

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4602336号
(P4602336)

(45) 発行日 平成22年12月22日(2010.12.22)

(24) 登録日 平成22年10月8日(2010.10.8)

(51) Int.Cl.

H01L 21/027 (2006.01)
G03F 7/20 (2006.01)

F 1

H01L 21/30 515D
G03F 7/20 521

請求項の数 10 (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2006-529950 (P2006-529950)
 (86) (22) 出願日 平成16年5月28日 (2004.5.28)
 (65) 公表番号 特表2007-504678 (P2007-504678A)
 (43) 公表日 平成19年3月1日 (2007.3.1)
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2004/005816
 (87) 國際公開番号 WO2004/107048
 (87) 國際公開日 平成16年12月9日 (2004.12.9)
 審査請求日 平成19年5月28日 (2007.5.28)
 (31) 優先権主張番号 10324477.8
 (32) 優先日 平成15年5月30日 (2003.5.30)
 (33) 優先権主張国 ドイツ (DE)

(73) 特許権者 503263355
 カール・ツァイス・エスエムティー・アーゲー
 ドイツ連邦共和国、73447 オベルコッヘン、ルドルフ・エーバー・シュトラーセ 2
 (74) 代理人 100082005
 弁理士 熊倉 賢男
 (74) 代理人 100067013
 弁理士 大塚 文昭
 (74) 代理人 100086771
 弁理士 西島 孝喜
 (74) 代理人 100109070
 弁理士 須田 洋之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】マイクロリソグラフィ用投影露光システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

マイクロリソグラフィの投影露光装置であって、
 a) 投影光(13)を発生させるための照射システム(12)と、
 b) 浸漬液(34)と、
 c) 感光性の層(26)上にレチクルを結像させるための投影用対物レンズ部(220)とを含み、前記投影用対物レンズ部は、
 最終段レンズ(L205)と、

前記投影光(13)に関して透光性であり、前記最終段レンズ(L205)と前記感光性の層(26)の間に配置され、前記浸漬液(34)中に浸漬される結像側表面(272)を有し、前記結像側表面(272)またはその上に塗布される保護層(278)が材料(79a、79b)の局所的除去によって波面誤差を補正する目的で再加工される終端素子(244)と

を含むことを特徴とする投影露光装置。

【請求項 2】

マイクロリソグラフィの投影露光装置であって、
 a) 投影光(13)を発生させるための照射システム(12)と、
 b) 感光性の層(26)上にレチクルを結像させるための投影用対物レンズ部(20；220；620；1120)と、
 c) 浸漬液(34)と、

d) 前記浸漬液(34)に対して非透過性であり、前記浸漬液(34)と接触する少なくとも1つの表面(70、72；272)の上に塗布される保護層(76、78；278)と

を含み、

前記浸漬液(34)中に浸される結像側表面(272)を有し、前記結像側表面(272)またはその上に塗布される保護層(278)が材料(79a、79b)の局所的除去によって波面誤差を補正する目的で再加工されることを特徴とする投影露光装置。

【請求項3】

前記少なくとも1つの表面が前記投影用対物レンズ部の最終段レンズ(L5；L205；L1005；L1105)の結像側表面(68)であることを特徴とする請求項2に記載の装置。

10

【請求項4】

前記少なくとも1つの表面が、前記投影光(13)に関して透光性であって少なくとも1つの結像側表面(72；272)が前記浸漬液(34)中に浸されるような方式で前記投影用対物レンズ部(20，220)の最終段レンズ(L5；L205)と前記感光性の層(26)との間に配置される終端素子(44；244)の結像側表面(72；272)であることを特徴とする請求項2に記載の装置。

【請求項5】

前記保護層(76、78；278)が98%を超える稠密度を有することを特徴とする請求項2に記載の装置。

20

【請求項6】

前記浸漬液が前記感光性の層(26)と接触していることを特徴とする請求項2に記載の装置。

【請求項7】

マイクロリソグラフィの投影露光装置であって、

a) 投影光(13)を発生させるための照射システム(12)と、

b) 感光性の層(26)上にレチクルを結像させるための投影用対物レンズ部(20；220；620；720；1020；1120)とを含み、前記投影用対物レンズ部は、最終段レンズ(L5；L205；L605；L705；L1005；L1105)と、前記投影光(13)に関して透光性であり、前記最終段レンズ(L5；L205；L605；L705；L1005；L1105)と前記感光性の層(26)との間に配置され、前記最終段レンズ(L5；L205；L605；L705；L1005；L1105)に対する位置が調節可能となるように調節可能に装着される終端素子(44；244；644；744；1044；1144)と

30

を含み、

前記終端素子が前記浸漬液(34)中に浸される結像側表面(272)を有し、前記結像側表面(272)またはその上に塗布される保護層(278)が材料(79a、79b)の局所的除去によって波面誤差を補正する目的で再加工されることを特徴とする投影露光装置。

【請求項8】

40

前記投影用対物レンズ部(20；220；620；720；1020；1120)の結像側端面(45)に前記終端素子(44；244；644；744；1044；1144)を調節可能に取り付けるための調節可能な固定用素子(46、48)を含むことを特徴とする請求項7に記載の装置。

【請求項9】

前記固定用素子(46、48)が微調整駆動部(54、55、56、57)を含むことを特徴とする請求項8に記載の装置。

【請求項10】

前記終端素子(44；244；644；744)の少なくとも結像側表面(72；272)が浸漬液(34)中に浸されることを特徴とする請求項7に記載の装置。

50

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、微細構造部品を作る目的で使用されるようなマイクロリソグラフィ用投影露光システムに関する。本発明は、特に、浸漬動作のために設計された投影用対物レンズ部を備えた投影露光システムに関する。

【背景技術】**【0002】**

集積型電気回路やその他の微細構造部品は従来法では、例えばシリコン・ウェハである適切な基板の上に設けられるいくつかの構造化された層によって作られる。層を構造化する観点で、シリコン・ウェハは先ず最初に特定の波長範囲の光、例えば遠紫外スペクトル領域の光(DUV)に感受性のあるフォトレジストで覆われる。引き続いて、この方式でコーティングされたウェハが投影露光システム内で露光される。この処理では、マスク上に配置される回折構造のパターンが投影用対物レンズ部の助けを借りてフォトレジスト上に画像化される。このケースで横方向の倍率は概して1未満であるので、そのようなタイプの投影用対物レンズ部はやはり縮小用対物レンズ部として指定される。

10

【0003】

フォトレジストが現像された後にウェハはエッチング処理に晒され、その結果、マスク上のパターンに従って層が構造化される。後に残されたフォトレジストがその後、層の残っている部分から除去される。ウェハ上にすべての層が設けられる時点までこの処理が繰り返される。

20

【0004】

生産に使用される投影露光システムの開発で基本的な目的の1つは、ウェハ上でますます小さい寸法を有するリソグラフィ構造を決めることができることがある。小さい構造は結果として高い集積密度に結び付き、それは概してそのようなタイプのシステムの助けを借りて作られる微細構造部品の性能に有利な影響を有する。

【0005】

とりわけ、実現可能な構造のサイズは使用されている投影用対物レンズ部の解像能力によって決まる。投影用対物レンズ部の解像能力は投影光の波長に反比例するので、解像能力を上げる目的のための1つの取り組み方は一層短い波長を有する投影光を使用することにある。現在使用される最も短い波長は遠紫外スペクトル領域(DUV)の中にある193nm、場合によっては157nmにさえ達する。

30

【0006】

解像能力を上げる目的の別の取り組み方は、結像側にある投影用対物レンズ部の最終段レンズと露光対象のフォトレジストもしくは他の感光性層との間に残る浸漬隙間に進入する高い屈折率を有する浸漬液を導入する発想から発する。浸漬動作のために設計され、したがってやはり浸漬対物レンズ部として指定される投影用対物レンズ部は1よりも大きい、例えば1.3もしくは1.4の開口数に達する。しかしながら、浸漬は高い開口数、したがって向上した解像能力を可能にするだけではなく、被写界深度にも有利な影響を有する。被写界深度が増すにつれて、投影用対物レンズ部の像平面でのウェハの正確な位置決めに関する要求がより少なくなる。さらに広義の意味では、必ずしも浸漬液に浸される必要のない結像側の投影用対物レンズ部の最終段の光学素子を伴なうことなく感光性の層が浸漬液で覆われるときの浸漬を言う。

40

【0007】

しかしながら、構造化とプロセス工学の点から見ると浸漬動作の導入は多量の追加的努力を必要とする。例えば、たとえ上に塗布されたフォトレジストを備えたウェハが投影用対物レンズ部に相対して移動しているときでさえ、少なくとも投影光に晒される容積の中で浸漬液の光学特性が空間的に均一であり、かつ時間的に一定であることを確実にしなければならない。現時点で、関連する技術的課題は充分に解決されていない。

【0008】

50

米国特許第4,346,164号から投影用露光システムが知られており、それはウェハを受け容れる目的で最上部が開口し、その上端部が投影用対物レンズ部の最終段の結像側レンズの下側境界面よりも高い容器を提示している。ポンプ、温度制御装置、浸漬液の浄化のためのフィルタにもやはり接続される浸漬液用の供給ラインと排液ラインがその容器につながる。この投影用露光システムの動作中に、浸漬液は液体回路内で循環され、それにより、投影用対物レンズ部の最終段の結像側レンズの下側境界面とウェハとの間に残る隙間は満たされた状態を保つ。

【0009】

しかしながら、液体回路内に配置されたフィルタの助けを借りた浸漬液の浄化にもかかわらず、結像側にある投影用対物レンズ部の最終段レンズの不純物汚染が信頼性良く回避されることは不可能である。とりわけ、これらの不純物汚染は浸漬液に直接接しているフォトレジストから由来している。浸漬液の中へと通り抜ける物質は、これらのレンズが新しいレンズで置き換えられなければならなくなるか、あるいは少なくとも投影用対物レンズ部の外側で完全な洗浄を受けなければならなくなるような方式でレンズ材料を浸食しかねない。両方のケースで、最終段レンズの取り外しと総合的再調整を伴なった新品もしくは洗浄済みレンズの挿入が必要である。結像側にある最終段レンズは概して大口径の厚いレンズであるので、その調節は多大な努力を伴なう。レンズの交換中は投影露光用システムが操作されることは不可能であるので、これは結果として生産の損失を理由とする多大な二次コストにつながる。

【0010】

結像側にある投影用対物レンズ部の最終段レンズとウェハとの間に残る隙間に少量の浸漬液が保たれる投影用露光システムがWO 99/49504号から知られている。たとえウェハが移動運動の方向で投影用対物レンズ部の下を通過しても、浸漬液は結像側にある最終段レンズの下に残る。これは、この領域の周囲に堅く詰め込まれる方式で配分されるいくつかの供給ラインと廃液ラインによって可能にされる。この方法では、浸漬液は連続的に入り口から現れて出口で再び引き出される。この手段によって、浸漬液は移動するウェハによって引きずられるのを防止される。

【0011】

しかしながら、浸漬液の連続的な供給と除去の結果として、気泡の形成が少なからぬ度合いで生じる。それらが投影光で透過される浸漬液の領域内に侵入する量で、これらの泡は画像化を乱し、それにより、不良品を生じさせる。

【0012】

投影用対物レンズ部の下でウェハが移動する間にガス流の助けを借りて浸漬液が結像側の最終段レンズの下に保たれる投影露光システムにもやはり同じことが当てはまる。投影用対物レンズ部を通り過ぎてウェハが導かれる走査速度が速くなるにつれて泡の形成も概して多くなる。なぜならばそのとき浸漬液は移動するウェハによって運び去られないよう一層強く流されなければならないからである。

【0013】

米国特許第5,610,683号から知られている投影露光システムでは、泡発生の問題は浸漬液で満たされる密閉されたカセットの中にウェハが挿入されることによって解決される。このケースでは、結像側にある投影用対物レンズ部の最終段光学素子は、連結されてウェハの移動を実行する平面平行の透明のカバー・プレートによって構成される。結果として、結像側にある最終段レンズとウェハとの間の相対的移動の効力で生じる剪断力が理由となって乱流が起きることはあり得ない。しかしながら、各ウェハをカセットの中に挿入するため、およびその後に正確に決められた特性を有する浸漬液でカセットを満たすための努力は比較的大きい。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

したがって本発明の目的は、信頼性があつて少ない保守管理操作を単純な構造で可能に

10

20

30

40

50

する浸漬動作のために設計された投影露光システムの仕様を定めることである。

【課題を解決するための手段】

【0015】

この目的は、投影光を発生させるための照明用デバイスと、投影用対物レンズ部の物体平面に配置されるレチクルを、投影用対物レンズ部の像平面に配置される感光性の層上に結像させる投影用対物レンズ部とを備えた投影露光システムによって達成される。付け加えると、この投影用対物レンズ部は投影用対物レンズ部の結像側にある最終段レンズが浸漬液中に浸される浸漬動作のために設計される。本発明によると、投影光を通し、かつ少なくとも結像側の境界面で浸漬液中に浸されるような方式で結像側にある最終段レンズと感光性の層との間に配置される終端素子が設けられる。

10

【0016】

結像側にある投影用対物レンズ部の最終段レンズと感光性の層との間へ終端素子を設けることは、結像側にある最終段レンズの上に蓄積する、感光性の層から由来する構成成分またはそこに生じる不純物が最悪の場合でも無視し得る量であるという利点を有する。なぜならば終端素子、特に感光性の層に向いて面している側は結像側にある最終段レンズのための保護シールドのように作用するからである。この方式では、投影用対物レンズ部の最終段の結像側レンズは取り外される必要はなく、終端素子だけを場合によっては取り外し、洗浄後に再び装着させるかまたは交換すればよい。特に、終端素子が外側から投影用対物レンズ部へと固定され、投影用対物レンズ部の解体を伴なうことなく取り外したり、装着することが可能であれば、これに要求される努力は比較的低く保たれる。

20

【0017】

浸漬液で少なくとも部分的に満たされることが可能な隙間が、結像側にある投影用対物レンズ部最終段レンズと終端素子との間に残っていれば特に好ましい。このさらなる展開では、終端素子は結果的に両方の側が浸漬液中に浸され、それにより、光のわずかな屈折が物体平面上の終端素子の境界面でもやはり生じる。したがって終端素子の調節と製造の精度に関する要求条件は低い。特に、大きい開口数のケースについては、平面平行の形状を備えた終端素子でさえ製造の欠陥、例えば公称の厚さからの偏差、境界面の平行度からの偏差、嵌合誤差に極めて敏感に反応する。

【0018】

隙間が浸漬液で完全に満たされるのではなく部分的にのみ満たされる場合、浸漬液と結像側にある最終段レンズとの間に気体充満領域が残る。これは、例えば、投影用対物レンズ部が可能な限り少ない努力でもって乾式動作と浸漬動作との間で変えることができるの有利である。浸漬液で満たされるレンズのような固定型光学素子間もしくは終端素子間の隙間が少ないほど、投影用対物レンズ部の調節に対して概して有する浸漬動作への変更を生じる数は少ない。この観点から見ると、投影用対物レンズ部が浸漬液中に浸されることを可能にせず、終端素子と浸漬液との間に気体充満領域を残すことが有利になる可能性すらある。

30

【0019】

この構成の都合の良いさらなる展開では、浸漬液を結像側にある最終段レンズと終端素子との間の隙間に導入する目的で、投影用対物レンズ部が第1の浸漬デバイスを設けている。これは、最終段光学素子と感光性の層との間の隙間に浸漬液を導入するための第2の浸漬デバイスとは別のものであり、それにより、隙間の間の浸漬液の入れ替わりがなくなる。この方式で、感光性の層から由来する不純物が浸漬液を経由して結像側にある投影用対物レンズ部の最終段レンズに到達することが不可能となることが確実になる。

40

【0020】

別の好都合な構成では、終端素子は結像側にある投影用対物レンズ部の最終段レンズと同じ屈折率を有し、投影用対物レンズ部を通過する投影光が結像側にある最終段レンズと終端素子との間で屈折しないような方式で、その対物側境界面でこのレンズ上に光学的に結合させられる。最終段レンズと終端素子との間にどのような屈折も生じないことが結果として、終端素子を交換する過程でのさらに少ない調節努力につながる。これは、例えば

50

、結像側にある最終段レンズ、終端素子、それらの間に配置される浸漬液もやはり同じ屈折率を有することによって実現されてもよい。

【0021】

結像側にある最終段レンズと終端素子との間の投影光の屈折もまた、終端素子が結像側にある最終段レンズと光学的に接触し、かつ両方の素子が同じ屈折率を有するときに未然に防がれる。しかし異なる屈折率のケースでもやはり適切な環境下では光学的接触は有用であり、なぜならばこの方式で結像側にある最終段レンズは、それに光学的に接触させられる終端素子によって不純物に対する直接の保護を受けるからである。互いに向かって対面する2つの境界面が平坦であれば終端素子は特に単純な方式で結像側にある最終段レンズと光学的に接触させられることが可能である。光学軸に沿った終端素子の位置とそれに直交する平面内への配向が平坦な境界面によって予め決定されるので、そのときに調節は無用である。

10

【0022】

特に好ましい構成では、第1の浸漬液で満たされることが可能な第1の隙間が、結像側にある投影用対物レンズ部の最終段レンズと終端素子との間に残る。第2の浸漬液で満たされる第2の隙間が終端素子と感光性の層との間に残る。この構成では第1の隙間は結果として、流体的に密閉する方式で第2の隙間から隔てられることが可能である。

【0023】

第1の浸漬液と第2の浸漬液は必ずしも異ならなければならぬわけではない。しかし異なる浸漬液の使用は、とりわけ、浸漬液が2つの隙間の中の特定の条件に光学的に適応させられることが可能になるという利点を有する。結像側にある投影用対物レンズ部の最終段レンズと接触している第1の浸漬液は例えば、感光性の層と接触することになる第2の浸漬液では不可能である、極めて低い表面張力を有することが可能である。第1の浸漬液は、確実に第2の浸漬液のように容易に浄化可能でなければならないわけではない。なぜなら、それは感光性の層によって不純物汚染を受けることがあり得ないからである。化学的反応性の観点から見た2つの浸漬液の適応化がさらに企画されてもよい。例えば石英ガラスとフッ化カルシウム結晶は異なった相互作用を隣接する液体とするので、浸漬液はそれらが隣接する光学面と可能な限り少なく化学的に反応するような方式で選択されてもよい。

20

【0024】

この構成では、終端素子は移動可能な方式で配置されることが好ましい。移動可能性は、固定型の投影用対物レンズ部と感光性の層との間、実用的に任意の比にある第1の浸漬液と第2の浸漬液との間の相対的運動の結果として生じる力である、浸漬液に作用する剪断力を持たせることができる。

30

【0025】

投影露光システムの走査動作中に終端素子が感光性の層と同期して動かされる場合、走査動作全体にわたって浸漬液内で力を一定にさせるようにしてもよい。これは液体の層流の形成に有利に働き、泡の形成を無効化する。特に、終端素子が感光性の層と平行の平面内で移動させられる場合にこれが当てはまる。

【0026】

40

第2の浸漬液の最小の移動に関して、投影中に終端素子と感光性の層が類似した移動速度と移動方向を有すると特に好ましい。そのとき、終端素子と感光性の層の間のどのような相対的移動ももはや存在しない。その結果、感光性の層と終端素子の共通した移動運動にもかかわらず第2の浸漬液は第2の隙間の中で運動自在で残る。これが理由で、それは第1の浸漬液よりも高い粘度を有することがやはり可能である。

【0027】

それでもまだ第2の浸漬液の中で流れが生じる場合、これらは走査動作中の加速と減速の過程の中で現れる慣性力に起源を有する。もし、これらの慣性力が充分に小さければ、それ以外の場合では浸漬液を結像側の最終段レンズと感光性の層との隙間に保持するためには必要となる追加的な対策は省略されてもよい。これらの対策は概して泡発生を助長する

50

ので、本発明のこの構成によって、第2の浸漬液の領域の泡を極めて大幅に回避することができる。

【0028】

第1の浸漬液の領域では走査動作の過程の中で投影用対物レンズ部と終端素子との間に相対的移動が起き、結果として第1の浸漬液に作用する剪断力もやはり生じるが、ウェハとは違って、走査動作中に第1の浸漬液の望ましくない放出を防止するエッジを終端素子に設けることが可能である。したがって、やはり第1の浸漬液についても、浸漬液の放出を防止するための、例えば入射するガス流のような追加的な対策は不必要である。したがって、第1の浸漬液中でも泡が生じる可能性はないか、または感知可能な量に生じることがない。

10

【0029】

このエッジは終端素子に直接形成されてもよい。しかしながら、もし、このエッジが結像側にある投影用対物レンズ部の最終段レンズに向かう方向に開いてその底部に終端素子が配置されるタンクの一部であれば好ましい。そのとき、タンク自体は不透明の材料、例えば金属または結晶材料で構成されてもよい。例えば結晶シリコンのような結晶材料は寸法の面で極めて安定であるという利点を有する。低い比重、剛性、低い化学的反応性によって、例えばSiCを主成分とするようなセラミックもやはりタンク用の材料として高度に適している。そのとき、例えば石英ガラスで構成される終端素子はタンクの底部に投影光が通過することが可能な窓の形を形成する。

20

【0030】

平行移動の可能性を有することに加えて、終端素子は像平面に平行な傾斜軸の周りで傾けられることもある。この傾斜能力によって、第1、第2の浸漬液の移動が影響される追加的な自由度を形成する。

【0031】

終端素子と感光性の層との間の最大間隔が移動方向の前方に置かれるような方式で、例えば露光中断中の位置決め移動中に終端素子が傾けられれば、一種の楔形の隙間が終端素子と感光性の層との間に生じる。この隙間の中で、第2の浸漬液は感光性の層の上でかつそれを越えるウェハの位置決め移動の進路に引きずられる。このケースでの傾斜の動きは、終端素子と感光性の層との間の最短の間隔が小さいために粘着力の結果として第2の浸漬液がこの隙間を通り抜けることが不可能となるような方式で達成される。そのため、第2の浸漬液をウェハの表面の上に極めて単純な方式で、また一層長い距離にわたってかつ一層高速で移動させることができる。

30

【0032】

終端素子上にエッジが設けられる場合、前記エッジは終端素子の傾斜の動きの過程で第2の浸漬液がエッジによってそれでもなお放出を防止されるような方式で寸法設定されなければならない。それゆえに、概して露光時の移動運動よりも高速で実行されるウェハの位置決め移動の過程でもやはり、入射するガス流または類似した対策の助けを借りて浸漬液を引きずることが当てはまらなくなる。したがって、位置決め移動の過程でも、感知可能な泡の形成は起こらない。

【0033】

40

場合によっては、あるいは終端素子の傾斜可能性にやはり加えて、像平面に直角に終端素子を移動させるように準備されてもよい。そのとき感光性の層と終端素子との間の間隔は、例えば、粘着力が理由で浸漬液が第2の隙間に単独で残る程度まで小さくされてもよい。

【0034】

投影用対物レンズ部に相対したウェハの移動の過程で単に粘着力が理由で、または終端素子の傾きが理由で、結像側にある最終段レンズの近辺に第2の浸漬液を保持することが不可能であれば、それ自体知られている保持用デバイスを追加的に設けてもよく、それが非接触の方式で第2の浸漬液を第2の隙間の中に保持することが好ましい。この目的で、保持用デバイスは例えば、その吐出開口部が第2の浸漬液に向けて方向付けられることが

50

可能な少なくとも 1 つのガス・ノズルを含むことが可能である。

【 0 0 3 5 】

本発明の他の好都合な構成では、少なくとも第 1 の隙間が密閉可能な容器内に配置される。この容器は例えば、投影用対物レンズ部によって貫かれ、かつウェハのための支持構造全体を覆う一種のハウジングであることが可能である。浸漬液の蒸発の結果として、いくらかの時間の後に容器の中で飽和蒸気圧が生じ、再び同時に凝縮するよりも多くの浸漬液が蒸発するのを防止する。この方式で、浸漬液が周囲の気体と接触するようになる場所では蒸発の潜熱が生じることはあり得ない。そのようなタイプの放熱は温度の不均一な分布を引き起こし、それゆえにまた、浸漬液の屈折率の不均一な分布も引き起こし、その結果として画像化特性が損なわれる。

10

【 0 0 3 6 】

しかしながら概して、容器の中で相対的に小さい表面で単に蒸発の結果として飽和蒸気圧が生じ終えるまでに極めて長い時間がかかる。したがって、もし、投影露光システムが容器の中で第 1 の浸漬液の蒸気相を供給するための供給デバイスを有するならばさらに好ましい。たとえ第 1 の浸漬液が第 2 の浸漬液と異なっていても、概して、第 2 の浸漬液の蒸発を妨げることもやはり不必要であり、なぜならば終端素子の結果として周囲の気体との接触部分は極めて小さいからである。

【 0 0 3 7 】

容器内の第 1 の浸漬液の蒸気相の蒸気圧が、容器内に行き渡った温度での第 1 の浸漬液の蒸気相の飽和蒸気圧に少なくとも殆ど等しくなるような方式で調節されてもよいときに、第 1 の浸漬液の最小の冷却が得られる。

20

【 0 0 3 8 】

局所的な蒸発の結果となる第 1 の浸漬液の中の温度のばらつきを未然に防ぐための別の可能性は、カバーによって少なくとも部分的に第 1 の隙間を上向きの方向で覆うことにある。このカバーは、蒸発の結果として冷却が生じる周囲の気体への接触部分のサイズを小さくする。このカバーは、例えば、気体で満たされた少しの接触部分だけがカバーと第 1 の浸漬液との間に残るような方式で構成されてもよい。蒸発の結果として飽和蒸気圧が比較的迅速にそこに生じる。

【 0 0 3 9 】

しかし隙間の中の気体は、その密度が周囲の気体の密度よりも大きい特定の保護用気体であることもやはり可能である。大きい密度の結果として、保護用気体は重力によって隙間の中に保持される。この保護用気体はさらに、第 2 の浸漬液中の溶解度が可能な限り低く、好ましくは体積で 10^{-4} パーセントよりも低くなるようにされるべきである。この方式で、伝達パワーの不本意な減少、または溶液中に消えた保護用気体に起源を有する第 2 の浸漬液内の屈折率の変化は是正されてもよい。

30

【 0 0 4 0 】

カバーが途切れる場所だけに周囲の気体または前述の保護用気体への接触部分が残るようすに第 1 の浸漬液がカバーに直に隣接すればさらに好都合である。

【 0 0 4 1 】

これは、例えば、結像側にある最終段レンズの領域内に設けられる凹部の領域での場合である。そのとき、カバーは投影用対物レンズ部に接触せず、同時に、終端素子とカバーとの間の容積が常に完全に第 1 の浸漬液で満たされるようにレンズとカバーの間の周縁隙間を介して水準の均等化が起こる。

40

【 0 0 4 2 】

これに関しては、終端素子の移動運動中にカバーの下側に沿って密閉する方式でスライドするエッジをタンクが有すれば特に好都合である。このエッジは、一方では、第 1 の浸漬液の横方向への放出を防止する。同時に、上方を指すその側面で、カバーに向かう方向に作用するシールを形成する。

【 0 0 4 3 】

第 1 の浸漬液で構成され、潤滑用シールとして作用する液体の膜が上方を指すエッジ側

50

面とカバーとの間に常に残存することが好ましい。この液体の膜がタンクの移動中に崩れ去らないように、上方を指すエッジ側面の中に液体リザーバが沈め込まれることが可能であり、そこから外へと浸漬液が引き続き流れる。たとえタンクとカバーとの間の相対的移動がエッジの境界領域に負圧を生じるときでも液体の膜が崩れないように、浸漬液は液体リザーバの中で圧力下にあることが好ましい。液体リザーバの中の圧力は、例えば、第1の浸漬液がタンクの外側から液体リザーバへと圧力下で供給されることによって作られるてもよい。

【0044】

タンクのエッジとカバーとの間の狭い隙間を通り抜け、潤滑作用を示す少量の第1の浸漬液をエッジの少なくとも一方の外側に集めるために、オーバーフローする第1の浸漬液を集めてそれを運ぶオーバーフロー流路が配置されてもよい。

10

【0045】

付け加えると、前述の構成全部で、終端素子が第1、第2の浸漬液と少なくとも殆ど同じ屈折率を有すれば好ましい。この方式で、終端素子の少しの環境不適応が前記液体の光学特性にどのような影響も殆ど有さないことが確実になる。これが理由で、終端素子の屈折率は隣接する浸漬液の屈折率から1%以下、好ましくは0.5%以下しか異ならない。

【0046】

これは、例えば、浸漬液を水にし、かつ終端素子をLiFで構成することによって得られる。

【0047】

終端素子が屈折力を備えていなければ特に好都合である。ここで「屈折力を備えていない」とは光を集中または分散させる効果を有さない光学素子の特性を意味すると理解されるべきである。そのような光学素子の例は均一な材料で作製された平面平行のプレートである。そのようなプレートは、実際では投影用対物レンズ部の像平面の位置と球面収差の補正に対する影響を有し、投影用対物レンズ部の設計ではこの量が考慮に入れられるべきである。しかしながら、屈折率の違いが境界面に存在することを前提とすると、そのようなプレートは平行に或る角度で入射する光線にオフセットを生じさせる。そのオフセットの程度は入射の角度に応じて決まる。この方式で、調節に関する必要条件がさらに下げられ、したがって終端素子の洗浄または交換の後の調節努力がやはり削減されるので、屈折力を備えていない終端素子は有利である。

20

【0048】

例えば、石英ガラスは終端素子用の材料を目的として検討材料に入る。遠紫外スペクトル領域の極めて短波長、特に157nmの波長の投影光のケースでは石英ガラスまたは他の従来式の光学材料はもはや充分に透過性ではないので、フッ化カルシウム、フッ化バリウム、もしくはフッ化ストロンチウムの結晶、あるいは例えばカルシウム-バリウムのフッ化物といった混晶さえ代替品として提案してきた。これらの材料もやはり終端素子のための検討材料に入る。しかしながら、これらの立方晶は固有の複屈折を示し、適切な対策がとられなければこれは結果として投影用対物レンズ部の結像特性の欠陥につながる。

30

【0049】

これが理由で、終端素子は少なくとも2つの部分的素子を有することが好ましい。1つは上述した結晶で、厚さを述べたように選択し、他は1つの結晶に対して通り抜ける投影光に対する固有の複屈折の影響が少なくとも殆ど補償されるように、かつそのように結晶格子が配向さらた結晶を含む。

40

【0050】

これらの部分的素子は、例えば、継ぎ目無く互いに連結されることが可能であり、あるいは光学軸の方向で互いに間隔を置くようにしてもよい。直ぐ前に述べられたケースでは、全周を密閉されることが好ましいこれら部分的素子間に残る隙間は、投影光が透過する液体で同様に満たされてもよい。これら部分的素子間の隙間に隣接する面は確実に平坦でなければならないわけではなく、曲率を持っていても良い。部分的素子の隙間の方を向く対物側の面が凹面で、かつ/または部分的素子の隙間の方を向く結像側の面が凸面であれ

50

ば、大きな開口角度で傾けられた終端素子を通り抜ける光線についてもやはり固有の複屈折の良好な補償が達成される。隣接する面が曲がっており、かつ互いに平行して延び、それにより、光学軸に沿った隙間の広さが少なくとも殆ど一定となる隙間は追加の利点を有する。

【0051】

本発明の別の好都合な構成では、投影光が通り抜ける終端素子の少なくとも一方の面が、波面誤差を補正する観点で局所的な材料除去によって再加工される。数ナノメートルのオーダーのわずかな材料除去による波面変形の補償の、それ自体で知られているこの処理は終端素子のケースで特に効果的に使用される。なぜならば終端素子は像平面の直ぐ隣りに配置されるからである。これに関しては、終端素子と浸漬液の屈折率の商が浸漬液を伴なわない乾式のシステムよりも小さく、それにより、乾式のシステムと同じ効果を達成するためにこれに対応してさらに多くの材料が除去されなければならないことに気付かれるはずである。特に、終端素子が平面平行のプレートであるとき、一方もしくは両方の面の再加工は特に容易であることが分かる。

【0052】

本発明の別の好都合な構成では、浸漬液と接触する状態になることが可能な終端素子の少なくとも一方の表面上に浸漬液に非透過性である保護用の層が付けられる。そのような保護層はフッ化物の結晶が終端素子のための材料として使用されるときに特に好都合であり、なぜならばこれらの結晶は水に比較的高い溶解性を示すからである。そのようなタイプの層の塗布の結果として、仮に水または水を含む物質が浸漬液の目的で使用されても材料は浸食されることを防止される。そのような保護層の塗布は終端素子との関連だけではなく、フッ化物立方晶から成る光学素子すべてのケースで、特に浸漬液と接触するようになる可能性の高いフッ化カルシウム結晶のケースでまったく一般的に好都合である。

【0053】

保護層の塗布の過程では、保護されるべき面を保護層が完全に覆うことを確実にするように注意が払わなければならない。保護層の極めて小さい開口でさえ、結果として浸漬液の浸透と下層の浸食の形成につながる可能性が高い。この観点から、極めて高い稠密度(98%よりも大きいことが好ましい)の保護層のイオンアシスト蒸着が好都合である。なぜならば結果として投影露光システムの動作の過程で保護層の局所的な脱離が大幅に防止されるからである。ここで材料の「稠密度」は、所定の結晶化度に関して材料が完全に空洞を有さない基準密度に対する材料の特定の密度の比を意味すると理解されるべきである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0054】

本発明のさらなる利点および特徴は図面を基にした以下の例の実施形態の説明から明らかになるであろう。

【0055】

図1は本発明の第1の例の実施形態による全体を10で表示されるマイクロリソグラフィ投影露光システムを経線方向に貫く断面を大幅に単純化した概略的表現で示している。投影露光システム10は、投影光13を発生させるための照明デバイス12を備えている。それは、16で示される光学系を照明するための光源14と絞り18を有する。表わされている例の実施形態では、投影光は157nmの波長を有する。

【0056】

投影露光システム10はさらに、複数のレンズを含む投影用対物レンズ部20を有し、図1では明瞭化するためにそれらのうちの数個だけが例として表わされ、L1からL5で表示されている。投影光13の短い波長が理由で、レンズL1からL5はこれらの波長でもなお充分に透過性であるフッ化カルシウム結晶から作製される。投影用対物レンズ部20は、投影用対物レンズ部20の物体平面22内に配置されるレチクル24を、投影用対物レンズ部20の像平面28内に配置され、支持体30上に設けられる感光性の層26上に縮小方式で結像させるようにはたらく。

10

20

30

40

50

【0057】

支持体30は、上方に開口していくいすれの詳細も描写されていない方式で移動用デバイスの補助で像平面28に平行に動かされるタンク状の容器32の底部に固定される。容器32は、投影露光システム10の動作中に投影用対物レンズ部20が結像側の最終段レンズL5と共に浸漬液34中に浸されるような程度まで浸漬液34で満たされる。描かれている例の実施形態では、このレンズL5は大口径でかつ比較的厚いレンズであるが、しかしここでは平面平行プレートもやはり「レンズ」という用語に包含されるべきである。

【0058】

供給ライン36と排液ライン38を介して容器32は調節ユニット40へと接続され、その中に、それ自体知られており、したがっていすれの詳細も描かれていらない方式で循環用ポンプ、浸漬液34を浄化するためのフィルタ、温度制御デバイスが含まれている。調節ユニット40、供給ライン36、排液ライン38、容器32が全体で42で表示される浸漬デバイスを形成し、その中では浸漬液34が循環させられ、処理の中で浄化され、かつ一定の温度に保たれる。浸漬デバイス42はそれ自体知られている方式で、投影用対物レンズ部20の解像力および/または被写界深度を高めるために役立つ。

10

【0059】

結像側にある最終段レンズL5と感光性の層26との間に残る隙間43の中には交換素子44が配置されるが、その詳細は以下で図2に基づいて説明されるであろう。

【0060】

図2は図1から拡大された細部の投影用対物レンズ部20の結像側端面45を示している。拡大された描写では、終端素子44が、例えば円形もしくは長方形の基台領域と平面平行のプレートを有し、分離してかつ調節可能に、46、48で示される2つの固定用素子を介して投影用対物レンズ部20の結像側端面45に取り付けられていることを見ることができる。分離可能性を例示する観点で、ネジ接続52が固定用素子46に示されている。調節の目的で複数の微調整駆動部が設けられ、それらは図2の中でマイクロメーターネジ54、55、56、57で示されている。

20

【0061】

終端素子44は互いに接続された2つのプレート状の部分的素子44a、44bを有し、それらは同じ寸法を有し、かつ継ぎ目無しに互いを支え合っている。投影光13の短い波長が理由で、2つの部分的素子44a、44bもやはりフッ化カルシウム結晶から作製される。2つの部分的素子44a、44bの結晶格子は、終端素子44に関して固有の複屈折の回転対称の分配が全体的に生じるような方式で配向させられる。これの代替例として、終端素子44は異なる結晶配向を備えた2つ以上の部分的素子を含むこともやはり可能である。合計4つの平面平行の部分的素子を備えると、例えば、入射の任意の方向に対して固有の複屈折によって引き起こされる極めて大きい遅延を補償することが可能である。本願明細書で検討される結晶配向の例は、例えばWO 02/093209-A2号、WO 02/099450-A2号、米国特許出願2003/0011896-A1号からもやはり集めることができあり、それらの全開示は本願明細書で本出願の主題事項にされる。

30

【0062】

図2に示された第1の例の実施形態のケースでは、浸漬液34は、すべての側部から交換素子44の周囲を流れ、特に、一方では終端素子44、他方では感光性の素子26または結像側の最終段レンズL5の間に残る2つのギャップ状の隙間64、66の中に位置する。

40

【0063】

投影露光システム10の動作中に、もし感光性の層26からの物質の放出またはその比較的小さい部分の機械的剥離が生じれば、浸漬液34中に含まれる不純物が投影用対物レンズ部20の最終段レンズL5の結像側境界面68に達するのを終端素子44が阻止する。2つのギャップ状の隙間64、66は互いから完全に分離しているわけではないので、そのような接触もやはり全体として除外されないが、ギャップ状の隙間64、66との間

50

の液体の交流は間に置かれる終端素子 4 4 によって少なくとも大幅に困難にされる。これが理由で、不純物汚染された浸漬液 3 4 は実際では最終段レンズ L 5 まで上がることはなく、大部分は排液ライン 3 8 を経由して調節ユニット 4 0 へと供給されてその中で浄化される。

【 0 0 6 4 】

終端素子 4 4 の保護効果によって、不純物汚染された浸漬液 3 4 による不純物汚染のせいで最終段レンズ L 5 を交換することや、それに関連して複雑な様式でそれを調節することがほとんど不要となる。

【 0 0 6 5 】

他方で、感光性の層 2 6 から広がる不純物により高い割り合いで晒される終端素子 4 4 の交換は比較的容易であるということが分かるであろう。これを行なうためには、単に固定用素子 4 6 、 4 8 が、ネジ接続 5 2 の補助で投影用対物レンズ部 2 0 のハウジングから緩められるだけでよい。洗浄または交換の直後に続く終端素子 4 4 の導入もやはり殆ど調節を必要とせず、したがって容易である。平面平行プレートの形の設計によって終端素子 4 4 は屈折力を備えておらず、したがって結像特性に対して比較的小さい影響を有するだけである。これは、浸漬液の適切な選択を前提として極めてわずか、もしくは極小の屈折効果しか投影光 1 3 に晒される境界面で生じないように終端素子 4 4 が浸漬液 3 4 の中に浮いていることもやはり理由となって有効である。

【 0 0 6 6 】

フッ化物結晶から作製され、浸漬液と接触するようになる可能性の高い光学素子すべてについて、好ましくは少なくとも光学的に活性な面に保護層が塗布され、それが影響を受け易い結晶を浸漬液から保護する。図 2 に描かれた第 1 の例の実施形態では、したがってそのようなタイプの保護層 7 4 、 7 6 、 7 8 がレンズ L 5 の結像側境界面 6 8 と、終端素子 4 4 の上側 7 0 と下側 7 2 にもやはり塗布される。

【 0 0 6 7 】

保護層 7 4 、 7 6 、 7 8 のための材料の選択は、とりわけ使用される浸漬液に応じて決まり、他方では使用されている投影光の波長を考慮に入れて選択される。193 nm の光波長のケースでは、浸漬液を目的として例えば水が検討材料に入るが、水中での比較的高い溶解度によってこれは結晶のフッ化カルシウムを急速に浸食する。このケースでは保護層 7 4 、 7 6 、 7 8 は SiO₂ または LaF₃ で構成されることが好ましく、なぜならばこれらの物質は水に溶けないからである。

【 0 0 6 8 】

上述された例の実施形態に使用されるような 157 nm の光波長のケースでは、或る種のオイルが水よりも高い透過率を有しており、したがって浸漬液の目的でより良く適している。そのとき、例えば同様に高度に透過性の物質である MgF₂ または LaF₃ が、保護層 7 4 、 7 6 、 7 8 のための材料として検討材料に入る。

【 0 0 6 9 】

規定された材料で構成される保護層 7 4 、 7 6 、 7 8 は問題になっている光学素子の境界面上に真空中での蒸着コーティングによって形成させることができる。

【 0 0 7 0 】

図 3 はマイクロリソグラフィ投影露光システムの第 2 の例の実施形態を図 2 に基づいた表現で示しており、類似した部品については図 2 と同じ参照番号が使用され、互いに対応する部品については 200 増やされた参照番号が使用される。第 2 の例の実施形態では終端素子 244 が隙間 66 を介して結像側の最終段レンズ L 205 から分離されることはなく、前記レンズと光学的に直接接続される。レンズ L 205 と終端素子 244 が同じ屈折率を有する材料から作製されることを前提とすると、投影光 13 は屈折させられることなく終端素子 244 と最終段レンズ L 205 との間の境界面を通り抜ける。光学的接触による固定法は、固定用素子 46 、 48 が必要とされないという利点を有する。付け加えると、交換の後に終端素子 244 は実際では調節されることを必要としない。なぜならば終端素子 244 とレンズ L 205 にそれぞれ関連して互いに向かって対面する 2 つの平坦な境

10

20

30

40

50

界面 270、268 が、光学的接触の過程でそれら自体によって正しい配列を保証するからである。

【0071】

終端素子 244 の結像側の面 272 は（大幅に誇張した規模で図 3 に描かれた）いくつかの地点 79a、79b で、投影用対物レンズ部 220 によって引き起こされる波面誤差が補正されるような方式で数ナノメートルの量で材料を除去することによって再加工される。そのようなタイプの再加工の方法はそれ自体で知られているので、さらに詳しい説明は省略されるであろう。

【0072】

図 4 は投影露光システムの第 3 の実施形態を図 1 に基づいた描写で示しており、同じ部品については図 1 と同じ参照番号が使用され、互いに対応する部品については 300 増やされた参照番号が使用される。図 4 に示された投影露光システムは、1 つではなく 2 つの互いに独立した浸漬デバイス 342a、342b を有するという点で図 1 に示されたそれとは異なる。ここでは容器 332 は、終端素子 44 と結像側にある最終段レンズ L5 との間のギャップ状の隙間 366 が全体として部分的容器 332a の中に配置され、かつ終端素子 44 と感光性の層 26 との間のギャップ状の隙間 364 が全体として部分的容器 332b の中に配置されるような方式で間仕切り 80 によって 2 つの部分的容器 332a、332b へと水平方向に部分分割される。終端素子 44 は部分的容器 332a と 332b との間の間仕切り 80 内に適切に形作られた切り抜き 82 の中にクリアランスを備えて沈められる。

10

20

【0073】

別々の浸漬デバイス 342a、342b 内の浸漬液 334a、334b を分離したため、部分的容器 332b から由来する不純物汚染された浸漬液は終端素子 44 とレンズ L5 との間のギャップ状の隙間 366 に入り込み、この方式でレンズ L5 を不純物汚染させることを阻止される。

【0074】

以下では、投影用対物レンズ部の結像側から由来する細部とその拡大された詳細な描写をそれぞれ概略で示す図 5、6 に基づいて第 4 の例の実施形態を述る。図 1 から 4 の中のそれらと類似した部品は同様の参照番号で示され、互いに対応する部品は 400 増やされた参照番号で示される。

30

【0075】

第 4 の実施形態では、終端素子 444 は像平面 28 に平行に設けられる。終端素子 444 は同様に平面平行プレートの形に構成されるが、しかしこれは上述された実施形態のそれよりも大幅に大きい。描かれている例の実施形態では、終端素子 444 は長方形の基本的形状を有し、タンク 488 の底部 486 に沈められる。タンク 488 は、例えば金属、セラミック、または結晶体から作製されることが可能であり、描かれている例の実施形態では脱イオン水である浸漬液 434a を受け容れる役目をする。第 1 の浸漬液 434a の適切な充填高さを前提として結像側の最終段レンズ L5 と終端素子 444 との間の第 1 の隙間 492 が第 1 の浸漬液 434a で完全に満たされるようにタンク 488 のエッジ 490 は高い。

40

【0076】

終端素子 444 と感光性の層 26 との間には平坦な第 2 の隙間 494 が残り、それが第 2 の浸漬液 434b で満たされる。描かれている例の実施形態では、第 2 の浸漬液 434b は同様に脱イオン水である。第 2 の浸漬液 434b が第 2 の隙間 494 から外へ横方向に滲み出るのを粘着力によって防止するように第 2 の隙間 494 は平坦である。終端素子 444 と感光性の層 26 との間の間隔が小さくなるにつれて、粘着力が第 2 の浸漬液 434b を第 2 の隙間 494 の中で良好に保持する。

【0077】

像平面 28 に相対した終端素子 444 の平行度に関する要求条件を下げるために、周囲の浸漬液 434a、434b の屈折率に可能な限り等しい屈折率を有する材料が終端素子

50

444に対して選択される。浸漬液を目的として水が使用されるケースでは、少なくとも193nmの波長でもまだ高度に透過性であるLiFが、例えば、終端素子444のための材料を目的として適切である。そのとき、屈折率の違いはわずか0.0066の量になる。

【0078】

投影光が特に短い波長、例えば157nmを有するならば、第1の浸漬液434aもやはり、これらの波長で水よりも高い透過率を有する炭化水素フッ化物で構成できる。第2の浸漬液434bについては、概して第2の隙間494の高さが極めて低いであろうからいくぶん低い透過率もそれほど不利ではない。付け加えると、水は炭化水素フッ化物のケースほど重度に感光性の層26を浸食しないという利点を有する。

10

【0079】

第4の例の実施形態では、投影露光システムは走査動作に設計される。これは、投影時にレチクル24が物体平面22内で移動させられることを意味する。これと同期して、上に感光性の層26を塗布された支持体30もやはり像平面28に平行に移動させられる。投影用対物レンズ部420の横方向の倍率がレチクル24と支持体30の移動スピードと移動方向を決定する。

【0080】

この目的のために支持体30は図5で識別可能なクランプ用素子31a、31bの補助で通常ではウェハ・ステージとして指定される可動性のテーブル33上にクランプ締めされる。テーブル33を、作動用の駆動部の補助でそれ自体知られている方式で像平面28に平行に優れた精度で移動させることが可能である。この作動用の駆動部は図5に単純化された方式で描かれており、35a、35bで表示される。

20

【0081】

一緒にになってテーブル33の移動運動を実行するようにマニピュレータ497a、497bがテーブル33に取り付けられている。マニピュレータ497a、497bは作動用のアーム498a、498bを介してタンク488へと接続される。マニピュレータ497a、497bは、タンク488を像平面28に平行でかつテーブル33に相対して動かし、それに直角に、すなわち軸OAに平行に移動させ、像平面28に相対して傾けることもやはり可能となるような方式で構成される。描かれている例の実施形態では、特に傾斜の動きは、テーブル33の運動の方向に直角方向と、軸OAに直角に延びる2つの水平方向の軸について可能である。

30

【0082】

さらに、図5では場合によって使用されるガス放出ノズル499a、499bが識別可能であり、これらでもってガス流はタンク488のエッジ490と感光性の層26との間に形成される周縁部ギャップ上に方向付けられることが可能である。

【0083】

図5、6に示された投影露光システムは以下のように動作する。

【0084】

走査動作中に、テーブル33は作動用駆動部35a、35bの補助で矢印496b(図6参照)の方向にマニピュレータ497a、497bと一体で移動する。マニピュレータ497a、497bはこの処理中に作動運動を実行せず、沈められた終端素子444を備えたタンク488がテーブル33と、したがって感光性の層26ともやはり同期して同じ移動スピードと同じ移動方向で動くようにする。図6では、これは矢印496aで示されており、矢印496bと同じ方向と長さを有する。その結果、タンク488は走査動作中に感光性の層26と一体になって投影用対物レンズ部420の下を通り過ぎる。

40

【0085】

図7は走査動作終了時の、一方ではタンク488と感光性の層26の相対位置、他方で投影用対物レンズ部420の相対位置を図6に対応した細部で示している。走査動作中にタンク488は感光性の層26と同期して平行に同じ移動スピード移動するので、第2の隙間494内の第2の浸漬液434bに剪断力は作用しない。したがって、支持体30の

50

移動運動中にもやはり第2の浸漬液434bは第2の隙間494の中に留まる。第2の浸漬液434bに対する吐出ノズル499a、499bから現れる気体を伴なった入射流はしたがって削減されることが可能であり、無用になることすら可能である。それゆえに、第2の浸漬液434b中の泡の形成の大きな理由のうちの1つは全体的にもしくは部分的にどちらかで当てはまらなくなる。

【0086】

重力が理由で第1の浸漬液434aはタンク488内に単独で留まるので、ここでもまた、走査動作中の浸漬液の脱出を阻止するために気体を伴なった入射流が必要とされることはない。通過する第1の浸漬液434a中で、固定式の投影用対物レンズ部420が生じさせる混合の結果として、泡が感知可能な量で生じることもやはりあり得ない。この方式で相対的に大きな温度勾配が是正されるので、このような混合はまったく望ましい。

10

【0087】

全体として、大幅に減少した不良の数がこの方式で達成される。なぜなら走査動作中の移動運動の結果として第1の浸漬液434a中、または第2の浸漬液434b中で感知可能な量で泡が生じることはいずれもあり得ないからである。

【0088】

連続した複数の露光サイクルの間で、上に感光性の層26を塗布された支持体30を投影用対物レンズ部420に対して再配置することは頻繁に必要となる。これらの位置決め移動の過程での移動スピードは概して露光中の移動の過程でのそれよりも高速である。

20

【0089】

タンク488が支持体30に塗布された感光性の層26と正確に同じサイズであれば、そのようなタイプの位置決め移動中にタンク488を、走査動作と関連させて上記で述べられたようにまさに同期して同じスピードで移動させることが可能である。しかしながら概して、タンク488が支持体30の上に塗布された感光性の層26よりも小さい寸法を像平面28に平行して有していれば様々な理由で好都合であろう。例えば、タンク488が小さくなるほど周囲の気体に対する第1の浸漬液434aの接触部分もまた小さくなる。したがって、第1の浸漬液434aから引き出される蒸発熱もやはり少なくなる。これが今度は他方で第1の浸漬液434aの中の温度の均一な分配、それゆえに屈折率に対して都合の良い影響を有する。この観点から見ると、走査動作中に全体として露光される感光性の層26上の領域よりもタンク488の方がわずかに大きければ理想的であろう。

30

【0090】

しかしながらさらに大きい位置決め移動については、小さいタンク488はタンク488が連動してこの移動を実行することが不可能であって、少なくとも不充分であることを意味する。このケースでは、感光性の層26と終端素子444との間の相対的移動は不可避である。この相対的移動はテーブル33に固定されるマニピュレータ497a、497bによって作られる。

【0091】

支持体30の速い位置決め移動の間でもまた第2の浸漬液434b内の泡の形成を防止するために、図5から7に描かれた実施形態ではタンク488全体がマニピュレータの補助で付加的に傾けられてもよい。

40

【0092】

図8では、投影用対物レンズ部420の結像側端部が図6、7に基づいた描写で示されており、タンク488は2°傾けられている。図8中でTAで示される傾斜の軸は光学軸OAおよび支持体30の移動の方向496bの両方に対して直角に延びる。軸TAについてタンク488が傾く移動のせいで、走査動作中に一定の高さを有する第2の隙間494は楔状のプリズムの形状を与えられる。タンク488の傾斜した姿勢では、移動方向496bで後方に位置するタンク488の端部は、感光性の層26への損傷が避けられる程度まで層26から遠くに移される。ここで作用する粘着力は、たとえ高速の位置決めスピードでも第2の浸漬液434bが第2の隙間494から出て来ることをさらに強力に阻止し、それに対して支持体30は固定式、または最悪でも緩やかに動くタンク488の下を矢

50

印 4 9 6 b の方向で通り過ぎる。

【 0 0 9 3 】

走査動作中に、傾斜軸 T A に関する傾斜の動きが層 2 6 への損傷を有するほど感光性の層 2 6 と終端素子 4 4 4 との間の間隔が小さければ、場合によっては移動方向 4 9 6 b で後方に位置するタンク 4 8 8 の端部を通って延びる傾斜軸が選択されてもよい。マニピュレータ 4 9 7 a、4 9 7 b に関して、これはマニピュレータ 4 9 7 b が移動の方向で前方に位置するタンク 4 8 8 の側面を必要な距離で上げることを意味する。

【 0 0 9 4 】

図 5 から 8 に示された第 3 の例の実施形態で第 1 の浸漬液 4 3 4 a と第 2 の浸漬液 4 3 4 b の熱の不本意な損失を防止するために、投影露光システムは浸漬液 4 3 4 a、4 3 4 b を外方向で取り囲む空間を堅く密封する容器 9 0 を示している。入り口 9 2 を介して、蒸発器 9 4 によって作られる水蒸気が容器 9 0 によって取り囲まれる空間に導入されてもよい。容器 9 0 によって取り囲まれる空間の中で現在の温度に当てはまる飽和蒸気圧が達成され、少なくとも近似するようなときまで水蒸気が導入される。この方式で、ここでは各々が水で構成される浸漬液は、結果として周囲の空気への接触部分の液体の冷却につながるであろう徐々に蒸発することを防止される。他の浸漬液への切り替えの事象で、他の浸漬液もやはり対応して蒸発器 9 4 の中に蒸発させられるべきであることは理解されるであろう。

【 0 0 9 5 】

投影用対物レンズ部の結像側端部から由来する細部とその描写 D の拡大された細部それを概略で示す図 9、1 0 に基づいて第 5 の例の実施形態が以下で述べられるであろう。図 1 から 4 のそれらに類似した部品は同じ参照番号で示され、第 4 の例の実施形態の対応物を有する部品は 1 0 0 増やされた参照番号を有する。

【 0 0 9 6 】

図 5 から 8 に示された第 3 の例の実施形態とは対照的に第 5 の例の実施形態では、追加のカバー・プレート 5 0 0 が設けられ、それがタンク 5 8 8 をほぼ全体的に上向きの方向で覆う。透明である必要のないカバー・プレート 5 0 0 は開口部 5 0 2 を示しており、それを通って投影用対物レンズ部 5 2 0 の結像側端部が第 1 の浸漬液 5 3 4 a の中に浸される。タンク 5 8 8 のエッジ 5 9 0 は矢印 5 9 6 a で示されるタンク 5 8 8 の移動運動の過程でカバー・プレート 5 0 0 の下側に沿ってスライドする。

【 0 0 9 7 】

カバー・プレート 5 0 0 とタンク 5 8 8との間の空間は第 1 の浸漬液 5 3 4 a で完全に満たされる。この目的のために開口部 5 0 2 はあるサイズ、周縁部ギャップ 5 0 4 が投影用対物レンズ部 5 2 0 の結像側端部の周りに残り、そこで液体のレベルを調節できるようなサイズにされる。

【 0 0 9 8 】

図 1 0 はエッジ 5 9 0 の領域から拡大された細部 D を示している。細部 D では、タンク 5 8 8 のエッジ 5 9 0 がその上方を指す横方向の面上に周縁部の楔形の溝 5 0 6 と、同様に周縁部のさらに大きな断面の長方形の溝を設け、浸漬液 5 3 4 a のためのリザーバ 5 0 8 を構成していることが理解できるであろう。リザーバ 5 0 8 とダクト 5 1 0 を介してリザーバ 5 0 8 へと接続される楔形の溝 5 0 6 は常に第 1 の浸漬液 5 3 4 a で満たされ、それにより、上方を指しているエッジ 5 9 0 の横方向の面上に薄い液体の膜が形成される。この液体の膜は潤滑部として作用し、この方式でカバー・プレート 5 0 0 の下側に沿ったタンク 5 8 8 の低摩擦で振動のないスライド移動を可能にする。

【 0 0 9 9 】

カバー・プレート 5 0 0 の下でのタンク 5 8 8 の移動の過程で液体の膜が気泡を伴なつて崩れ去り、それにより第 1 の浸漬液 5 3 4 a の中に確実に導入されないようにするために、リザーバ 5 0 8 と楔形の溝 5 0 6 内の第 1 の浸漬液 5 3 4 a はわずかに過圧である。この過圧は供給ライン 5 1 2 を経由して第 1 の浸漬液 5 3 4 a が定常的に圧力下でリザーバ 5 0 8 へと供給されることによって作られる。同時に、余剰の第 1 の浸漬液 5 3 4 a は

10

20

30

40

50

排液ライン 514 を経由して流れ去ることが可能である。カバー・プレート 500 の静荷重によって作られる接触圧が対抗圧力の目的で不充分であれば、カバー・プレート 500 は、例えばバネの補助で追加的に荷重されてもよい。

【0100】

第1の浸漬液 534a がいくぶん広めのギャップ 516 を通ってエッジ 590 の外側に現れるケースについては、周縁部のオーバーフロー流路 518 が設けられ、それがあふれた第1の浸漬液 534a を集めて詳細に描かれていない方式でそれを連れ出す。空気よりも重く、例えば第1の浸漬液 534a に関して極めて低い溶解度しか持たない特性を有する保護用の気体 519 がオーバーフロー流路 518 の中に充填されてもよい。結果として、配列全体を取り巻き、第1の浸漬液 534a の光学特性を望ましくない方式で損なう気体の分子は溶液の中に入ることを阻止される。オーバーフロー流路 518 内の保護用の気体 519 は周囲の気体との徐々の混合を妨げるために継続的に新品と交換されが好ましい。

10

【0101】

エッジ 590 の領域の密封は、感光性の層 26 の支持体 30 が像平面 28 に平面平行に頻繁に移動させられるだけでなく、結像誤差を減少させる観点から水平軸に関してわずかに傾けられる可能性が高いので、重要である。そのときそれと一体にカバー・プレート 500 が傾けられないのであれば、エッジ 590 に向かう方向の密封は、たとえタンク 588 の相対的に小さい傾斜の動きのケースであってもカバー・プレート 500 との関連で充分な不浸透性を保証するように構成されなければならない。

20

【0102】

第1の浸漬液 534a による潤滑が、時間が短いため、カバー・プレート 500 とエッジ 590 にとって不充分であるケースが生じる可能性が高い場合、起動の過程での擦り傷の結果として生じる第1の浸漬液 534a の不純物汚染を最小にするかまたは完全に回避できる、これらの部品の材料またはコーティングを選択することが賢明である。例えば酸化アルミニウムまたはダイヤモンドがここではコーティングとして検討材料に入る。

20

【0103】

カバー・プレート 500 は一方では、タンク 588 での波の発生が防止されるという利点を有する。他方で、カバー・プレート 500 は周囲の雰囲気に相対する第1の浸漬液 534a の接触部分を投影用対物レンズ部 520 の結像側端部とカバー・プレート 500 との間に残る狭い周縁部ギャップ 504 に限定する。この方式で、極めてわずかな熱だけが蒸発の結果として第1の浸漬液 534a から引き出される。これが今度は他方で投影光 13 による加熱の過程で形成される第1の浸漬液 534a の中の温度勾配、およびそれゆえに屈折率の勾配を減少させる。第2の浸漬液 534b のケースでは、いずれのケースでも第2の浸漬液 534b と周囲の雰囲気との間の接触部分が極めて小さいので蒸発の問題は感知可能な程度に存在しない。

30

【0104】

浸漬液 534a、534b を第1、第2の隙間 592、594 の中にそれぞれ導入するために、比較的少量の第2の浸漬液 534b が先ず最初に感光性の層 26 の上に塗布されることが好ましい。引き続いてタンク 588 の下側が一方の側または平行に搭載され、第2の浸漬液 534b が泡の無い方式で絞り出される。タンク 588 と感光性の層 26 との間の間隔はマニピュレータ 497a、497b の補助で後に正確に調節されてもよい。

40

【0105】

引き続いてカバー・プレート 500 がタンク 588 の上に置かれる。タンク 588 を第1の浸漬液 534a で満たすために、後者は例えば、投影用対物レンズ部 520 とカバー・プレート 500 との間に残る周縁部ギャップ 504 を介して充填されてもよい。しかしながら、タンク 588 のエッジ 590 に入り口と出口を設ければさらに簡単であり、それらを経由して第1の浸漬液 534a がタンク 588 の中に充填され、そこから除去することができる。投影露光システムの動作中に、最初の3つの例の実施形態に関連して説明したように第1の浸漬液 534a を連続的に回路内で循環させることもやはり可能である。

50

【0106】

もちろん、図9、10に示された配列は第4の例の実施形態に関連して図5に示されたように容器90内に同様に収容されることも可能である。この方式で、浸漬液の蒸発はさらに減少させられる。

【0107】

図11から16は各々、本発明のさらなる例の実施形態による投影用対物レンズ部の結像側端部を図2に基づいた概略の描写で示している。これらの図では、図2のそれらに類似した部品については同じ参照番号が使用され、互いに対応する部品については600、700、800、900、1000、1100をそれぞれ増やされる参照番号が使用される。

10

【0108】

図11に示された第6の実施形態では、結像側にある最終段レンズL605の結像側境界面668は平坦ではなく非球面凹面の様式で曲率を設けられる。特に浸漬対物レンズ部のケースでは、像平面28の直ぐ近くの非球面の曲面が高次の結像誤差の補正に特に良く適合することが示されている。しかしながらこのための前提条件は、結像側の最終段レンズL605と浸漬液34の屈折率が互いに充分に異なることである。

【0109】

投影用対物レンズ部620のケースでは、終端素子644はやはり2つの部分的素子644a、644bを有し、それらは適切に選択された結晶配向を備えたフッ化カルシウム結晶または同様の立方晶結晶から作製される。描かれている例の実施形態では、結像側の最終段レンズL605は石英ガラスから成っている。この代替例として、結像側の最終段レンズL605は同様に立方晶材料から成ることが可能である。結像側の最終段レンズL605と部分的素子644a、644bが構成される結晶の結晶配向は、固有の複屈折の極めて広範囲の補正が達成されるように整列させられることも同様に可能である。相互交換の複屈折補償が光学軸について互いに相対して捻れた3つの結晶配向で達成される方法は既に上記で述べられた印刷された公報WO 02/093209-A2号、WO 02/099450-A2号、米国特許出願2003/0011896-A1号に詳しく述べられている。

20

【0110】

図12に描かれた第7の例の実施形態では、結像側の最終段レンズL705と終端素子744との間に残る第1の隙間792は浸漬液34で完全に満たされるのではなく一部分だけを満たされる。したがって、周囲の気体で満たされたギャップ状の隙間793が結像側の最終段レンズL705と浸漬液34との間に残る。

30

【0111】

この変形例は、乾式動作と浸漬動作の両方に対して設けられる投影用対物レンズ部のケースで特に好都合である。乾式動作から浸漬動作への変更とその逆の事象で、可能な限り少ない変更を投影用対物レンズ部に行なうだけでよくするためには、光学的条件は可能な限り少ない境界面で変わるべきである。投影用対物レンズ部720のケースでは、これが理由で結像側にある最終段レンズL705の結像側の面768は、例えば浸漬液34ではなく、まだ周囲の気体と隣接する。

40

【0112】

他方で、投影用対物レンズ部720のケースでもやはり、終端素子744が両側で浸漬液34によって取り囲まれることが保証される。終端素子744の境界面での低い屈折率の商のため、終端素子744の位置の許容誤差と製造の許容誤差は結果として、投影用対物レンズ部720の結像特性に対してわずかな影響しか有さない。

【0113】

図13に描かれた第8の例の実施形態では、全体として平面平行である終端素子844は同様に2つの部分的素子844a、844bを有し、それらは異なる結晶配向を備えた立方晶材料から構成されることが好ましい。上述した複数の例の実施形態とは対照的に、投影用対物レンズ部820のケースでは2つの部分的素子844a、844bの間の境界

50

面は平坦ではなく曲率を有する。さらに、2つの部分的素子 844a、844b 直接互いに光学的に接触させられるのではなく互いから間隔を置かれ、それにより、部分的素子 844a、844b の間に狭いギャップ 899 が残り、投影用対物レンズ部 820 のケースではそれが周囲の気体で満たされる。

【0114】

投影用対物レンズ部 820 のケースでは、結像側の部分的素子 844b だけが浸漬液 34 と接触するようになる。したがって、必要とされるときに部分的素子 844b だけを交換することで概して充分であろう。他方で、対物側の部分的素子 844a は交換が大きな努力を伴なってのみ実行されるような様式で投影用対物レンズ部 820 の上もしくは中に装着される可能性が高い。その結果、実際の言葉の意味では部分的素子 844b だけが交換素子を構成する。

10

【0115】

終端素子 844 を曲率のある分離表面に沿って 2 つの部分的素子 844a、844b へと仕切る処理は、結像側の部分的素子 844b が同様に製造の許容誤差と位置の許容誤差に比較的影響されにくいという利点を有する。一方で、結像側の面は屈折率の商が小さくなるように浸漬液 34 中に浸される。他方で、光学軸に相対して大きな角度で終端素子 844 を通り抜ける光線のケースでは、部分的素子 844b の対物側の面ではそのくぼんだ曲率のため、相対的に小さい入口角だけが生じ、それにより、そこでは製造の許容誤差や位置の許容誤差はそれほど影響を有することはあり得ない。

【0116】

20

第 9 の例の実施形態による図 14 に示された投影用対物レンズ部 920 は、浸漬液 34 が結像側の最終段レンズ L905 に向かって直面するという事実が単に理由となって投影用対物レンズ部 820 とは異なる。したがって、図 13 に示された投影用対物レンズ部 820 のケースとは異なって 2 つの部分的素子 944a、944b の間に残るギャップ 999 と結像側の最終段レンズ L905 と終端素子 944 との間の第 1 の隙間 992 の両方が浸漬液 34 で満たされる。この変形例では終端素子 944 の位置の許容誤差と製造の許容誤差は投影用対物レンズ部の結像特性に対してさらに影響を有さなくなる。

【0117】

対物側の部分的素子 944a は浸漬液 34 に晒されるものの、それは結像側の最終段レンズ L905 または結像側の部分的素子 944b によって比較的良好に保護されるので、投影用対物レンズ部 920 のケースでもやはり不純物汚染が理由となる光学素子の交換は結像側の部分的素子 944b に限定できる。しかしながら、乾式動作から浸漬動作への切り換えが望まれる場合、結像側の最終段レンズ L905 の範囲まで到達する浸漬液 34 はさらに大規模な改造を必要とする。

30

【0118】

図 15 は本発明の第 10 の例の実施形態による投影用対物レンズ部 1020 の結像側の端部を示している。前に述べられた複数の例の実施形態とは異なり、終端素子 1044 は浸漬液 34 中に浸されない。したがって、投影光によって通過される終端素子 1044 の面は対物側と結像側の両方で周囲の気体に隣接する。この配列もやはり、特に乾式動作と浸漬動作の両方にとって適切であるべき投影用対物レンズ部のケースで好都合である。これは、図 15 に示された配列が動作モードの切り換えの事象で特に少ない変更を必要とすることが理由である。他方で、終端素子 1044 の 2 つの境界面での光学的条件は大部分が同一である。これは特に、位置の許容誤差、例えば傾斜の動きによって対物側の境界面上に作られる結像誤差が結像側の境界面上で反対の意味で作用する結像誤差によって実際では良好に補償される範囲において好都合である。

40

【0119】

図 16 に示された投影用対物レンズ部 1120 は、結像側の最終段レンズ L1105 と終端素子 1144 との間の第 1 の隙間 1192 が周囲の気体ではなくて液体 1134 で満たされるという事実が理由で図 15 に示された投影用対物レンズ部 1020 とは異なる。したがって終端素子 1114 の結像側の面は終端素子 1144 の製造の許容誤差、特に嵌

50

合誤差に比較的影響を受けにくい。

【0120】

終端素子 1144 と感光性の層 26 との間の第 2 の隙間 1194 は、図 15 に示された投影用対物レンズ部 1020 のケースのように浸漬液 34 で部分的に満たされてもよい。図 16 によって示されるような乾式動作の間では、感光性の層 26 は浸漬液で覆われない。

【図面の簡単な説明】

【0121】

【図 1】本発明の第 1 の例の実施形態による投影露光システムを経線方向に貫く断面を大幅に単純化した概略的表現で示す図である。

10

【図 2】図 1 に示された投影露光システムの不可欠の部分である投影用対物レンズ部の結像側端部から細部を拡大して示す図である。

【図 3】本発明の第 2 の例の実施形態による投影露光システムを図 2 に対応する表現で示す図であって、終端素子が結像側の最終段レンズと光学的に接触している。

【図 4】本発明の第 3 の例の実施形態による、追加の水平方向間仕切りを備えた投影露光システムを図 1 に対応する詳細な表現で示す図である。

【図 5】本発明の第 4 の例の実施形態による、移動させられた終端素子を備えた投影露光システムを図 1 に対応する詳細な表現で示す図である。

【図 6】図 5 に示された投影露光システムの不可欠の部分である投影用対物レンズ部の結像側の端部から細部を、支持体および終端素子の第 1 の移動位置で拡大して示す図である。

20

【図 7】図 6 の投影用対物レンズ部の結像側の端部を、支持体および終端素子の第 2 の移動位置で示す図である。

【図 8】図 6 の投影用対物レンズ部の結像側の端部を、傾けられた終端素子を伴なって示す図である。

【図 9】本発明の第 5 の例の実施形態による投影用対物レンズ部の結像側の端部から細部を拡大して示す図であって、追加のカバーが第 1 の隙間を覆っている。

【図 10】図 9 からさらに拡大された細部 D を示す図であって、カバーと第 1 の浸漬液を受け容れるタンクのエッジとの間の推移が示されている。

【図 11】本発明の第 6 の例の実施形態による投影用対物レンズ部の結像側の端部を示す図であって、結像側の最終段レンズの結像側の面が曲面にされている。

30

【図 12】本発明の第 7 の例の実施形態による投影用対物レンズ部の結像側の端部を示す図であって、気体の充満した隙間が結像側の最終段光学素子と浸漬液との間に残っている。

【図 13】本発明の第 8 の例の実施形態による投影用対物レンズ部の結像側の端部を示す図であって、終端素子が曲面に沿った 2 つの部分的素子へと分割されている。

【図 14】本発明の第 9 の例の実施形態による、曲率を付けた方式で分割されて完全に浸漬液の中に受け入れられる終端素子を備えた投影用対物レンズ部の結像側の端部を示す図である。

【図 15】本発明の第 10 の例の実施形態による投影用対物レンズ部の結像側の端部を示す図であって、気体の充満した隙間が終端素子と浸漬液との間に残っている。

40

【図 16】本発明の第 11 の例の実施形態による投影用対物レンズ部の結像側の端部を示す図であって、結像側の最終段光学素子と終端素子との間の隙間だけが浸漬液で満たされている。

【図1】

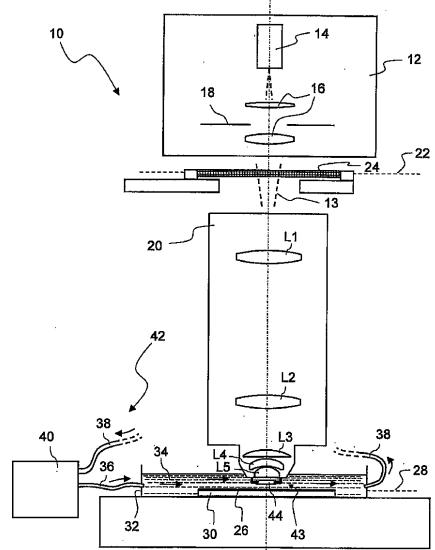


Fig. 1

【図2】

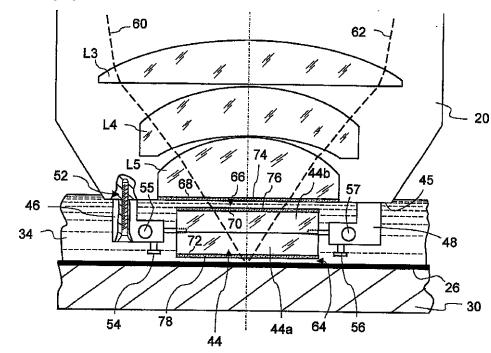


Fig. 2

【図3】

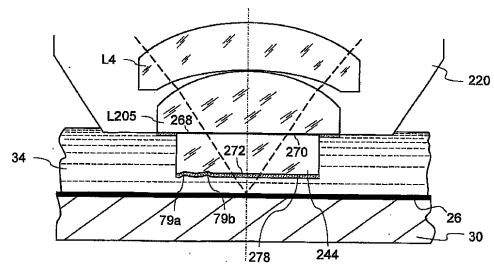


Fig. 3

【図4】

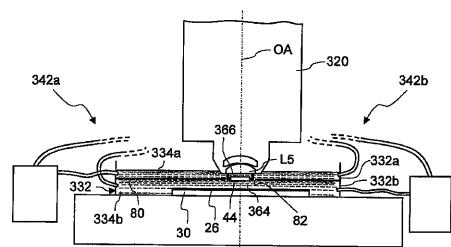


Fig. 4

【図6】

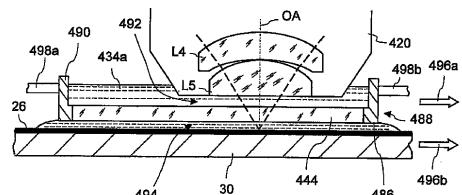


Fig. 6

【図7】

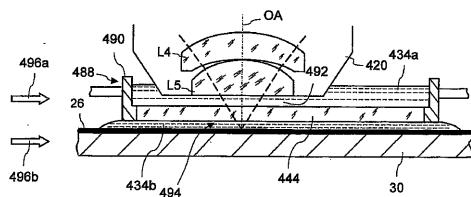


Fig. 7

【図5】

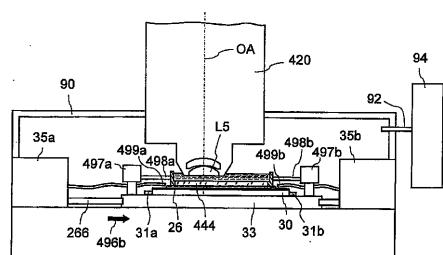


Fig. 5

【 図 8 】

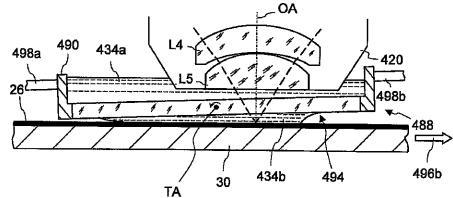


Fig. 8

【図9】

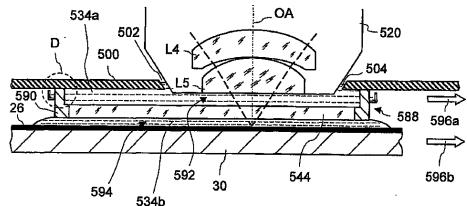


Fig. 9

【 図 1 0 】

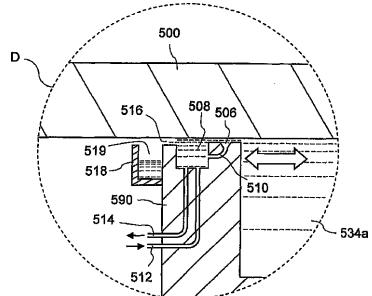


Fig. 10

【 図 1 1 】

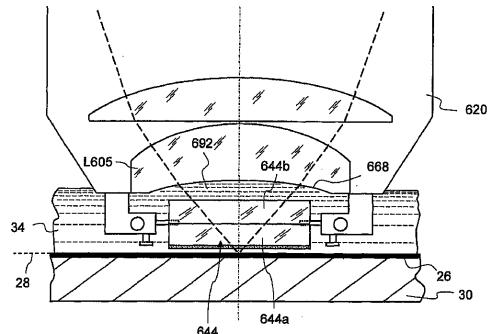


Fig. 11

【図12】

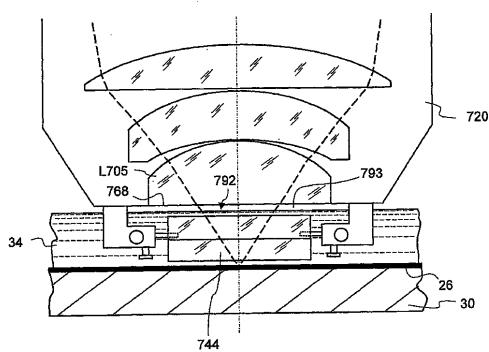


Fig. 12

【 図 1 4 】

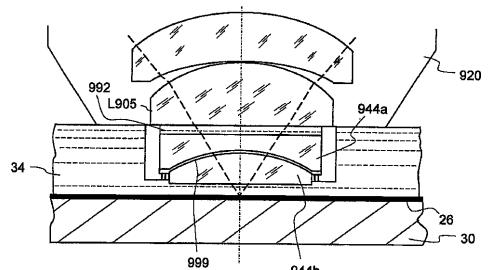


Fig. 14

【図13】

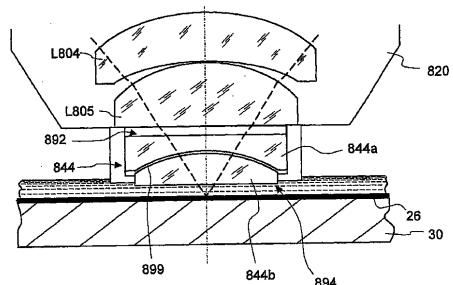


Fig. 13

【図15】

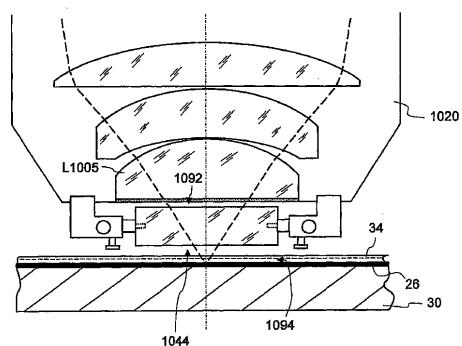


Fig. 15

【図 16】

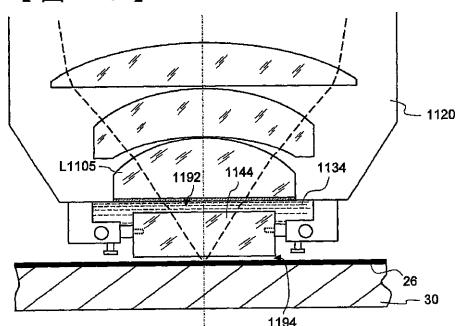


Fig. 16

フロントページの続き

(72)発明者 ドドック , アオレリアン
 ドイツ連邦共和国・7 3 4 4 7 オーバーコッヘン・ハインブッシュエンヴェック・7

(72)発明者 シュスター , カール・ハインツ
 ドイツ連邦共和国・8 9 5 5 1 クーニグスブロン・レッヒベルグシュトラーセ・2 4

(72)発明者 マルマン , ヨルグ
 ドイツ連邦共和国・5 6 1 5 4 ボッパード・ヒュッテンヴェク・1 2

(72)発明者 ユーリッヒ , ヴィルヘルム
 ドイツ連邦共和国・7 3 4 3 4 アーレン・レデラッケリング・4 4

(72)発明者 ロスタルスキー , ハンス - ヨルゲン
 ドイツ連邦共和国・7 3 4 3 4 アーレン・ディエトリッヒ - ボンホエッファー - シュトラーセ・9

審査官 福島 浩司

(56)参考文献 旧東ドイツ国経済特許第2 2 4 4 4 8 (D D , A 1)
 特開平1 0 - 3 0 3 1 1 4 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G03F 7/20
H01L 21/027