

(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
2013年8月15日(15.08.2013)



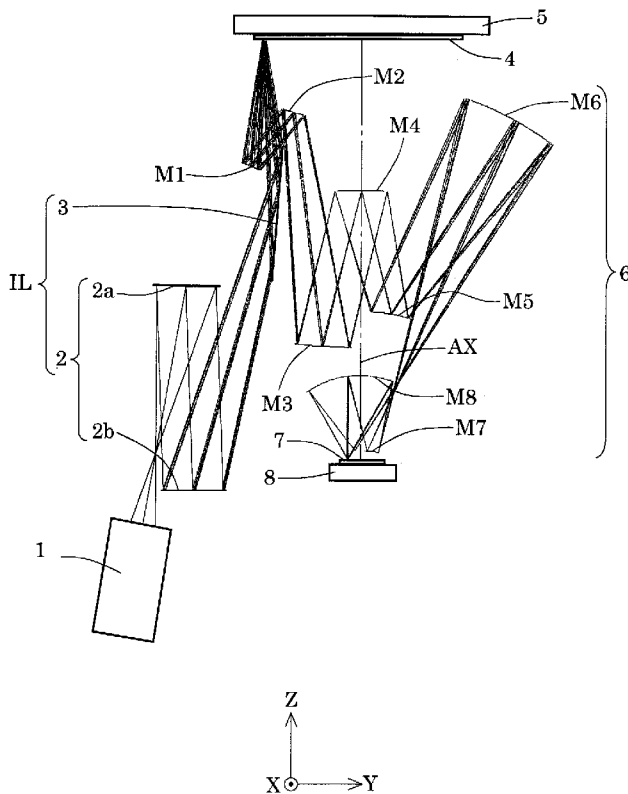
(10) 国際公開番号
WO 2013/118615 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/027 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/051961
- (22) 国際出願日: 2013年1月30日(30.01.2013)
- (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 2012-023167 2012年2月6日(06.02.2012) JP
- (71) 出願人: 株式会社ニコン(NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目12番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 川辺 喜雄(KAWABE Yoshio); 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目12番1号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 山口 孝雄(YAMAGUCHI Takao); 〒1010048 東京都千代田区神田司町二丁目10番地 第一ビル Tokyo (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, BN, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, 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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: REFLECTIVE IMAGE-FORMING OPTICAL SYSTEM, EXPOSURE APPARATUS, AND DEVICE MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: 反射結像光学系、露光装置、およびデバイス製造方法



(57) Abstract: When this reflective image-forming optical system is applied to, for instance, an exposure apparatus using EUV light, this system is capable of suppressing a footprint of the apparatus. The reflective image-forming optical system which forms, on a second surface, an image of a pattern disposed on a first surface illuminated with light emitted from an illuminating optical system is provided with a plurality of reflecting mirrors including a first reflecting mirror, which firstly reflects light that has been reflected by the first surface, and a second reflecting mirror, which secondly reflects the light that has been reflected by the first surface. When a region where the first surface is irradiated with the light emitted from the illuminating optical system is specified as a region to be irradiated, and a portion where the region to be irradiated is positioned on the first surface is on the side further toward the predetermined direction than optical axes of the reflecting mirrors, a reflection region of the first reflecting mirror and a reflection region of the second reflecting mirror are positioned on the side further toward the predetermined direction than the optical axes of the reflecting mirrors, and the first reflecting mirror and the second reflecting mirror are disposed to sandwich an optical path of the light emitted from the illuminating optical system.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2013/118615 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

例えばEUV光を用いる露光装置に適用されたときに、装置のフットプリントを小さく抑えることのできる反射結像光学系。照明光学系からの光で照明された第1面に配置されるパターンの像を第2面に結像する反射結像光学系は、第1面で反射された光を、第1番目に反射する第1反射鏡と、第2番目に反射する第2反射鏡とを含む複数の反射鏡を備えている。照明光学系からの光が第1面に照射する領域を被照射領域とし、第1面上において被照射領域が位置する部分を、複数の反射鏡の光軸よりも所定の方向側であるとするとき、第1反射鏡の反射領域および第2反射鏡の反射領域は、複数の反射鏡の光軸よりも所定の方向側に位置し、照明光学系からの光の光路を挟むように、第1反射鏡および第2反射鏡が配置される。

明 細 書

発明の名称：

反射結像光学系、露光装置、およびデバイス製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、反射結像光学系、露光装置、およびデバイス製造方法に関する。さらに詳細には、本発明は、例えばEUV光を用いてミラープロジェクション方式によりマスク上の回路パターンを感光性基板上に転写する露光装置に好適な反射結像光学系に関するものである。

背景技術

[0002] 半導体素子などの製造に使用される露光装置として、例えば5～40nm程度の波長を有するEUV (Extreme UltraViolet：極紫外線) 光を用いるEUVL (Extreme UltraViolet Lithography：極紫外リソグラフィ) 露光装置が注目されている。露光光としてEUV光を用いる場合、使用可能な透過光学材料および屈折光学材料がないため、反射型のマスクを用いるとともに、投影光学系として反射光学系（反射部材のみにより構成された光学系）を用いることになる。

[0003] 従来、EUV露光装置の投影光学系に適用可能な反射結像光学系として、物体面を挟んで光学系側に入射瞳を有する反射光学系に代えて、物体面を挟んで光学系の反対側に入射瞳を有する反射光学系を使用することが提案されている（例えば、特許文献1を参照）。以下、本明細書では、「物体面を挟んで光学系側に入射瞳を有する反射結像光学系」を「正瞳タイプの反射結像光学系」と称し、「物体面を挟んで光学系の反対側に入射瞳を有する反射結像光学系」を「逆瞳タイプの反射結像光学系」と称する。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：米国特許第6,781,671号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 従来の逆瞳タイプの反射結像光学系をEUV露光装置に適用した場合、照明光学系の斜入射ミラー（フラットミラー）へ入射する光の光路と反射結像光学系の光軸とがなす角度が比較的大きくなる。その結果、EUV露光装置のフットプリント（設置面積）の走査方向に沿った寸法が比較的大きくなり、ひいては装置の製造や設置などに関するコストの増大を招いてしまう。

[0006] 本発明の態様は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、例えばEUV光を用いる露光装置に適用されたときに、装置のフットプリントを小さく抑えることのできる反射結像光学系を提供することを目的とする。また、本発明の反射結像光学系を露光装置の投影光学系に適用することにより、例えば露光光としてEUV光を用いて大きな解像力を確保し、高解像度で投影露光を行うことを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 前記課題を解決するために、第1形態では、照明光学系からの光で照明された第1面に配置されるパターンの像を第2面に結像する反射結像光学系において、

前記第1面で反射された光を、第1番目に反射する第1反射鏡と、第2番目に反射する第2反射鏡とを含む複数の反射鏡を備え、

前記照明光学系からの前記光が前記第1面に照射する領域を被照射領域とし、前記第1面上において前記被照射領域が位置する部分を、前記複数の反射鏡の光軸よりも所定の方向側であるとするとき、前記第1反射鏡の反射領域および前記第2反射鏡の反射領域は、前記複数の反射鏡の光軸よりも前記所定の方向側に位置し、

前記照明光学系からの光の光路を挟むように、前記第1反射鏡および前記第2反射鏡が配置されることを特徴とする反射結像光学系を提供する。

[0008] 第2形態では、照明光学系からの光で照明された第1面に配置されるパターンの像を第2面に結像する反射結像光学系において、

前記第1面で反射された光を、第1番目に反射する第1反射鏡と、第2番

目に反射する第2反射鏡と、第3番目に反射する第3反射鏡とを含む複数の反射鏡を備え、

前記第1反射鏡の反射領域および前記第2反射鏡の反射領域が前記照明光学系からの光の光路を挟むように、前記第1反射鏡および前記第2反射鏡が配置され、

前記照明光学系からの前記光が前記第1面に照射する領域を被照射領域とし、前記第1面上において前記被照射領域が位置する部分を、前記複数の反射鏡の光軸よりも所定の方向側であるとするとき、前記第3反射鏡は、前記複数の反射鏡の光軸よりも前記所定の方向側に配置されることを特徴とする反射結像光学系を提供する。

[0009] 第3形態では、光源からの光により前記第1面のパターンを照明する照明光学系と、前記パターンを前記第2面に設置された感光性基板に投影する第1形態または第2形態の反射結像光学系と、を備えていることを特徴とする露光装置を提供する。

[0010] 第4形態では、第3形態の露光装置を用いて、前記所定のパターンを前記感光性基板に露光することと、

前記所定のパターンが転写された前記感光性基板を現像し、前記所定のパターンに対応する形状のマスク層を前記感光性基板の表面に形成することと、

前記マスク層を介して前記感光性基板の表面を加工することと、を含むことを特徴とするデバイス製造方法を提供する。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。

[図2]ウェハ上に形成される円弧状の有効結像領域と光軸との位置関係を示す図である。

[図3]第1実施例にかかる反射結像光学系の構成を概略的に示す図である。

[図4]第2実施例にかかる反射結像光学系の構成を概略的に示す図である。

[図5]本実施形態において照明領域の照度ムラが小さく抑えられることを説明

する図である。

[図6]本実施形態における条件式について説明する図である。

[図7]マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例について、そのフローチャートを示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、実施形態を添付図面に基づいて説明する。図1は、実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。また、図2は、ウェハ上に形成される円弧状の有効結像領域と光軸との位置関係を示す図である。図1において、反射結像光学系6の光軸AX方向すなわち感光性基板であるウェハ7の露光面（転写面）の法線方向に沿ってZ軸を、ウェハ7の露光面内において図1の紙面に平行な方向にY軸を、ウェハ7の露光面内において図1の紙面に垂直な方向にX軸をそれぞれ設定している。なお、第1方向および所定の方向は、例えば、Y軸に平行な方向（Y軸方向）である。

[0013] 図1において、露光光を供給するための光源1は、たとえばレーザプラズマX線源を備えている。光源1として、放電プラズマ光源や他のX線源を用いることができる。光源1から射出された光は、必要に応じて配置された波長選択フィルタ（不図示）を介して、照明光学系1Lに入射する。波長選択フィルタは、光源1が供給する光から、所定波長（例えば13.4nm）のEUV光だけを選択的に透過させ、他の波長光の透過を遮る特性を有する。

[0014] 波長選択フィルタを経たEUV光は、一对のフライアイ光学系（フライアイミラー）2aおよび2bからなるオプティカルインテグレータ2へ導かれる。なお、波長選択フィルタに代えて、発生したEUV光を反射または集光するミラーの反射面に、所定波長のEUV光のみを反射する多層膜を形成しても良い。この場合、波長選択フィルタが必要ないため、光源1を小型化できる。また、波長選択フィルタにおけるEUV光の光量損失を防止することができる。

[0015] 第1フライアイ光学系2aは並列配置された複数の第1反射光学要素を有し、第2フライアイ光学系2bは第1フライアイ光学系2aの複数の第1反

射光学要素に対応するように並列配置された複数の第2反射光学要素を有する。具体的に、第1フライアイ光学系2aは例えば円弧状の外形を有する多数の凹面鏡要素を縦横に且つ稠密に配列することにより構成され、第2フライアイ光学系2bは例えば矩形状の外形を有する多数の凹面鏡要素を縦横に且つ稠密に配列することにより構成されている。フライアイ光学系2aおよび2bの詳細な構成および作用については、たとえば米国特許出願公開第2002/0093636A1号明細書を援用して用いることができる。

[0016] こうして、第2フライアイ光学系2bの反射面の近傍には、所定の形状を有する実質的な面光源が形成される。この実質的な面光源は、一对のフライアイ光学系2aおよび2bを備えた照明光学系1Lの射出瞳位置に形成される。照明光学系1Lの射出瞳位置（すなわち第2フライアイ光学系2bの反射面の近傍位置）は、逆瞳タイプの反射結像光学系（投影光学系）6の入射瞳の位置と一致している。

[0017] 実質的な面光源からの光、すなわちオプティカルインテグレータ2から射出された光は、斜入射ミラーとして機能するフラットミラー3に入射する。フラットミラー3により反射された光は、反射結像光学系6の第1反射鏡M1と第2反射鏡M2との間を通過した後、反射型のマスク4にほぼ平行に且つ近接して配置された視野絞り（不図示）の円弧状の開口部（光透過部）を介して、マスク4上に円弧状の照明領域（被照射領域）を形成する。

[0018] このように、オプティカルインテグレータ2（2a, 2b）、およびフラットミラー3は、光源1からの光により所定のパターンが設けられたマスク4をケーラー照明するための照明光学系1Lを構成している。また、第2フライアイ光学系2bとマスク4との間の光路中には、パワーを有する反射鏡が配置されていない。反射鏡のパワーとは、当該反射鏡の焦点距離の逆数である。なお、第2フライアイ光学系2bとマスク4との間の光路中にパワーを有する反射鏡を配置しても良い。

[0019] マスク4は、そのパターン面がXY平面に沿って延びるように、Y方向に沿って移動可能なマスクステージ5によって保持されている。マスクステー

ジ5の移動は、図示を省略したレーザー干渉計やエンコーダにより計測される。マスク4上には、例えばY軸に関して対称な円弧状の照明領域が形成される。照明されたマスク4からの光は、反射結像光学系6を介して、感光性基板であるウェハ7上にマスク4のパターン像を形成する。

[0020] すなわち、ウェハ7上には、図2に示すように、Y軸に関して対称な円弧状の有効結像領域（静止露光領域）ERが形成される。図2を参照すると、光軸AXを中心とした半径Y0を有する円形状の領域（イメージサークル）IF内において、このイメージサークルIFに接するようにX方向の長さがLXでY方向の長さがLYの円弧状の有効結像領域ERが形成される。円弧状の有効結像領域ERは光軸AXを中心とする輪帯状の領域の一部であり、長さLYは円弧状の有効結像領域ERの中心と光軸とを結ぶ方向に沿った有効結像領域ERの幅寸法である。

[0021] ウェハ7は、その露光面がXY平面に沿って延びるように、X方向およびY方向に沿って二次元的に移動可能なウェハステージ8によって保持されている。ウェハステージ8の移動は、マスクステージ5と同様に、図示を省略したレーザー干渉計やエンコーダにより計測される。こうして、マスクステージ5およびウェハステージ8をY方向に沿って移動させながら、すなわち反射結像光学系6に対してマスク4およびウェハ7をY方向に沿って相対移動させながらスキャン露光（走査露光）を行うことにより、ウェハ7の1つの露光領域にマスク4のパターンが転写される。

[0022] 反射結像光学系6の投影倍率（転写倍率）が $1/8$ である場合、ウェハステージ8の移動速度をマスクステージ5の移動速度の $1/8$ に設定して同期走査を行う。また、ウェハステージ8をX方向およびY方向に沿って二次元的に移動させながら走査露光を繰り返すことにより、ウェハ7の各露光領域にマスク4のパターンが逐次転写される。なお、反射結像光学系6の投影倍率は、 $1/6$ や $1/4$ 等でも良い。例えば、反射結像光学系6の投影倍率が $1/6$ である場合、ウェハステージ8の移動速度をマスクステージ5の移動速度の $1/6$ に設定し、反射結像光学系6の投影倍率が $1/4$ である場合、

ウェハステージ 8 の移動速度をマスクステージ 5 の移動速度の $1/4$ に設定する。

[0023] 本実施形態において、各実施例にかかる反射結像光学系 6 は、図 3 および図 4 に示すように、直線状に延びる単一の光軸 AX に沿って、マスク 4 のパターン面（以下、「マスク面」ともいう）と光学的に共役な位置にパターンの中間像を形成する第 1 反射光学系 G 1 と、マスク 4 のパターンの最終縮小像（中間像の像）をウェハ 7 の転写面（以下、「ウェハ面」ともいう）上に形成する第 2 反射光学系 G 2 とを備えている。すなわち、マスク 4 のパターン面上の照明領域と光学的に共役な位置が、第 1 反射光学系 G 1 と第 2 反射光学系 G 2 との間の光路中に形成される。なお、反射結像光学系 6 は、第 1 反射光学系 G 1 のみで構成してもよいし、第 3 反射光学系や第 4 反射光学系等の複数の光学系を用いて構成してもよい。

[0024] 第 1 反射光学系 G 1 は、光の入射順に（マスク 4 からウェハ 7 に向かって反射される順に）、凹面状の反射面を有する第 1 反射鏡 M 1 と、凸面状の反射面を有する第 2 反射鏡 M 2 と、凹面状または凸面状の反射面を有する第 3 反射鏡 M 3 と、凹面状の反射面を有する第 4 反射鏡 M 4 と、凸面状の反射面を有する第 5 反射鏡 M 5 と、凹面状の反射面を有する第 6 反射鏡 M 6 とにより構成されている。第 2 反射光学系 G 2 は、光の入射順に、凸面状の反射面を有する第 7 反射鏡 M 7 と、凹面状の反射面を有する第 8 反射鏡 M 8 とにより構成されている。なお、各反射鏡 M 1 ~ M 8 の反射面は、凹面状、凸面状、平面状、その他の曲面状を有する反射面で構成しても良い。

[0025] 各実施例において、第 4 反射鏡 M 4 の反射面の位置またはその近傍の位置に、開口絞り AS（不図示）が設けられている。開口絞り AS は、露光光の光束を制限することにより、反射結像光学系 6 の開口数を設定する。例えば、開口絞り AS は、開口部の大きさを調整可能な可変開口絞りや、大きさや形状等の異なる複数の開口部を備え、所望の開口部に切り替え可能な絞り切替部材により構成されていても良い。

[0026] 各実施例では、マスク 4 のパターン面（第 1 面）において光軸 AX から一

Y方向側に離れた照明領域からの光が、第1反射鏡M1の反射面、第2反射鏡M2の反射面、第3反射鏡M3の反射面、第4反射鏡M4の反射面、第5反射鏡M5の反射面、および第6反射鏡M6の反射面で順次反射された後、マスクパターンの中間像を形成する。第1反射光学系G1を介して形成された中間像からの光は、第7反射鏡M7の反射面および第8反射鏡M8の反射面で順次反射された後、ウェハ7の表面（第2面）において光軸AXからY方向側に離れた有効結像領域ERにマスクパターンの縮小像を形成する。

[0027] 具体的に、第1実施例にかかる反射結像光学系6の結像倍率の大きさは1/8であり、第2実施例にかかる反射結像光学系6の結像倍率の大きさは1/6である。したがって、第1実施例では有効結像領域ERにマスクパターンの1/8倍の縮小像が形成され、第2実施例では有効結像領域ERにマスクパターンの1/6倍の縮小像が形成される。

[0028] 各実施例において、反射結像光学系6を構成する8つの反射鏡M1～M8は、反射面の曲率中心が直線状の光軸AX上に位置するように設置されている。また、反射鏡M1～M8は、光軸AXに関して回転対称な面に沿って形成された非球面状の反射面を有する。反射面が非球面である場合、反射面の曲率中心として、近軸曲率中心を用いることができる。回転対称軸と非球面との交点付近では非球面を球面と見なすことができ、この球面における曲率中心を近軸曲率中心（頂点曲率中心）と呼ぶ。なお、反射結像光学系6は、7～12枚等の反射鏡で構成しても良い。

[0029] 各実施例の反射結像光学系6は、ウェハ側（像側）にほぼテレセントリックな光学系である。換言すれば、各実施例において、反射結像光学系6の像面上の各位置に達する主光線は像面に対してほぼ垂直である。この構成により、反射結像光学系6の焦点深度内でウェハに凹凸があっても良好な結像が可能になっている。各実施例にかかる反射結像光学系6は、マスク4を挟んで反射結像光学系6の反対側に所定距離だけ離れた位置に入射瞳を有する逆瞳タイプの反射結像光学系である。

[0030] 本実施形態では、照明光学系ILのフラットミラー3により反射された光

が、第1反射鏡M1と第2反射鏡M2との間を通過した後、マスク4上に光軸AXから-Y方向側に離れた円弧状の照明領域を形成する。すなわち、第1反射鏡M1および第2反射鏡M2は、照明光学系1Lからの光の光路を挟むように配置されている。また、第1反射鏡M1の反射領域および第2反射鏡M2の反射領域は、光軸AXよりも-Y方向側に位置する。ここで、「反射領域」は、当該反射鏡に入射する光によって、反射鏡の反射面に形成される光の照射領域を意味することができる。また、反射鏡に入射する光によって当該反射鏡の反射面に形成される光の照射領域が照明条件等によって変わる場合には、最大となる照射領域を「反射領域」とみなすことができる。また、反射鏡に入射する光によって当該反射鏡の反射面に形成される光の照射領域が複数存在する場合には、当該反射面上の複数の照射領域を含む領域であって且つその面積が最小となる領域を「反射領域」とみなしても良い。具体的に、各実施例では、第1反射鏡M1～第3反射鏡M3が光軸AXよりも-Y方向側に位置され、第1反射鏡M1の反射領域は第2反射鏡M2の反射領域よりも光軸AXから離れて形成されている。

[0031] こうして、本実施形態では、照明光学系1Lのフラットミラー3へ入射する光の光路と反射結像光学系6の光軸AXとがなす角度を小さく抑えることができる。その結果、EUV露光装置のフットプリント（設置面積）の走査方向に沿った寸法を小さく抑えることができ、ひいては装置の製造や設置などに関するコストを低減することができる。なお、フラットミラー3への入射光の光路が光軸AXとなす角度を小さく抑え、ひいては装置のフットプリントを小さく抑えるには、フラットミラー3の反射面を延長した面とマスク4のパターン面が位置する平面とがなす角度のうち鋭角となる方の角度を60度以上に設定することが好ましい。

[0032] 照明光学系1Lからの光の光路を挟むように第1反射鏡M1および第2反射鏡M2を配置する本実施形態の構成は、反射結像光学系6の結像倍率の大きさを通常の1/4よりも小さい値、例えば1/8または1/6に設定することにより容易になる。これは、反射結像光学系6の像側開口数を所要の大

きさに確保しつつ結像倍率の大きさを小さくすると、第1反射鏡M1および第2反射鏡M2に入射する光束の断面が小さくなり、第1反射鏡M1と第2反射鏡M2との間隔を大きく確保することができるからである。

[0033] 本実施形態の構成では、フラットミラー3への光線の入射角度を従来技術よりも大きくできるので、フラットミラー3での反射率を従来技術のものよりも大きく確保でき、ひいてはフラットミラー3での光量損失を小さく抑えることができる。また、フラットミラー3への光線の入射角度が従来技術のものよりも大きくなるので、図5に示すように、マスク4上の照明領域におけるY方向の照度ムラを小さく抑えることができる。

[0034] 図5(a)は、フラットミラーの反射率の入射角度特性を示す図である。図5(a)を参照すると、従来技術のように入射角度が比較的小さい範囲51の光線に対してフラットミラーを用いる場合、反射率が入射角度に依存して比較的大きく変化するため、図5(b)に示すように照明領域におけるY方向の照度ムラが比較的大きく発生する。これに対し、本実施形態のように入射角度が比較的大きい範囲52の光線に対してフラットミラー3を用いる場合、反射率が入射角度にほとんど依存することなくほぼ一定になり、図5(c)に示すように照明領域におけるY方向の照度ムラが小さく抑えられる。なお、フラットミラーの反射面は、単層または多層の膜で形成されており、その層数や膜厚、膜の材質等を調整することで、様々な入射角度特性を有するフラットミラーを用いることができる。

[0035] 本実施形態では、図6に示すように、第1反射鏡M1の反射領域M1aと第2反射鏡M2の反射領域M2aとの間のY方向に沿った間隔をHとし、第1反射鏡M1の反射領域M1aのY方向に沿った断面寸法をDとするとき、次の条件式(1)を満足しても良い。

$$0.5 < D/H < 1.1 \quad (1)$$

[0036] 条件式(1)の下限値を下回ると、断面寸法Dが比較的小さい位置、すなわちマスク4に比較的近い位置においてマスク4に入射する光が第1反射鏡M1と第2反射鏡M2との間を通過することになるため、第2反射鏡M2が

マスク4に近づき過ぎて配置が困難になる恐れがある。あるいは、間隔Hが比較的大きくなり、ひいてはマスク4への光線の入射角および第1反射鏡M1への光線の入射角が大きくなるため、マスク4および第1反射鏡M1での反射率が低下し、ひいてはマスク4および第1反射鏡M1における光量損失により装置のスループットが低下する恐れがある。また、マスク4への光線の入射角および第1反射鏡M1への光線の入射角が大きくなるため、マスク4のパターンの凹凸によってパターンがウェハ7の露光面に精度よく結像されない恐れがある。マスク4のパターンの凹凸によってパターンがウェハ7の露光面に精度よく結像されない場合の例として、例えば、パターンの凹凸によって生じる影による結像性能の低下や、パターンの凹凸によってマスク4に入射する光が遮られることによる光量損失等を挙げることができる。

[0037] 条件式(1)の上限値を上回ると、マスク4への入射光が第1反射鏡M1および第2反射鏡M2と干渉する恐れがある。

したがって、条件式(1)を満足する場合には、マスク4と第2反射鏡M2との間に空間を確保することができ、第1反射鏡M1および第2反射鏡M2の配置を容易にすることができる利点が生じる。条件式(1)を満足する場合には、マスク4への光線の入射角および第1反射鏡M1への光線の入射角を小さくできるため、マスク4および第1反射鏡M1での反射率の低下を抑制することができ、露光装置のスループットが向上する。また、条件式(1)を満足する場合には、マスク4への光線の入射角および第1反射鏡M1への光線の入射角を小さくできるため、マスク4のパターンの凹凸による結像の劣化を抑制し、精度よくマスク4のパターンの像をウェハ7の露光面に形成することができる。マスク4への入射光が第1反射鏡M1および第2反射鏡M2と干渉してしまう影響を抑制することができる。なお、本実施形態の効果をさらに良好に発揮するために、条件式(1)の下限値を0.75に設定しても良い。また、本実施形態の効果をさらに良好に発揮するために、条件式(1)の下限値を0.9に設定しても良い。

また、断面寸法Dは、第1反射鏡M1の反射領域M1aを光軸と直交する

面に投影した領域のY方向に沿った寸法としても良い。

また、断面寸法Dは、第1反射鏡M1の位置を含む光軸直交平面（図6中水平に延びる破線で示す）においてマスク4のパターン面へ入射する光が占める領域のY方向に沿った寸法としても良い。このとき、第1反射鏡M1の位置は、第1反射鏡M1の反射領域M1aの周縁部のうち最も光軸に近い位置としても良く、第1反射鏡M1の反射領域M1aの周縁部のうち最も光軸から離れた位置としても良い。

[0038] 本実施形態の各実施例において、非球面は、光軸に垂直な方向の高さを y とし、非球面の頂点における接平面から高さ y における非球面上の位置までの光軸に沿った距離（サグ量）を z とし、頂点曲率半径を r とし、円錐係数を κ とし、 n 次の非球面係数を C_n としたとき、以下の数式（a）で表される。

$$\begin{aligned}
 [0039] \quad z = & (y^2 / r) / \{1 + \{1 - (1 + \kappa) \cdot y^2 / r^2\}^{1/2}\} \\
 & + C_4 \cdot y^4 + C_6 \cdot y^6 + C_8 \cdot y^8 + C_{10} \cdot y^{10} + C_{12} \cdot y^{12} \\
 & + C_{14} \cdot y^{14} + C_{16} \cdot y^{16} \quad (a)
 \end{aligned}$$

[0040] [第1実施例]

図3は、本実施形態の第1実施例にかかる反射結像光学系の構成を示す図である。図3を参照すると、第1実施例の反射結像光学系6において、マスク4からの光は、第1反射鏡M1の凹面状の反射面、第2反射鏡M2の凸面状の反射面、第3反射鏡M3の凹面状の反射面、第4反射鏡M4の凹面状の反射面、第5反射鏡M5の凸面状の反射面、および第6反射鏡M6の凹面状の反射面で順次反射された後、マスクパターンの中間像を形成する。

[0041] 第1反射光学系G1を介して形成された中間像からの光は、第7反射鏡M7の凸面状の反射面および第8反射鏡M8の凹面状の反射面で順次反射された後、ウェハ7上にマスクパターンの縮小像（二次像）を形成する。第1実施例では、反射結像光学系6の結像倍率の大きさ β は $1/8$ であり、フラットミラー3の反射面の延長面とマスク面とがなす角度のうち鋭角となる方の角度は82度である。また、第1実施例では、第4反射鏡M4の反射面の位

置またはその近傍の位置に開口絞り A S（不図示）が配置されている。なお、開口絞り A S は、第 3 反射鏡 M 3 と第 4 反射鏡 M 4 との間、第 4 反射鏡 M 4 と第 5 反射鏡 M 5 との間、第 4 反射鏡 M 4 の反射面と共役な位置またはその近傍の位置などの場所に設けられてもよい。

[0042] 次の表（1）に、第 1 実施例にかかる反射結像光学系の諸元の値を掲げる。表（1）の主要諸元の欄において、 λ は露光光の波長を、 β は結像倍率の大きさを、NA は像側（ウェハ側）開口数を、Y 0 はウェハ 7 上でのイメージサークル I F の半径（最大像高）を、L X は有効結像領域 E R の X 方向に沿った寸法を、L Y は有効結像領域 E R の Y 方向に沿った寸法（円弧状の有効結像領域 E R の幅寸法）をそれぞれ表している。

[0043] また、表（1）の光学部材諸元の欄において、面番号は物体面であるマスク面（マスク 4 のパターン面）から像面であるウェハ面（ウェハ 7 の転写面）への光線の進行する方向に沿ったマスク側からの反射面の順序を、r は各反射面の頂点曲率半径（中心曲率半径：mm）を、d は各反射面の軸上間隔すなわち面間隔（mm）をそれぞれ示している。なお、面間隔 d は、反射される度にその符号を変えるものとする。そして、光線の入射方向にかかわらずマスク側に向かって凸面の曲率半径を正とし、凹面の曲率半径を負としている。

[0044] また、表（1）の条件式対応値の欄において、H は第 1 反射鏡 M 1 の反射領域と第 2 反射鏡 M 2 の反射領域との Y 方向に沿った間隔を、D は第 1 反射鏡 M 1 の反射領域の Y 方向に沿った断面寸法をそれぞれ表している。また、参考値として、P D は入射瞳とマスク面との間の光軸に沿った距離（入射瞳距離）を、T T はマスク面とウェハ面との間の光軸に沿った距離（全長）を、R はマスク面に入射する主光線の入射角度（rad）をそれぞれ表している。入射角度 R は、マスク面で反射された主光線が光軸 A X から離れる方向に向かう場合に負の値をとるものとする。上述の表記は、以降の表（2）においても同様である。

[0045]

表（1）

(主要諸元)

$$\lambda = 13.4 \text{ nm}$$

$$\beta = 1/8$$

$$NA = 0.5$$

$$Y_0 = 41.50 \text{ mm}$$

$$LX = 13 \text{ mm}$$

$$LY = 1.0 \text{ mm}$$

(光学部材諸元)

| 面番号 | r | d | 光学部材 |
|-----|-----------|----------|-----------|
| | (マスク面) | 500.907 | |
| 1 | -845.540 | -222.994 | (第1反射鏡M1) |
| 2 | -603.806 | 744.907 | (第2反射鏡M2) |
| 3 | -2020.053 | -521.813 | (第3反射鏡M3) |
| 4 | 2387.067 | 402.377 | (第4反射鏡M4) |
| 5 | 626.102 | -769.948 | (第5反射鏡M5) |
| 6 | 1091.832 | 1232.057 | (第6反射鏡M6) |
| 7 | 321.642 | -249.299 | (第7反射鏡M7) |
| 8 | 312.976 | 279.299 | (第8反射鏡M8) |

(ウェハ面)

(非球面データ)

1面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -1.144837 \times 10^{-10}$$

$$C_6 = 5.754085 \times 10^{-15}$$

$$C_8 = -3.181161 \times 10^{-20}$$

$$C_{10} = 8.709635 \times 10^{-26}$$

$$C_{12} = 1.427421 \times 10^{-31}$$

$$C_{14} = -1.571308 \times 10^{-36}$$

$$C_{16} = 2.986494 \times 10^{-42}$$

2面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = 3.088833 \times 10^{-9} \quad C_6 = -3.862657 \times 10^{-15}$$

$$C_8 = -6.508134 \times 10^{-20} \quad C_{10} = 1.362713 \times 10^{-24}$$

$$C_{12} = -1.364423 \times 10^{-29} \quad C_{14} = 7.539638 \times 10^{-35}$$

$$C_{16} = -1.736016 \times 10^{-40}$$

3面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = 4.963271 \times 10^{-10} \quad C_6 = -5.030842 \times 10^{-16}$$

$$C_8 = -5.182840 \times 10^{-21} \quad C_{10} = 1.059625 \times 10^{-25}$$

$$C_{12} = -1.865317 \times 10^{-30} \quad C_{14} = 2.229099 \times 10^{-35}$$

$$C_{16} = -1.077214 \times 10^{-40}$$

4面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -1.827048 \times 10^{-9} \quad C_6 = -3.415226 \times 10^{-14}$$

$$C_8 = -7.848731 \times 10^{-19} \quad C_{10} = -4.096783 \times 10^{-23}$$

$$C_{12} = 2.385006 \times 10^{-27} \quad C_{14} = -2.702122 \times 10^{-31}$$

$$C_{16} = 8.240540 \times 10^{-36}$$

5面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -1.657397 \times 10^{-10} \quad C_6 = -3.847514 \times 10^{-15}$$

$$C_8 = 1.539176 \times 10^{-21} \quad C_{10} = -1.124299 \times 10^{-25}$$

$$C_{12} = -1.652992 \times 10^{-29} \quad C_{14} = 7.264395 \times 10^{-34}$$

$$C_{16} = -8.630798 \times 10^{-39}$$

6面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = 5.036087 \times 10^{-13} \quad C_6 = 7.415084 \times 10^{-18}$$

$$C_8 = -3.171087 \times 10^{-23} \quad C_{10} = 1.080338 \times 10^{-28}$$

$$C_{12} = -2.093168 \times 10^{-34} \quad C_{14} = 2.262700 \times 10^{-40}$$

$$C_{16} = -1.018244 \times 10^{-46}$$

7面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = 1.730920 \times 10^{-8} \quad C_6 = 9.395766 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = 2.795811 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 9.026776 \times 10^{-22}$$

$$C_{12} = -7.149350 \times 10^{-25} \quad C_{14} = 1.275899 \times 10^{-28}$$

$$C_{16} = -1.905227 \times 10^{-32}$$

8面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = 4.947677 \times 10^{-10} \quad C_6 = 6.365871 \times 10^{-15}$$

$$C_8 = 7.433736 \times 10^{-20} \quad C_{10} = 6.347248 \times 10^{-25}$$

$$C_{12} = 1.849725 \times 10^{-29} \quad C_{14} = -1.997201 \times 10^{-34}$$

$$C_{16} = 5.448389 \times 10^{-39}$$

(条件式対応値)

$$D = 59.120 \text{ mm}$$

$$H = 80.829 \text{ mm}$$

$$PD = 3269.1 \text{ mm}$$

$$TT = 1395.5 \text{ mm}$$

$$R = -0.100$$

$$(1) D/H = 0.73$$

[0046] 第1実施例の反射結像光学系では、円弧状の有効結像領域ER内の各点について波面収差のRMS (root mean square: 自乗平均平方根あるいは平方自乗平均) の値を求めたところ、最大値(最悪値)が 0.0335λ (λ : 光の波長=13.4nm)であった。すなわち、第1実施例では、0.5という比較的大きな像側開口数を確保するとともに、ウェハ上において諸収差が良好に補正された13mm×1.0mmの円弧状の有効結像領域を確保することができる。また、第1実施例では、各反射鏡とその近傍を通過する光束との間に8mm以上の間隔が確保されている。

[0047] [第2実施例]

図4は、本実施形態の第2実施例にかかる反射結像光学系の構成を示す図である。図4を参照すると、第2実施例の反射結像光学系6では、マスク4からの光は、第1反射鏡M1の凹面状の反射面、第2反射鏡M2の凸面状の反射面、第3反射鏡M3の凸面状の反射面、第4反射鏡M4の凹面状の反射面、第5反射鏡M5の凸面状の反射面、および第6反射鏡M6の凹面状の反射面で順次反射された後、マスクパターンの中間像を形成する。

[0048] 第1反射光学系G1を介して形成された中間像からの光は、第7反射鏡M7の凸面状の反射面および第8反射鏡M8の凹面状の反射面で順次反射された後、ウェハ7上にマスクパターンの縮小像を形成する。第2実施例では、反射結像光学系6の結像倍率の大きさ β は $1/6$ であり、フラットミラー3の反射面の延長面とマスク面とがなす角度のうち鋭角となる方の角度は83度である。第2実施例においても第1実施例と同様に、第4反射鏡M4の反射面の位置またはその近傍の位置に開口絞りAS（不図示）が配置されている。次の表（2）に、第2実施例にかかる反射結像光学系の諸元の値を掲げる。

[0049] 表（2）

（主要諸元）

$$\lambda = 13.4 \text{ nm}$$

$$\beta = 1/6$$

$$NA = 0.5$$

$$Y0 = 38.50 \text{ mm}$$

$$LX = 17.4 \text{ mm}$$

$$LY = 1.0 \text{ mm}$$

（光学部材諸元）

| 面番号 | r | d | 光学部材 |
|-----|----------|----------|-----------|
| | (マスク面) | 366.0731 | |
| 1 | -581.254 | -173.077 | (第1反射鏡M1) |
| 2 | -504.217 | 186.217 | (第2反射鏡M2) |

| | | | |
|---|----------|-----------|-----------|
| 3 | 2858.152 | -279.214 | (第3反射鏡M3) |
| 4 | 1048.798 | 548.844 | (第4反射鏡M4) |
| 5 | 527.506 | -622.001 | (第5反射鏡M5) |
| 6 | 1024.635 | 1376.692 | (第6反射鏡M6) |
| 7 | 297.840 | -201.0245 | (第7反射鏡M7) |
| 8 | 257.429 | 231.024 | (第8反射鏡M8) |

(ウエハ面)

(非球面データ)

1面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = 6.334772 \times 10^{-10} \quad C_6 = 4.053272 \times 10^{-15}$$

$$C_8 = -7.133735 \times 10^{-20} \quad C_{10} = 4.505447 \times 10^{-25}$$

$$C_{12} = 5.903391 \times 10^{-30} \quad C_{14} = -9.187387 \times 10^{-35}$$

$$C_{16} = 3.506429 \times 10^{-40}$$

2面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = 1.052386 \times 10^{-8} \quad C_6 = -1.895379 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = 7.258412 \times 10^{-18} \quad C_{10} = -2.430244 \times 10^{-22}$$

$$C_{12} = 5.402014 \times 10^{-27} \quad C_{14} = -6.950205 \times 10^{-32}$$

$$C_{16} = 3.953995 \times 10^{-37}$$

3面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = 8.030029 \times 10^{-9} \quad C_6 = -4.277496 \times 10^{-14}$$

$$C_8 = 1.207719 \times 10^{-18} \quad C_{10} = -1.625005 \times 10^{-22}$$

$$C_{12} = 1.515615 \times 10^{-26} \quad C_{14} = -7.180262 \times 10^{-31}$$

$$C_{16} = 1.457437 \times 10^{-35}$$

4面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned}
 C_4 &= -1.883268 \times 10^{-9} & C_6 &= -5.233724 \times 10^{-14} \\
 C_8 &= -1.628503 \times 10^{-18} & C_{10} &= -8.808161 \times 10^{-23} \\
 C_{12} &= 3.386588 \times 10^{-27} & C_{14} &= -6.590832 \times 10^{-31} \\
 C_{16} &= 1.746258 \times 10^{-35}
 \end{aligned}$$

5面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned}
 C_4 &= -1.345956 \times 10^{-9} & C_6 &= -3.897405 \times 10^{-17} \\
 C_8 &= 4.264561 \times 10^{-21} & C_{10} &= -4.238677 \times 10^{-25} \\
 C_{12} &= 6.574421 \times 10^{-30} & C_{14} &= -6.369767 \times 10^{-35} \\
 C_{16} &= 3.112936 \times 10^{-40}
 \end{aligned}$$

6面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned}
 C_4 &= -4.780883 \times 10^{-12} & C_6 &= -1.808289 \times 10^{-18} \\
 C_8 &= -1.356320 \times 10^{-23} & C_{10} &= 3.000797 \times 10^{-29} \\
 C_{12} &= -6.505272 \times 10^{-35} & C_{14} &= 6.859371 \times 10^{-41} \\
 C_{16} &= -3.918473 \times 10^{-47}
 \end{aligned}$$

7面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned}
 C_4 &= 2.767278 \times 10^{-8} & C_6 &= 2.037818 \times 10^{-12} \\
 C_8 &= 4.818580 \times 10^{-17} & C_{10} &= 1.116519 \times 10^{-20} \\
 C_{12} &= -8.332805 \times 10^{-24} & C_{14} &= 2.030806 \times 10^{-27} \\
 C_{16} &= -2.880151 \times 10^{-31}
 \end{aligned}$$

8面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned}
 C_4 &= 7.979056 \times 10^{-10} & C_6 &= 1.600529 \times 10^{-14} \\
 C_8 &= 2.902626 \times 10^{-19} & C_{10} &= 2.810315 \times 10^{-24} \\
 C_{12} &= 2.205571 \times 10^{-28} & C_{14} &= -4.796949 \times 10^{-33} \\
 C_{16} &= 1.422134 \times 10^{-37}
 \end{aligned}$$

(条件式対応値)

$$D = 56.463 \text{ mm}$$

$$H = 54.874 \text{ mm}$$

$$PD = 2163.4 \text{ mm}$$

$$TT = 1433.5 \text{ mm}$$

$$R = -0.105$$

$$(1) D/H = 1.03$$

[0050] 第2実施例の反射結像光学系では、波面収差のRMSの最大値（最悪値）が 0.0266λ （ λ ：光の波長 $=13.4 \text{ nm}$ ）であった。すなわち、第2実施例においても第1実施例と同様に、 0.5 という比較的大きな像側開口数を確保するとともに、ウェハ上において諸収差が良好に補正された $17.4 \text{ mm} \times 1.0 \text{ mm}$ の円弧状の有効結像領域を確保することができる。また、第2実施例では、第1実施例と同様に、各反射鏡とその近傍を通過する光束との間に 8 mm 以上の間隔が確保されている。

[0051] 上述の各実施例では、波長が 13.4 nm のEUV光に対して、良好な結像性能および 0.5 という比較的大きな像側開口数を確保するとともに、ウェハ7上において諸収差が良好に補正された $13 \text{ mm} \times 1.0 \text{ mm}$ または $17.4 \text{ mm} \times 1.0 \text{ mm}$ の円弧状の有効結像領域を確保することができる。したがって、ウェハ7において、たとえば $13 \text{ mm} \times 16.5 \text{ mm}$ または $17.4 \text{ mm} \times 22.0 \text{ mm}$ の大きさを有する各露光領域に、マスク4のパターンを走査露光により $0.1 \mu\text{m}$ 以下の高解像で転写することができる。

[0052] なお、上述の各実施例では、 13.4 nm の波長を有するEUV光を例示的に用いているが、これに限定されることなく、例えば $5 \sim 40 \text{ nm}$ 程度の波長を有するEUV光や、他の適当な波長の光を使用する反射結像光学系に対しても同様に本発明を適用することができる。

[0053] また、上述の各実施例では、反射結像光学系6は、反射面の曲率中心が同一の軸上（光軸AX上）に配列される8つの反射鏡M1～M8を備えている。しかしながら、8つの反射鏡M1～M8のうちの少なくとも1つは、反射

面の曲率中心が光軸AXから外れるように設置されていても良い。また、上述の各実施例において、すべての反射鏡M1～M8は、光軸AXに関して無限回回転対称な面に沿って形成された反射面を有しているが、反射鏡M1～M8のうちの少なくとも1つは、有限回（たとえば1回、2回、3回）回転対称な面に沿って形成された反射面を有していても良い。

[0054] また、上述の各実施例では、逆瞳タイプの反射結像光学系に対して本発明を適用している。しかしながら、逆瞳タイプに限定されることなく、正瞳タイプの反射結像光学系に対しても同様に本発明を適用することができる。正瞳タイプの反射結像光学系では、その入射瞳が物体面よりも光学系側に位置している。

[0055] 上述の各実施例にしたがう反射結像光学系6では、第1反射鏡M1の反射領域および第2反射鏡M2の反射領域が、反射結像光学系6の光軸AXに対してマスクMのパターン面上の被照射領域（照明領域）と同じ側に位置され、第1反射鏡M1および第2反射鏡M2が照明光学系ILからの光の光路を挟むように配置されている。その結果、照明光学系ILのフラットミラー3へ入射する光の光路と反射結像光学系6の光軸AXとがなす角度を82～83度に小さく抑えることができ、ひいては露光装置のフットプリントを小さく抑えることができる。

[0056] 本実施形態の露光装置では、露光光としてEUV光を使用しているので、反射結像光学系6に対して転写すべきマスクMのパターンおよびウェハWを相対移動させて、マスクMのパターンをウェハW上へ高解像度で投影露光することが可能である。その結果、大きな解像力を有する走査型の露光装置を用いて、良好な露光条件のもとで、高精度なデバイスを製造することができる。

[0057] 上述の実施形態の露光装置は、本願特許請求の範囲に挙げられた各構成要素を含む各種サブシステムを、所定の機械的精度、電気的精度、光学的精度を保つように、組み立てることで製造される。これら各種精度を確保するために、この組み立ての前後には、各種光学系については光学的精度を達成す

るための調整、各種機械系については機械的精度を達成するための調整、各種電気系については電氣的精度を達成するための調整が行われる。各種サブシステムから露光装置への組み立て工程は、各種サブシステム相互の、機械的接続、電気回路の配線接続、気圧回路の配管接続等が含まれる。この各種サブシステムから露光装置への組み立て工程の前に、各サブシステム個々の組み立て工程があることはいうまでもない。各種サブシステムの露光装置への組み立て工程が終了したら、総合調整が行われ、露光装置全体としての各種精度が確保される。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行っても良い。

[0058] 次に、上述の実施形態にかかる露光装置を用いたデバイス製造方法について説明する。図7は、半導体デバイスの製造工程を示すフローチャートである。図7に示すように、半導体デバイスの製造工程では、半導体デバイスの基板となるウェハWに金属膜を蒸着し（ステップS40）、この蒸着した金属膜上に感光性材料であるフォトレジストを塗布する（ステップS42）。つづいて、上述の実施形態の露光装置を用い、マスク（レチクル）Mに形成されたパターンをウェハW上の各ショット領域に転写し（ステップS44：露光工程）、この転写が終了したウェハWの現像、つまりパターンが転写されたフォトレジストの現像を行う（ステップS46：現像工程）。その後、ステップS46によってウェハWの表面に生成されたレジストパターンをマスクとし、ウェハWの表面に対してエッチング等の加工を行う（ステップS48：加工工程）。

[0059] ここで、レジストパターンとは、上述の実施形態の露光装置によって転写されたパターンに対応する形状の凹凸が生成されたフォトレジスト層であって、その凹部がフォトレジスト層を貫通しているものである。ステップS48では、このレジストパターンを介してウェハWの表面の加工を行う。ステップS48で行われる加工には、例えばウェハWの表面のエッチングまたは金属膜等の成膜の少なくとも一方が含まれる。なお、ステップS44では、上述の実施形態の露光装置は、フォトレジストが塗布されたウェハWを感光

性基板としてパターンの転写を行う。

[0060] なお、上述の実施形態では、EUV光を供給するための光源としてレーザープラズマX線源を用いているが、これに限定されることなく、EUV光としてたとえばシンクロトロン放射（SOR）光を用いることもできる。

[0061] また、上述の実施形態では、EUV光を供給するための光源を有する露光装置に本発明を適用しているが、これに限定されることなく、EUV光以外の他の波長光を供給する光源を有する露光装置に対しても本発明を適用することができる。

[0062] また、上述の実施形態では、マスクMの代わりに、所定の電子データに基づいて所定パターンを動的に形成する可変パターン形成装置を用いることができる。このような可変パターン形成装置として、たとえば所定の電子データに基づいて駆動される複数の反射素子を含む空間光変調器を用いることができる。空間光変調器を可変パターン形成装置として用いた露光装置は、例えば米国特許公開第2007/0296936号公報や第2009/0122381号公報に開示されている。ここでは、米国特許公開第2007/0296936号公報および第2009/0122381号公報の教示を参照として援用する。

[0063] また、上述の実施形態では、露光装置の投影光学系としての反射結像光学系に対して本発明を適用しているが、これに限定されることなく、一般に第1面上の所定領域の像を第2面上に形成する反射結像光学系に対しても同様に本発明を適用することができる。

符号の説明

- [0064] 1 レーザプラズマX線源
2 オプティカルインテグレータ
2 a, 2 b フライアイ光学系
3 フラットミラー
4 マスク
5 マスクステージ

6 反射結像光学系

7 ウェハ

8 ウェハステージ

I L 照明光学系

G 1, G 2 反射光学系

M 1 ~ M 8 反射鏡

請求の範囲

- [請求項1] 照明光学系からの光で照明された第1面に配置されるパターンの像を第2面に結像する反射結像光学系において、
- 前記第1面で反射された光を、第1番目に反射する第1反射鏡と、第2番目に反射する第2反射鏡とを含む複数の反射鏡を備え、
- 前記照明光学系からの前記光が前記第1面に照射する領域を被照射領域とし、前記第1面上において前記被照射領域が位置する部分を、前記複数の反射鏡の光軸よりも所定の方向側であるとするとき、前記第1反射鏡の反射領域および前記第2反射鏡の反射領域は、前記複数の反射鏡の光軸よりも前記所定の方向側に位置し、
- 前記照明光学系からの光の光路を挟むように、前記第1反射鏡および前記第2反射鏡が配置されることを特徴とする反射結像光学系。
- [請求項2] 照明光学系からの光で照明された第1面に配置されるパターンの像を第2面に結像する反射結像光学系において、
- 前記第1面で反射された光を、第1番目に反射する第1反射鏡と、第2番目に反射する第2反射鏡と、第3番目に反射する第3反射鏡とを含む複数の反射鏡を備え、
- 前記第1反射鏡の反射領域および前記第2反射鏡の反射領域が前記照明光学系からの光の光路を挟むように、前記第1反射鏡および前記第2反射鏡が配置され、
- 前記照明光学系からの前記光が前記第1面に照射する領域を被照射領域とし、前記第1面上において前記被照射領域が位置する部分を、前記複数の反射鏡の光軸よりも所定の方向側であるとするとき、前記第3反射鏡は、前記複数の反射鏡の光軸よりも前記所定の方向側に配置されることを特徴とする反射結像光学系。
- [請求項3] 前記複数の反射鏡は、前記第1面で反射された光の入射順に、前記第1反射鏡と、前記第2反射鏡と、第3反射鏡と、第4反射鏡と、第5反射鏡と、第6反射鏡と、第7反射鏡と、第8反射鏡とを備え、

前記反射結像光学系の入射瞳は、前記第1面を挟んで前記反射結像光学系の反対側に位置していることを特徴とする請求項1または2に記載の反射結像光学系。

[請求項4] 前記第1反射鏡の反射領域は、前記第2反射鏡の反射領域よりも前記複数の反射鏡の光軸から離れて形成されることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の反射結像光学系。

[請求項5] 前記複数の反射鏡の光軸に垂直な第1方向に沿った前記第1反射鏡の反射領域と前記第2反射鏡の反射領域との間隔をHとし、前記第1反射鏡の反射領域の前記第1方向に沿った断面寸法をDとするとき、 $0.5 < D/H < 1.1$ の条件を満足することを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の反射結像光学系。

[請求項6] $0.5 < D/H < 1.1$ の前記条件に代えて、 $0.75 < D/H < 1.1$ の条件を満足することを特徴とする請求項5に記載の反射結像光学系。

[請求項7] $0.5 < D/H < 1.1$ の前記条件に代えて、 $0.9 < D/H < 1.1$ の条件を満足することを特徴とする請求項5に記載の反射結像光学系。

[請求項8] 前記反射結像光学系の前記第1面から前記第2面への結像倍率の大きさは $1/6$ 以下であることを特徴とする請求項1乃至7のいずれか1項に記載の反射結像光学系。

[請求項9] 前記結像倍率の大きさは $1/8$ 以下であることを特徴とする請求項8に記載の反射結像光学系。

[請求項10] 前記第1反射鏡乃至前記第6反射鏡は、前記第1面と共役な位置を形成し、

前記第7反射鏡および前記第8反射鏡は、前記共役な位置からの光

に基づいて前記パターンの像を前記第2面に形成することを特徴とする請求項3乃至9のいずれか1項に記載の反射結像光学系。

[請求項11] 前記第1反射鏡乃至前記第3反射鏡は、前記複数の反射鏡の光軸よりも前記所定の方向側に配置されていることを特徴とする請求項2乃至10のいずれか1項に記載の反射結像光学系。

[請求項12] 光源からの光により前記第1面のパターンを照明する照明光学系と、前記パターンを前記第2面に設置された感光性基板に投影する請求項1乃至11のいずれか1項に記載の反射結像光学系と、を備えていることを特徴とする露光装置。

[請求項13] 前記照明光学系は、前記光源からの光を、前記第1反射鏡と前記第2反射鏡との間を通して、前記第1面に導くフラットミラーをさらに有することを特徴とする請求項12に記載の露光装置。

[請求項14] 前記フラットミラーと前記第1面とがなす角度のうち鋭角となる方の角度は、60度以上であることを特徴とする請求項13に記載の露光装置。

[請求項15] 前記照明光学系の射出瞳と前記反射結像光学系の入射瞳とが一致していることを特徴とする請求項12乃至14のいずれか1項に記載の露光装置。

[請求項16] 前記照明光学系は、複数の第1反射光学要素を有する第1フライアイ光学系と前記複数の第1反射光学要素に対応するように並列配置された複数の第2反射光学要素を有する第2フライアイ光学系とを備え、
前記照明光学系の射出瞳に前記第2フライアイ光学系の反射面が配置されていることを特徴とする請求項15に記載の露光装置。

[請求項17] 前記第2フライアイ光学系と前記第1面との間の光路中には、パワーを有する反射鏡が配置されていないことを特徴とする請求項16に記載の露光装置。

[請求項18] 前記光源からの光は、波長が5nm乃至40nmのEUV光であり、
前記反射結像光学系に対して前記所定のパターンおよび前記感光性

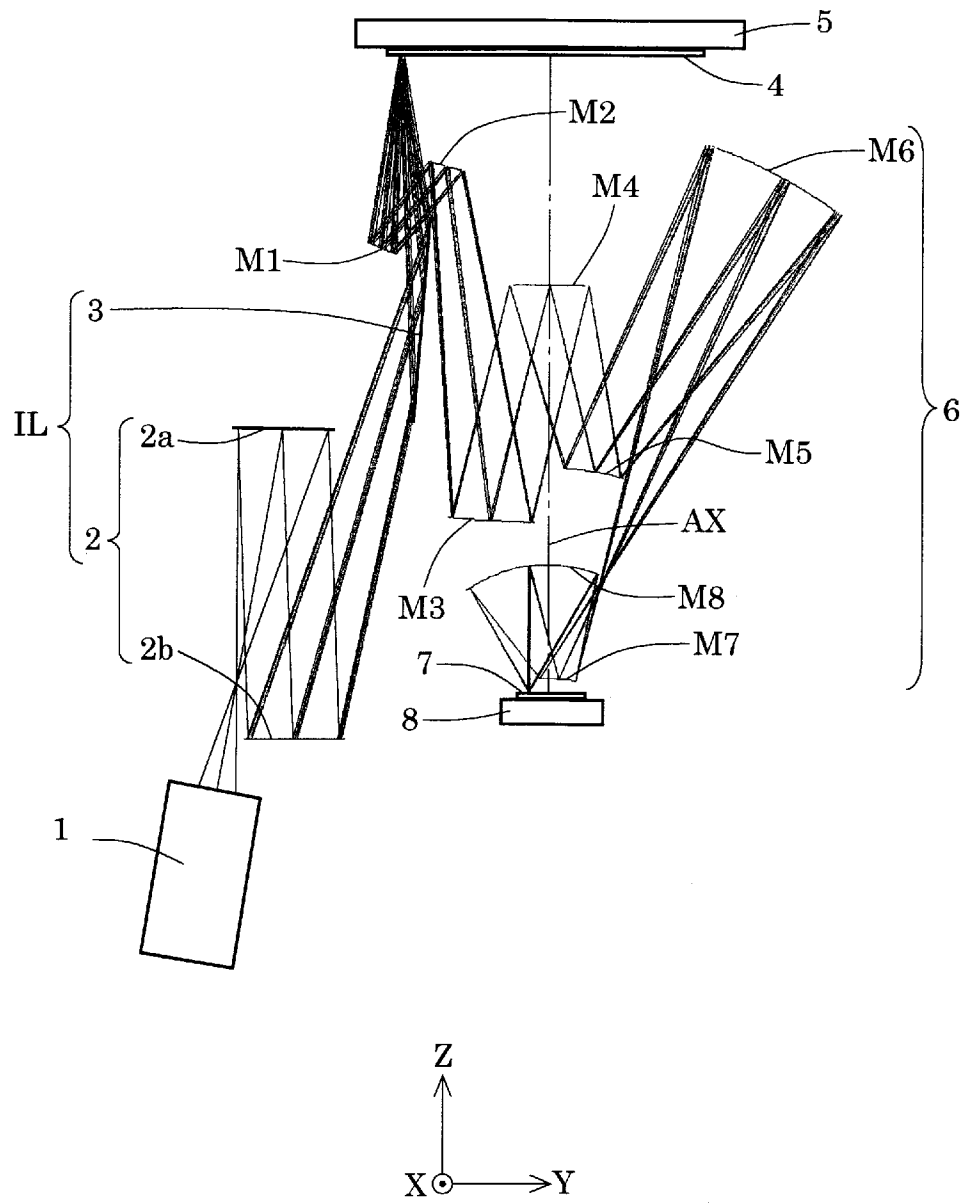
基板を相対移動させて、前記所定のパターンを前記感光性基板に投影露光することを特徴とする請求項 1 2 乃至 1 7 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

[請求項19] 請求項 1 2 乃至 1 8 のいずれか 1 項に記載の露光装置を用いて、前記所定のパターンを前記感光性基板に露光することと、

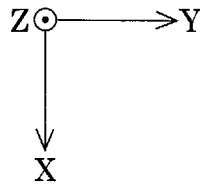
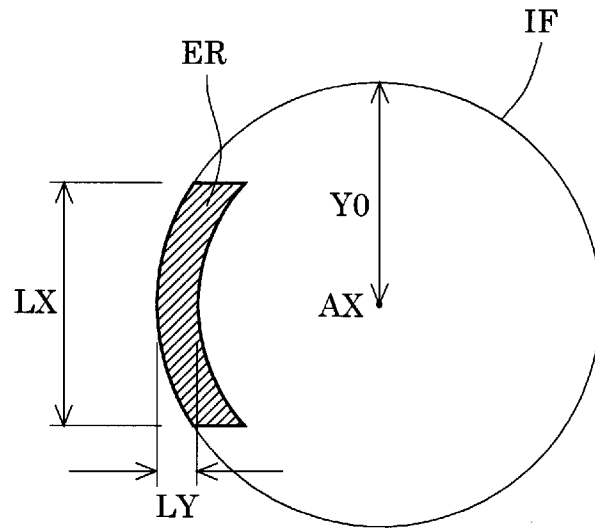
前記所定のパターンが転写された前記感光性基板を現像し、前記所定のパターンに対応する形状のマスク層を前記感光性基板の表面に形成することと、

前記マスク層を介して前記感光性基板の表面を加工することと、を含むことを特徴とするデバイス製造方法。

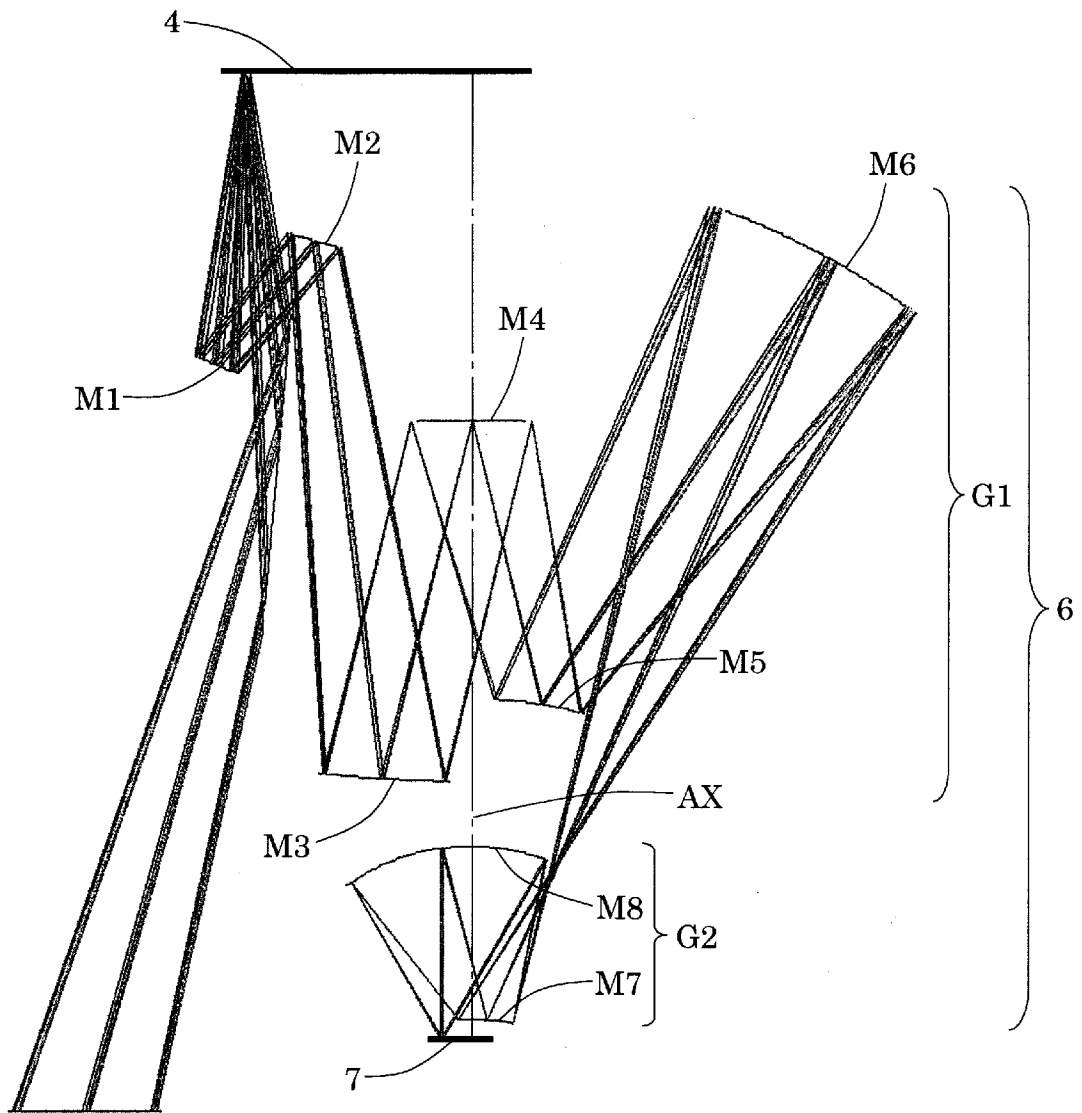
[図1]



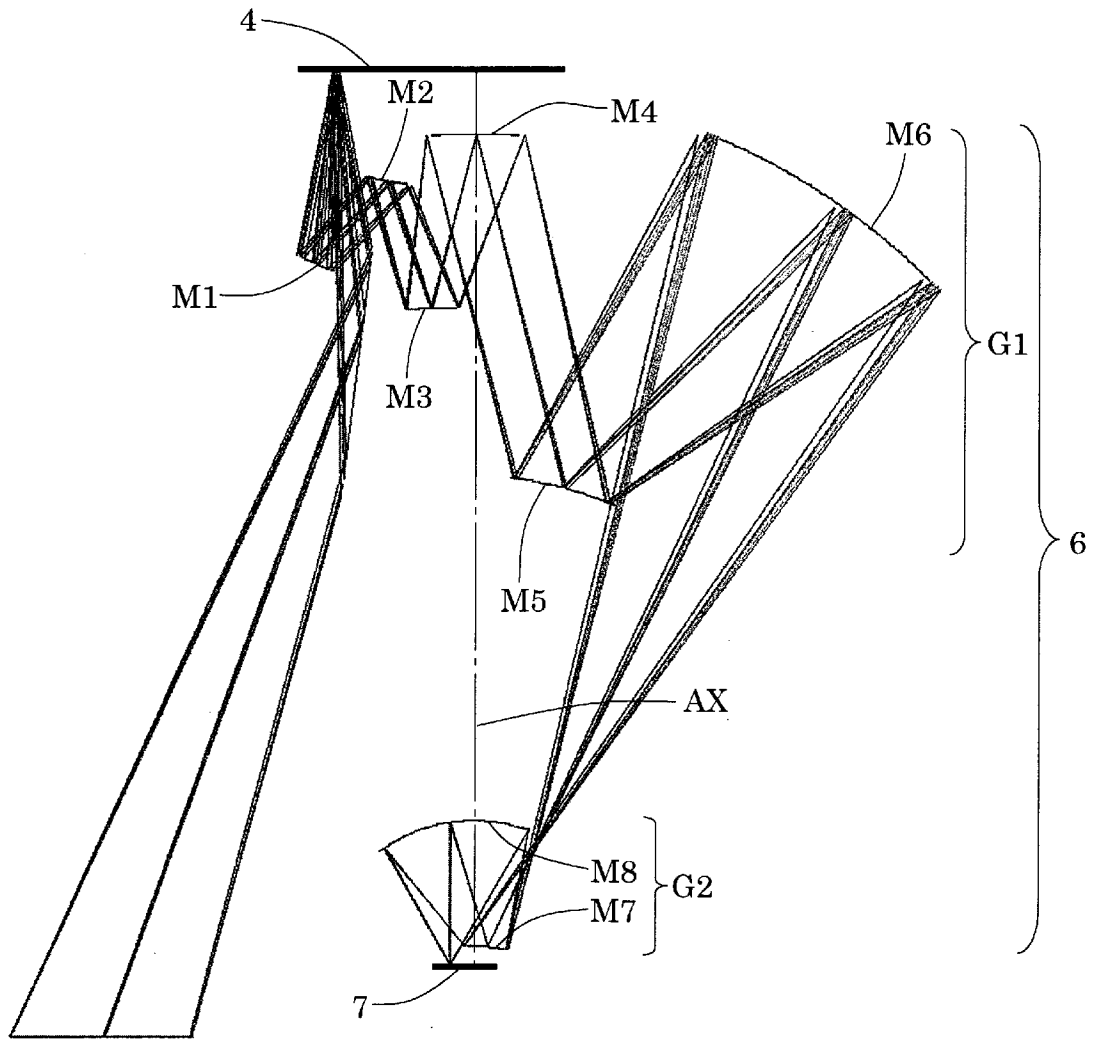
[図2]



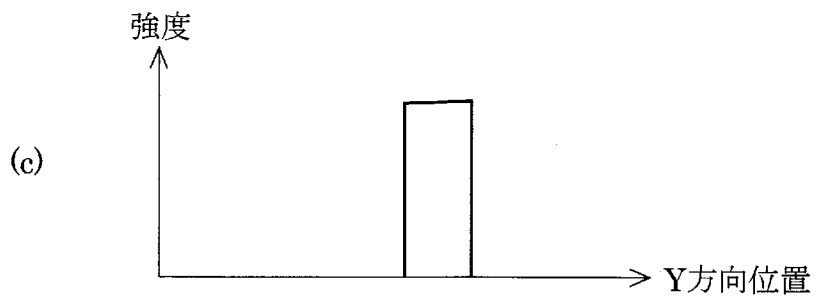
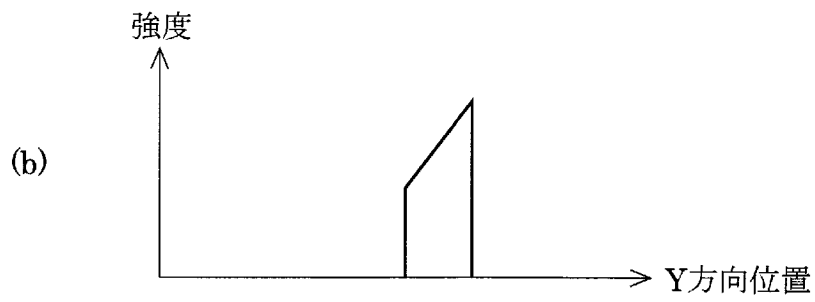
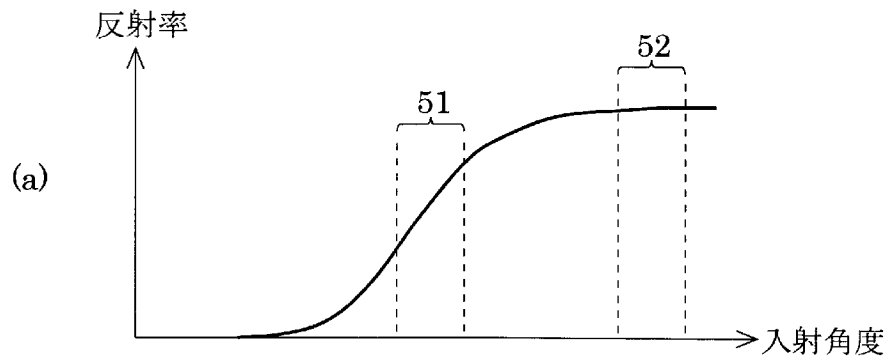
[図3]



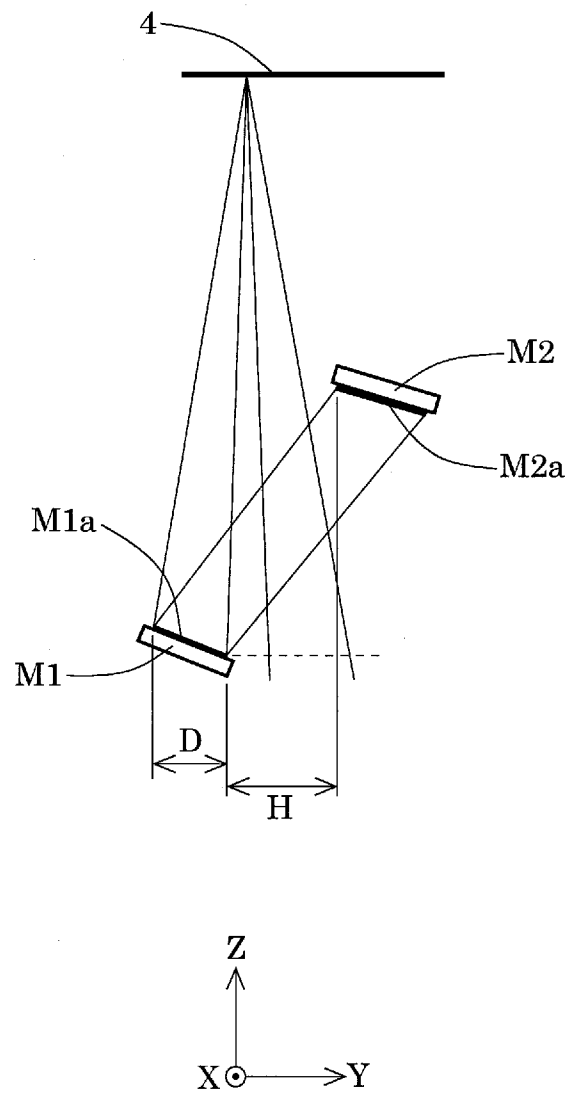
[図4]



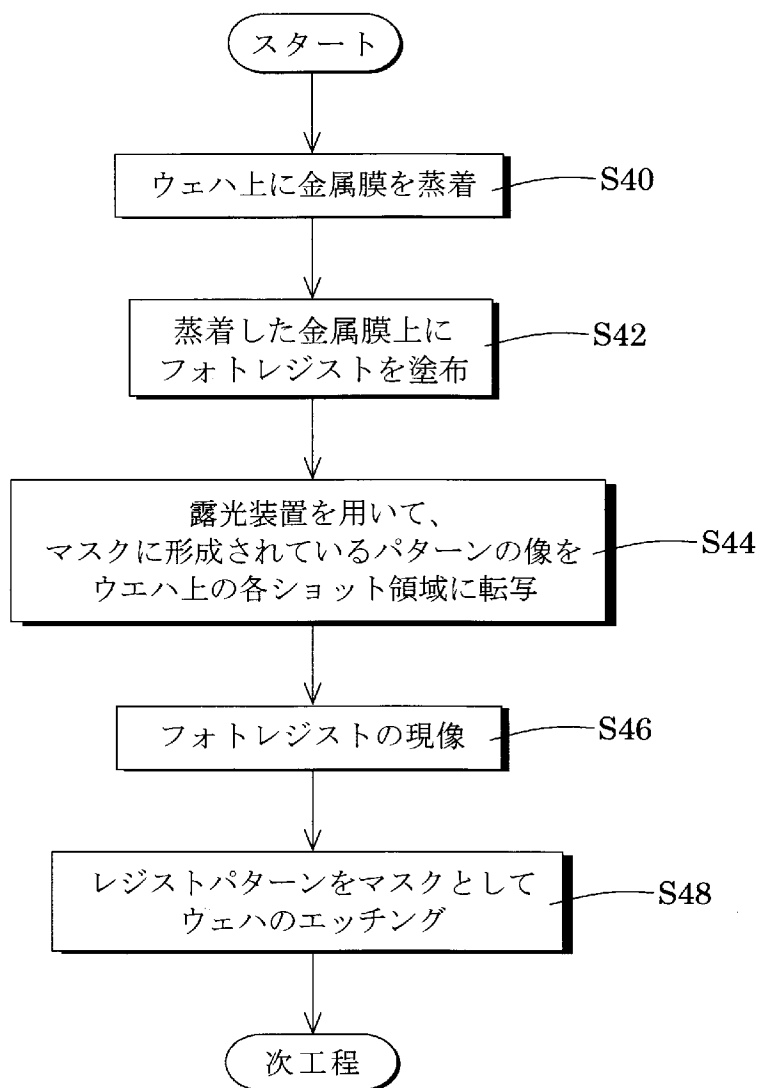
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/051961

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/027(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)

H01L21/027

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 | 1996-2013 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2013 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2013 |

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. |
|-----------|--|-----------------------|
| A | WO 2006/033336 A1 (Nikon Corp.), 30 March 2006 (30.03.2006), paragraphs [0026] to [0038]; fig. 1 & US 2009/0002662 A1 & EP 1796147 A1 & CN 1985356 A & KR 10-2007-0054666 A & IL 181506 D | 1-19 |
| A | WO 2009/125530 A1 (Nikon Corp.), 15 October 2009 (15.10.2009), paragraphs [0015] to [0020]; fig. 1 & US 2011/0109890 A1 & KR 10-2011-0005704 A | 1-19 |
| A | JP 2011-86708 A (Nikon Corp.), 28 April 2011 (28.04.2011), paragraphs [0017] to [0026]; fig. 1 (Family: none) | 1-19 |

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
06 March, 2013 (06.03.13)

Date of mailing of the international search report
19 March, 2013 (19.03.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L21/027 (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 (IPC))

Int.Cl. H01L21/027

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 | 1922-1996年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1971-2013年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2013年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2013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 |
|-----------------|---|----------------|
| A | WO 2006/033336 A1 (株式会社ニコン) 2006.03.30, 段落【0026】 - 【0038】, 第1図 & US 2009/0002662 A1 & EP 1796147 A1 & CN 1985356 A & KR 10-2007-0054666 A & IL 181506 D | 1-19 |
| A | WO 2009/125530 A1 (株式会社ニコン) 2009.10.15, 段落【0015】 - 【0020】, 第1図 & US 2011/0109890 A1 & KR 10-2011-0005704 A | 1-19 |

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 | の日の後に公表された文献 |
| 「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 | 「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 |
| 「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 | 「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 |
| 「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) | 「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 |
| 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 | 「&」同一パテントファミリー文献 |
| 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 | |

国際調査を完了した日
06.03.2013

国際調査報告の発送日
19.03.2013

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁 (ISA/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) | 2M | 4634 |
| 松岡 智也 | | |
| 電話番号 03-3581-1101 内線 3274 | | |

| 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 |
| A | JP 2011-86708 A (株式会社ニコン) 2011. 04. 28, 段落【0017】 - 【0026】 , 第1図 (ファミリーなし) | 1-19 |