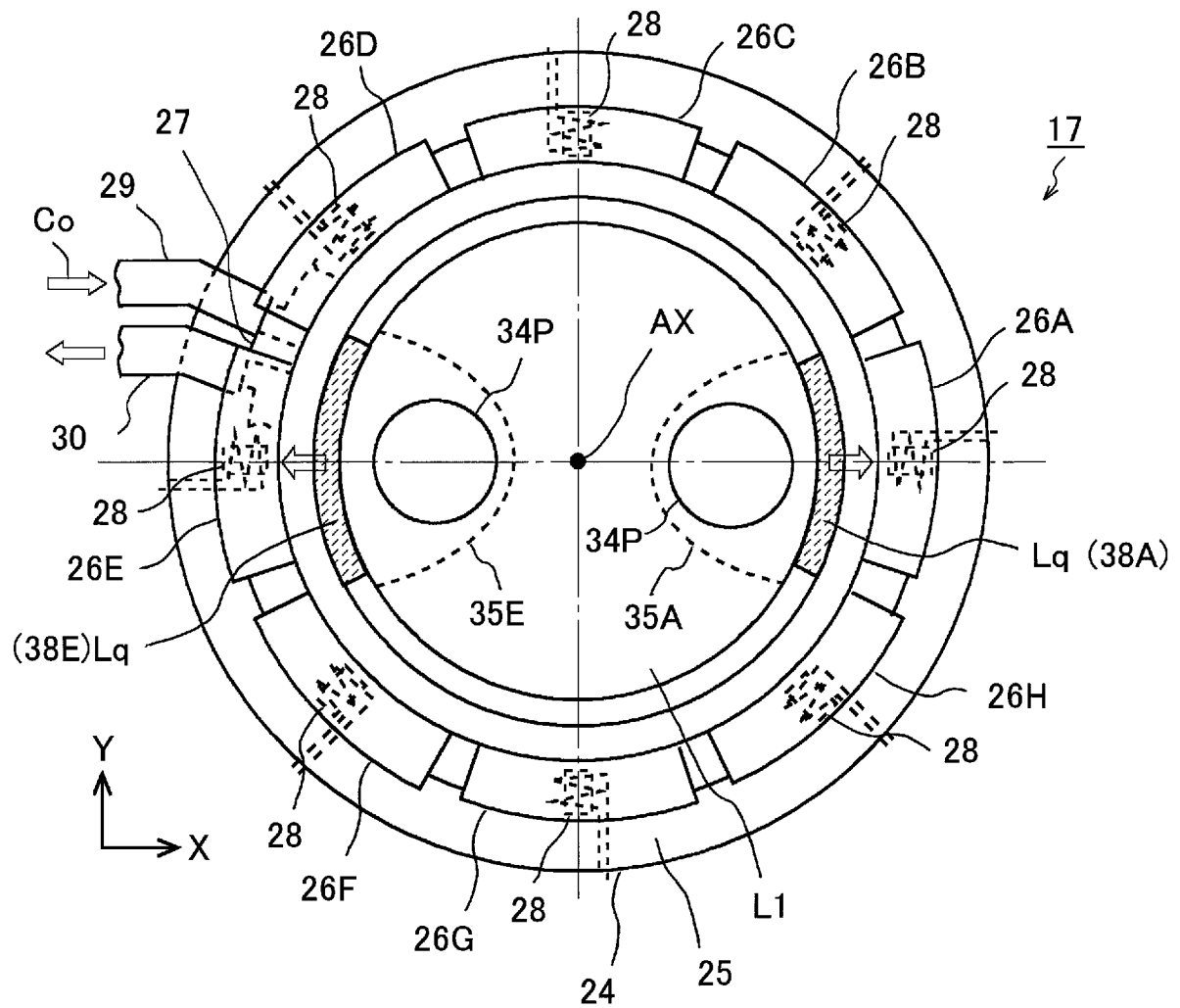
[図3]



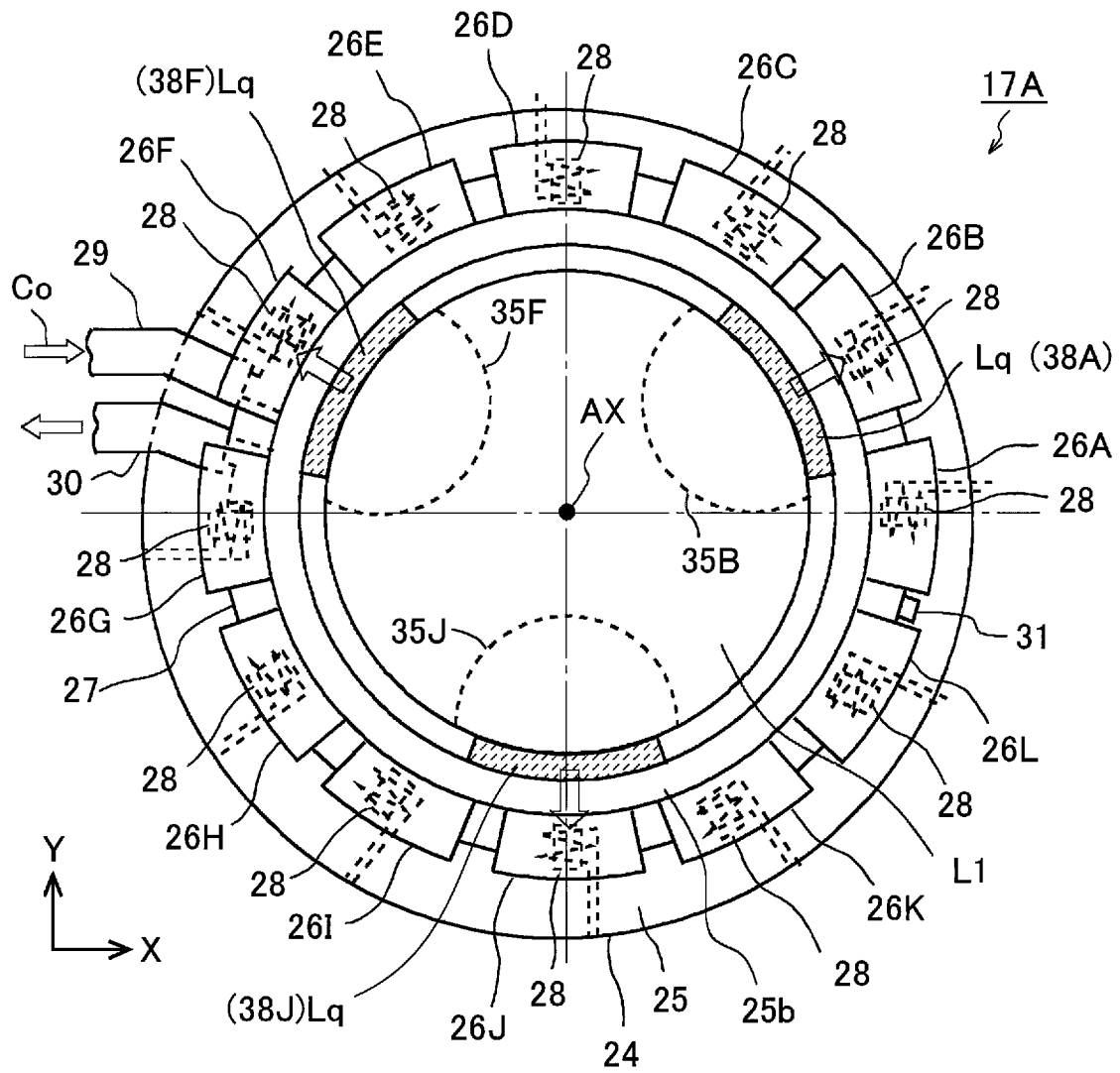
[図4]



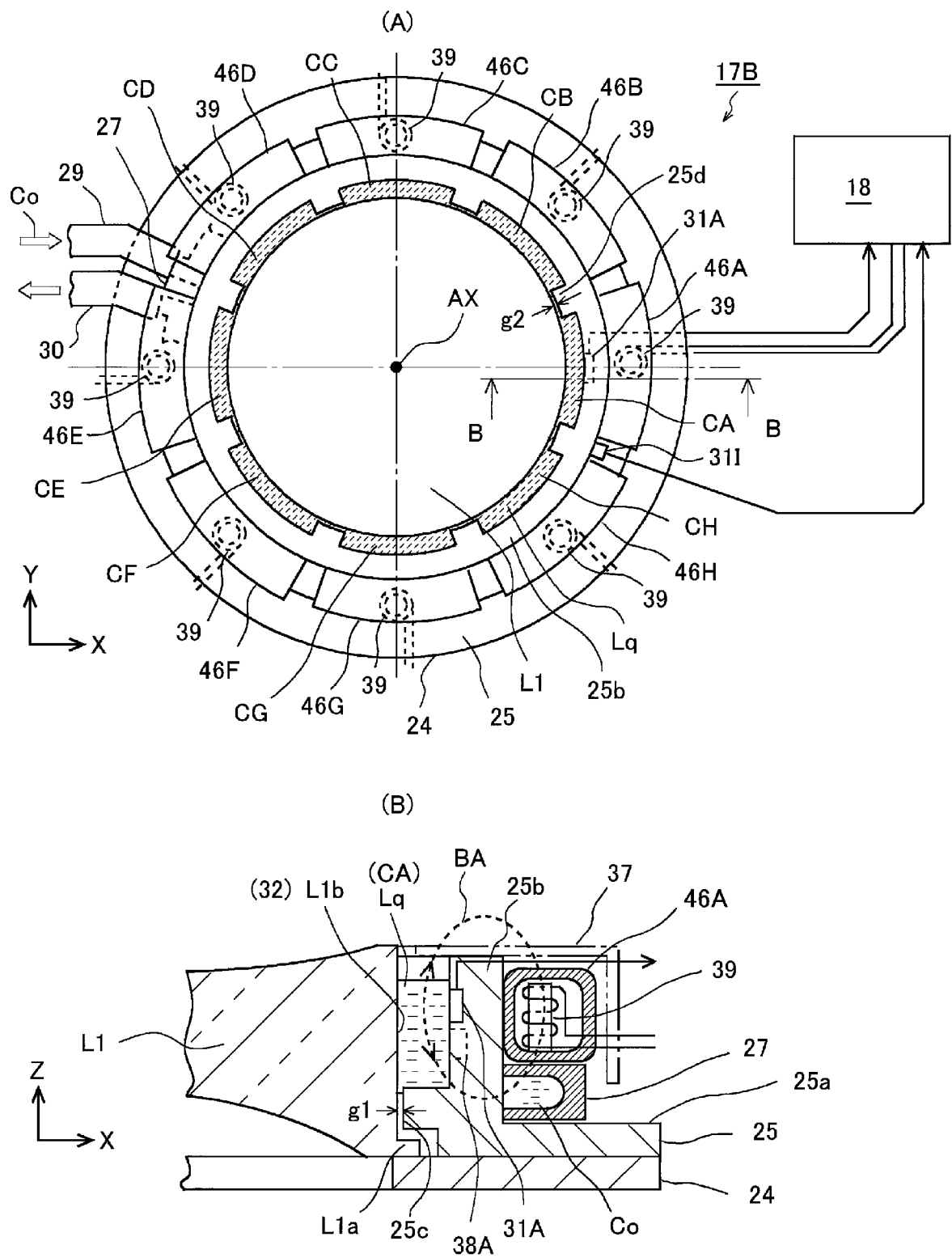
[図5]

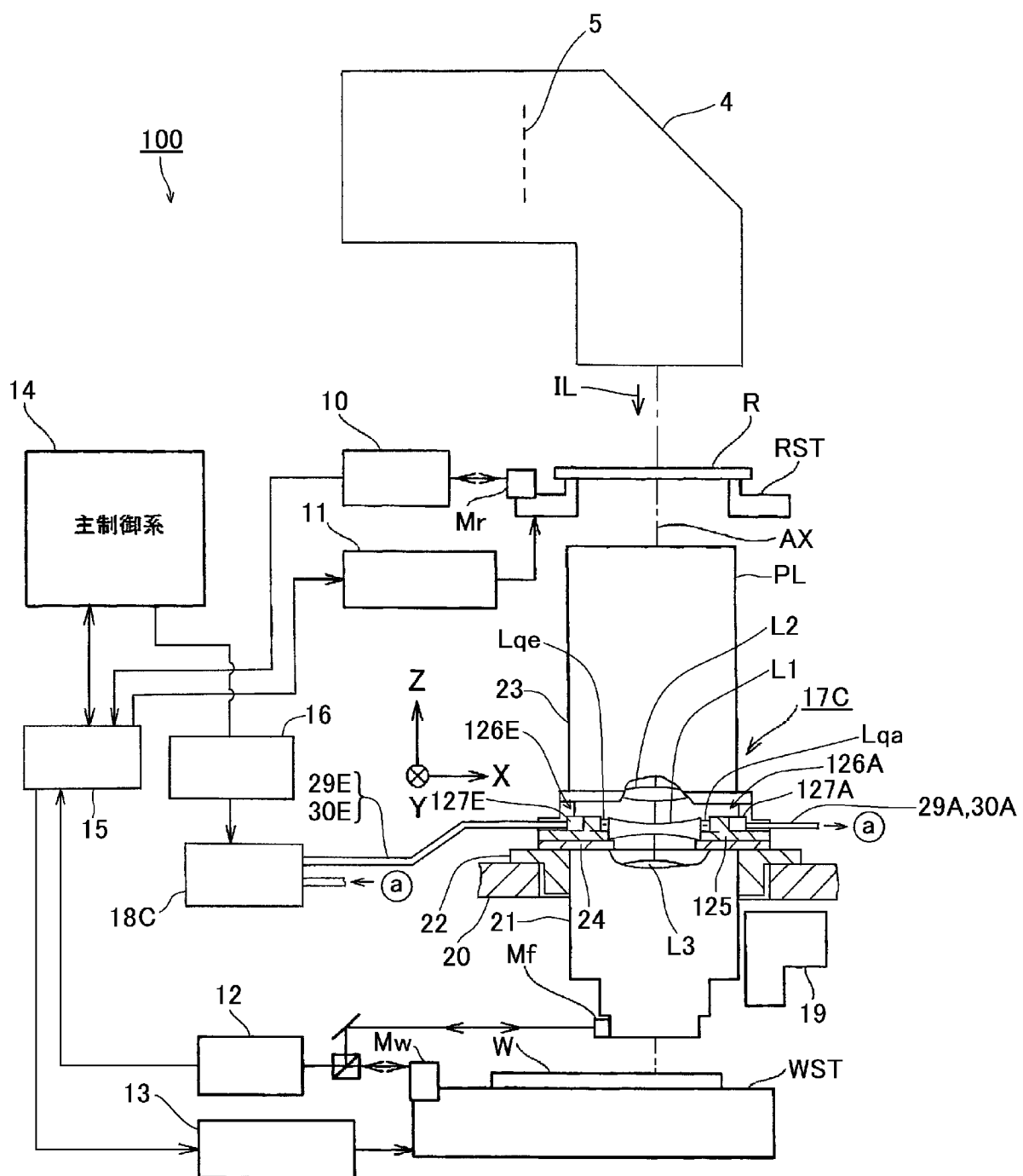


[図6]

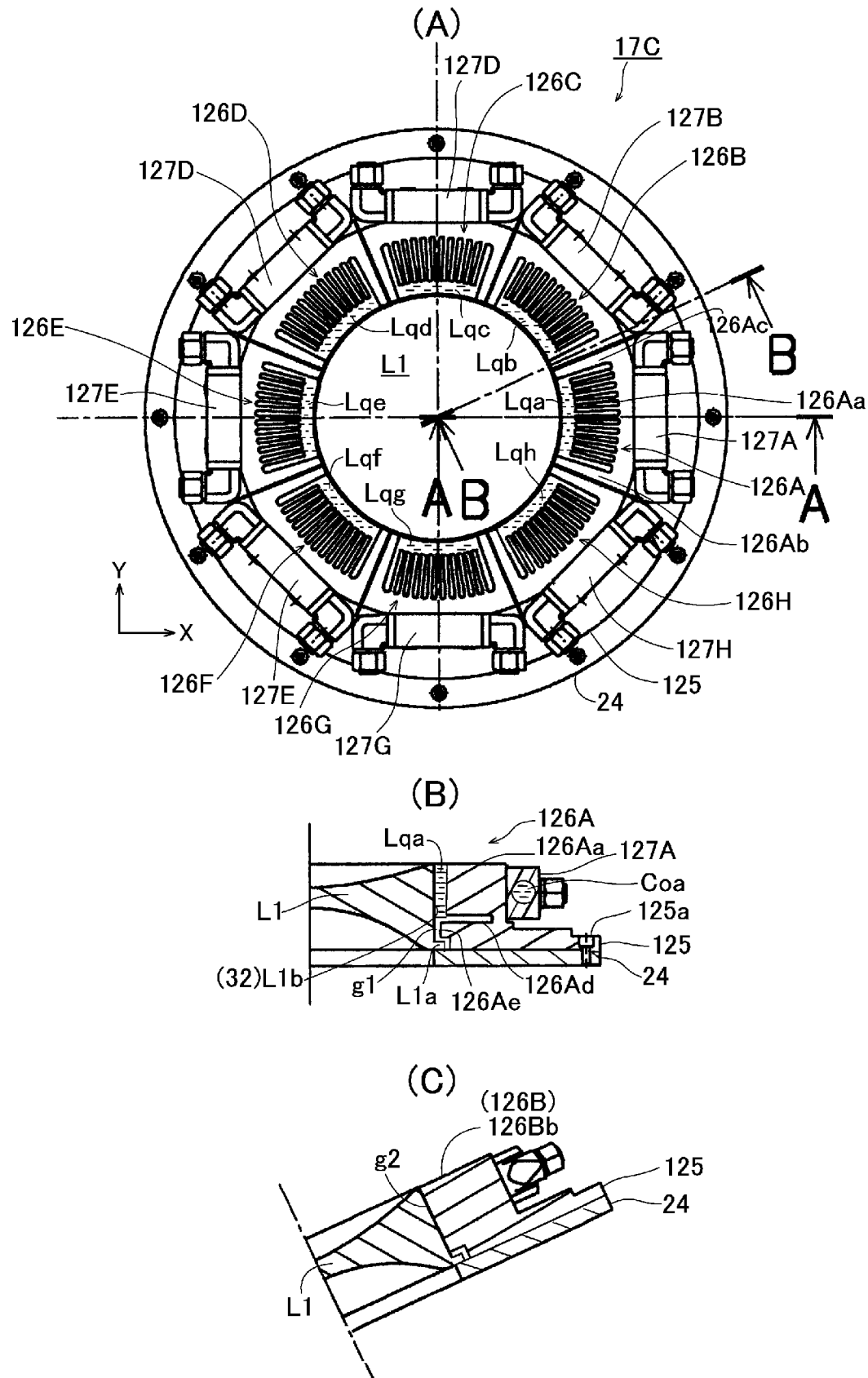


[図7]

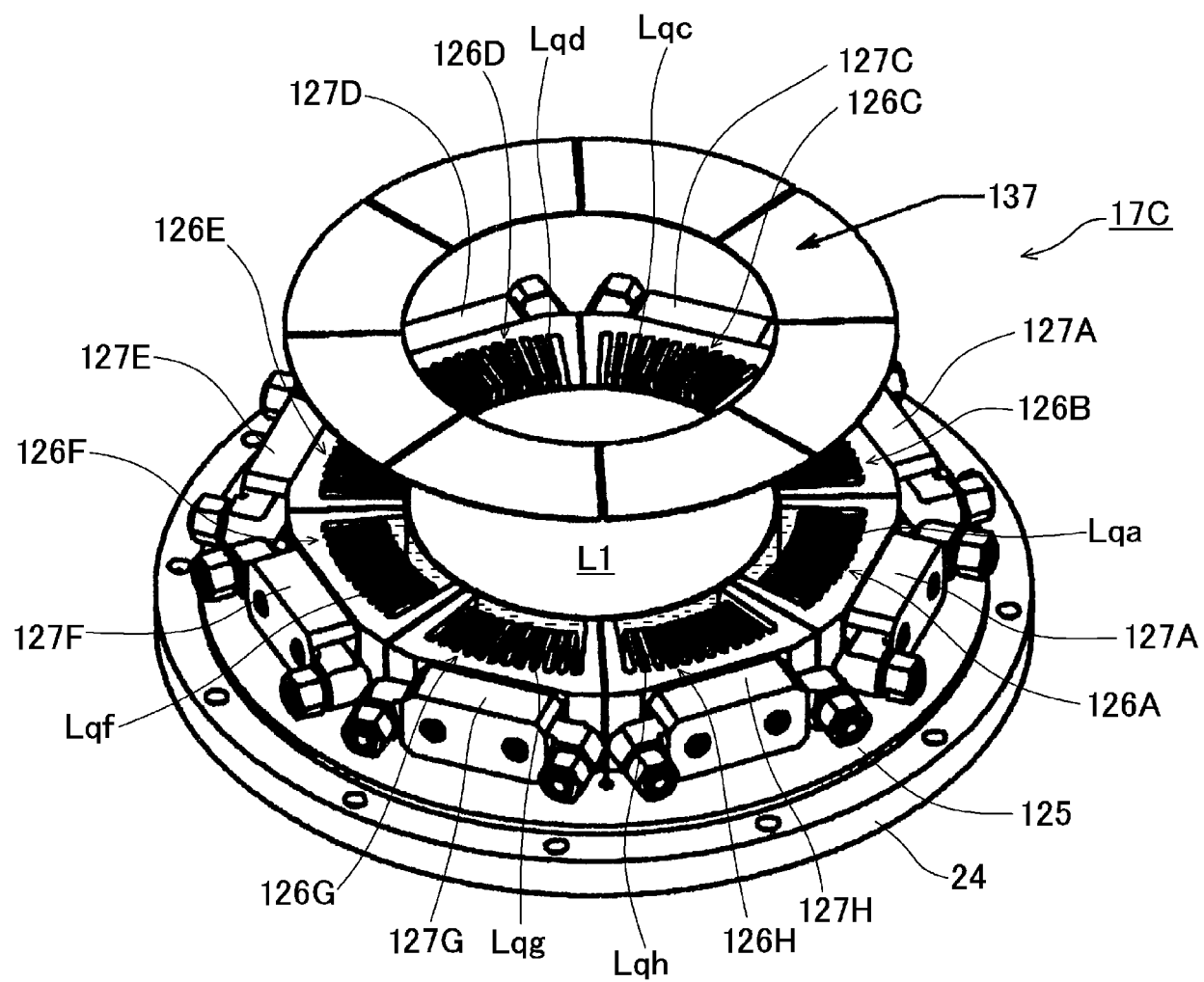




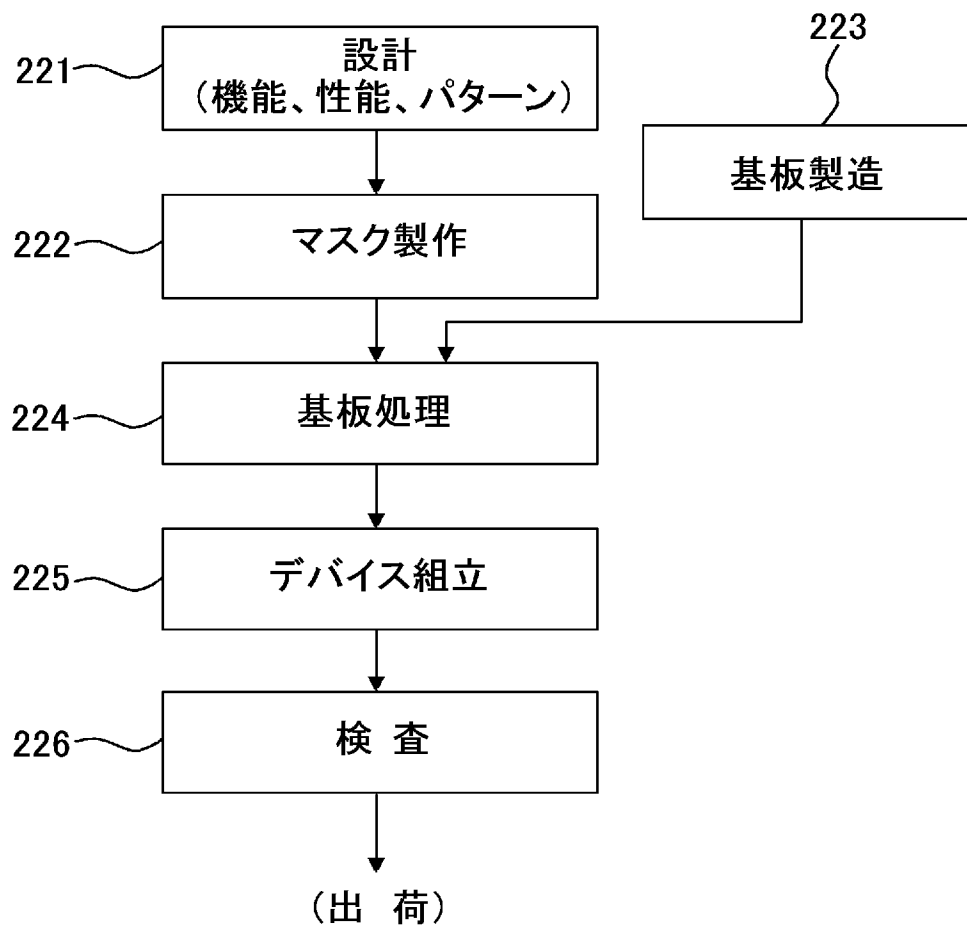
[図11]



[図12]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/052687

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B7/02(2006.01)i, H01L21/30(2006.01)i, G03F7/20(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B7/02(2006.01)i, H01L21/30(2006.01)i, G03F7/20(2006.01)i

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2010

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2010 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2010

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2006/25408 A1 (Nikon Corp.), 09 March 2006 (09.03.2006), paragraphs [0013], [0025], [0038] to [0045]; fig. 1 to 4, 7 to 11 (Family: none)	1-24
Y	JP 2007-102919 A (Konica Minolta Opto, Inc.), 19 April 2007 (19.04.2007), paragraphs [0107], [0108]; fig. 1, 10 (Family: none)	1-24
Y	JP 2-146437 A (Daikin Industries, Ltd.), 05 June 1990 (05.06.1990), page 3, lower left column, line 7 to page 4, upper right column, line 1; fig. 1 (Family: none)	2-24

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
15 March, 2010 (15.03.10)Date of mailing of the international search report
23 March, 2010 (23.03.10)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/052687

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 8-171320 A (Sharp Corp.), 02 July 1996 (02.07.1996), paragraph [0026]; fig. 5 to 8 (Family: none)	4-24
Y	JP 2006-235549 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 07 September 2006 (07.09.2006), paragraphs [0076] to [0078]; fig. 8 (Family: none)	14-24

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G02B7/02(2006.01)i, H01L21/30(2006.01)i, G03F7/20(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G02B7/02(2006.01)i, H01L21/30(2006.01)i, G03F7/20(2006.01)i

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	WO 2006/25408 A1（株式会社ニコン）2006.03.09, 【0013】、【0025】、【0038】－【0045】、図1－4、7－11（ファミリーなし）	1－24
Y	JP 2007-102919 A（コニカミノルタオプト株式会社）2007.04.19, 【0107】、【0108】、図1、10（ファミリーなし）	1－24
Y	JP 2-146437 A（ダイキン工業株式会社）1990.06.05, 第3頁左下欄 第7行目－第4頁右上欄 第1行目、第1図（ファミリーなし）	2－24

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 5 . 0 3 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

2 3 . 0 3 . 2 0 1 0

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

高橋 雅明

2 V

4 0 8 0

電話番号 03-3581-1101 内線 3271

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 8-171320 A (シャープ株式会社) 1996.07.02, 【0026】、図 5-8 (ファミリーなし)	4-24
Y	JP 2006-235549 A (富士写真フイルム株式会社) 2006.09.07, 【0 076】-【0078】、図8 (ファミリーなし)	14-24