

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4976670号
(P4976670)

(45) 発行日 平成24年7月18日(2012.7.18)

(24) 登録日 平成24年4月20日(2012.4.20)

(51) Int.Cl.

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

F 1

H01L 21/30 516A
H01L 21/30 516C
G03F 7/20 521

請求項の数 6 (全 40 頁)

(21) 出願番号 特願2005-242033 (P2005-242033)
 (22) 出願日 平成17年8月24日 (2005.8.24)
 (65) 公開番号 特開2007-59566 (P2007-59566A)
 (43) 公開日 平成19年3月8日 (2007.3.8)
 審査請求日 平成20年8月22日 (2008.8.22)

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100110412
 弁理士 藤元 亮輔
 (72) 発明者 上遠野 綾子
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ャノン株式会社内
 (72) 発明者 川島 春名
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ャノン株式会社内

審査官 岩本 勉

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】露光装置及びデバイス製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レチクルのパターンの像をステージに載置された被処理体に投影する投影光学系を備える露光装置であって、

位相子、偏光素子および光検出器を有し、偏光状態を測定する偏光状態測定手段と、前記ステージに配置され、前記投影光学系から射出された光を反射し、前記投影光学系に該光を再び入射させるミラーと、

レチクルステージと、

前記レチクルステージに載置されたレチクルを照明する照明光学系と、

前記レチクルと交換可能に前記レチクルステージに載置され、入射光を前記偏光状態測定手段に導く光学ユニットと、を有し、

前記光学ユニットを前記レチクルステージに載置した状態において、前記偏光状態測定手段は、光源から射出し、前記投影光学系、前記ミラー、前記投影光学系、前記光学ユニット、前記位相子および前記偏光素子を順に介した光を前記光検出器を用いて検出することにより、前記投影光学系の瞳透過率分布の偏光特性を測定することを特徴とする露光装置。

【請求項 2】

前記位相子および前記偏光素子のうちの少なくとも一方は光軸を中心として回転可能に構成され、

前記偏光状態測定手段は、前記位相子と前記偏光素子との相対的な回転角度の異なる少

10

20

なくとも 3 つの状態を設定するための設定手段をさらに有することを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。

【請求項 3】

前記ミラーは、球面ミラー又は平面ミラーであることを特徴とする請求項 1 又は 2 のいずれか一項記載の露光装置。

【請求項 4】

前記光学ユニットは、両側がテレセントリックな光学系であることを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。

【請求項 5】

前記偏光状態測定手段は、前記レチクルの位置またはその近傍、前記レチクルの共役位置またはその近傍、前記被処理体の位置またはその近傍、あるいは前記被処理体の共役位置またはその近傍に位置決め可能なピンホール部材を有し、10

前記ピンホール部材のピンホールを通過した光を用いて前記偏光状態を測定することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか一項記載の露光装置。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれか一項記載の露光装置を用いて被処理体を露光するステップと、

露光された前記被処理体を現像するステップとを有することを特徴とするデバイス製造方法。20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般には、露光装置に係り、特に、半導体ウェハ用の単結晶基板、液晶ディスプレイ (LCD) 用のガラス基板などの被処理体を露光する露光装置における露光光及び投影光学系の偏光状態の計測に関する。10

【背景技術】

【0002】

フォトリソグラフィー (焼き付け) 技術を用いて半導体素子を製造する際に、レチクル (マスク) に描画された回路パターンを投影光学系によってウェハ等に投影して回路パターンを転写する投影露光装置が従来から使用されている。30

【0003】

投影露光装置の露光性能を決定する要素には、解像度、重ね合わせ精度 (オーバーレイ精度) 及びスループットの 3 つの重要な要素がある。近年、かかる 3 つの要素のうち、特に、解像力に関して、投影光学系の液浸化による高 N A 化が注目されている。投影光学系の N A を大きくすることは、像面からの垂線と入射光の進行方向との成す角が大きくなることを意味しており、高 N A 結像と呼ばれる。

【0004】

高 N A 結像では、露光光の偏光状態が重要となる。例えば、ラインとスペースが繰り返されているような、所謂、ライン・アンド・スペース (L & S) パターンを露光する場合を考える。L & S パターンは、平面波の 2 光束干渉によって形成される。2 光束の入射方向ベクトルを含む面を入射平面とし、入射平面に垂直な偏光を S 偏光、入射平面に平行な偏光を P 偏光とする。2 光束の入射方向ベクトルの互いに成す角が 90 度の場合、S 偏光は干渉するので L & S パターンに応じた光強度分布が像面上に形成される。一方、P 偏光は干渉しない (干渉の効果が打ち消される) ので光強度分布は一定となり、L & S パターンに応じた光強度分布が像面上に形成されることはない。S 偏光と P 偏光が混在していると、S 偏光だけのときよりもコントラストが悪い光強度分布が像面上に形成され、P 偏光の割合が大きくなると像面上の光強度分布のコントラストが低下し、最終的には、パターンが形成されなくなる。40

【0005】

このため、露光光の偏光を制御してコントラストを向上させる必要がある。偏光制御さ50

れた露光光は、十分なコントラストの光強度分布を像面上に形成することができ、より微細なパターンを露光することが可能となる。

【0006】

露光光の偏光制御は、照明光学系、詳細には、照明光学系の瞳で行われる。偏光照明は、あるパターンに対して有効な形状であり、且つ、最適な偏光方向を有する有効光源で照明することが求められている。例えば、Y方向パターンの場合に対しては、偏光方向をY方向に有するXダイポール照明が有効である。また、様々な方向のパターンが混在する場合に対しては、輪帯の円周方向に偏向方向を有するタンジェンシャル照明が有効である。

【0007】

しかしながら、照明光学系の瞳で露光光の偏光を制御したとしても、照明光学系の瞳以降の光学系、若しくは、投影光学系の影響によって、照明光学系の瞳で制御した偏光状態が常に維持されて像面上に到達することは限らない。例えば、透過率又は反射率を向上させるために、レンズに反射防止膜又は反射ミラーに高反射膜を形成しているが、偏光方向によって反射率が異なり、位相差が加わることで偏光状態を変化させる要素を有している。また、露光光の短波長化に伴って、石英や萤石の結晶部材が硝材に使用されており、これらの硝材は複屈折を有しているため、偏光状態を変化させてしまう。更に、硝材を保持する鏡筒などのメカ部材の応力によって、硝材の有する複屈折は変化するため、硝材の複屈折を常に一定に維持させることは極めて困難である。

【0008】

従って、露光装置としての偏光状態、即ち、投影光学系の偏光状態を計測することが必要であり、例えば、ウェハステージ上に計測手段を構成し、投影光学系のウェハ側において偏光状態を計測することが提案されている（例えば、特許文献1参照。）。

【0009】

一方、解像力の向上、及び、CD（クリティカルディメンション）制御では、照明光学系の有効光源分布の計測及び制御に対する重要性も再認識されている。照明光学系の有効光源分布とは、例えば、ケーラー照明が用いられる投影露光装置において、投影光学系の入射瞳面の大きさに対する入射瞳面上での光源像の大きさ、形状及び強度分布を意味する。かかる有効光源形状の計測でも、ウェハステージ上に計測手段を構成し、投影光学系を介して有効光源形状を計測することが知られている。

【特許文献1】特開2004-61515号公報

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

このように、近年の投影露光装置では、露光装置上の偏光状態を高精度に計測することが必須事項となってきている。しかしながら、ウェハステージ上に計測手段を構成する従来技術は、近年の投影露光装置に適用する上で様々な問題を含んでいる。

【0011】

最も大きな問題は、照明光学系と投影光学系の各々の要因による露光装置上の偏光状態への影響を分離して計測することができないことがある。従来技術におけるウェハ面上での照明光学系及び投影光学系（以下、「露光光学系」と称する。）の偏光状態の計測は、通常、レチクルを配置しない状態（0次光のみの状態）で行われる。このような計測では、照明光学系の偏光状態と投影光学系の偏光状態とが打ち消しあって、見かけ上は良好な偏光状態として計測される場合がある。しかしながら、実際のパターン転写では、照明光学系と投影光学系との間にレチクルが配置される。従って、レチクル上の回路パターンを照明すると、そのまま透過する0次光の他に、回路パターンによって高次回折光が発生する。これらの0次光及び高次回折光の各々が、投影光学系内を異なる光路で通過して、ウェハ上に集光し、パターン像を形成する。そのため、ウェハ面上での偏光状態の計測では、良好な偏光状態と計測されても、高次回折光それぞれの光路の偏光状態が異なり、その結果、結像性能が非対称となり、解像不良を引き起こす可能性がある。

【0012】

40

50

また、ウェハステージ上のスペースの制約から、高精度な偏光計測を可能にするために必要な光学部品を配置することができない。例えば、レンズの外形周辺では保持による内部応力が発生し、硝材の複屈折を変化させてしまうため、計測手段で発生する偏光状態の変化による測定誤差が含まれてしまう問題がある。

【0013】

また、ウェハステージ上のスペースの制約から、計測手段内に偏光子や位相子を配置することができない。従って、投影光学系の偏光状態の計測は、照明光学系で偏光制御した照明光を、偏光計測の機能を有さないウェハステージ上の計測手段で計測することになるため、位相変化を含めた高精度な偏光計測を行うことができないという問題がある。

【0014】

更に、液浸化による高NA化に対応して、計測手段も高NA化が必要となるが、高NA化された計測手段をウェハステージ上に構成することが困難であるという問題もある。

【0015】

そこで、本発明は、露光装置上において、照明光学系や投影光学系の光学特性（特に、偏光状態）を高精度に計測することができる露光装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0016】

上記目的を達成するために本発明の一側面としての露光装置は、レチクルのパターンの像をステージに載置された被処理体に投影する投影光学系を備える露光装置であって、位相子、偏光素子および光検出器を有し、偏光状態を測定する偏光状態測定手段と、前記ステージに配置され、前記投影光学系から射出された光を反射し、前記投影光学系に該光を再び入射させるミラーと、レチクルステージと、前記レチクルステージに載置されたレチクルを照明する照明光学系と、前記レチクルと交換可能に前記レチクルステージに載置され、入射光を前記偏光状態測定手段に導く光学ユニットと、を有し、前記光学ユニットを前記レチクルステージに載置した状態において、前記偏光状態測定手段は、光源から射出し、前記投影光学系、前記ミラー、前記投影光学系、前記光学ユニット、前記位相子および前記偏光素子を順に介した光を前記光検出器を用いて検出することにより、前記投影光学系の瞳透過率分布の偏光特性を測定することを特徴とする。

【0020】

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

【発明の効果】

【0021】

本発明によれば、露光装置上において、照明光学系や投影光学系の光学特性（特に、偏光状態）を高精度に計測することができる露光装置を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

以下、添付図面を参照して、本発明の好適な実施の形態について説明する。なお、各図において、同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。

【実施例1】

【0023】

図1は、本発明の一側面としての露光装置1の構成を示す概略断面図である。

【0024】

図1において、10は、照明装置である。照明装置10は、レーザー等の光源部12と、照明系引き回し部14と、マスキングブレード16と、照明光学系18とから構成される。

【0025】

光源部12からの光は、照明光学系18を介して、所望の照明モード、所望の偏光状態及び所望の照度分布となり、レチクルステージ25に載置されたレチクル20を照明する。また、照明光学系18は、開口を可変とするマスキングブレード16によって、レチク

10

20

30

40

50

ル 2 0 上の照明領域を所望の領域に限定することができる。

【 0 0 2 6 】

レチクル 2 0 の下面には、パターンが形成されている。かかるパターンからの回折光が、投影光学系 3 0 を介して、ウェハステージ 4 5 に載置されたウェハ 4 0 上に結像される。これにより、レチクル 2 0 のパターンが転写される。なお、ウェハ 4 0 にはフォトレジストが塗布されている。

【 0 0 2 7 】

露光装置 1 は、レチクルストッカー 5 0 を有している。レチクルストッカー 5 0 は、レチクル 2 0 のパターンと異なるパターンを有する複数のレチクル 2 0 A や、後述する光学ユニット 1 0 0 、 1 0 0 A 及び 1 0 0 B を収納する。露光装置 1 は、露光工程に応じて、図示しないレチクル交換手段を介して、レチクルストッカー 5 0 に収納されたレチクル 2 0 A や光学ユニット 1 0 0 、 1 0 0 A 及び 1 0 0 B と、レチクルステージ 2 5 に載置されたレチクル 2 0 とを交換することができる。10

【 0 0 2 8 】

6 0 は、コマンドを入力するコンソールを含めた制御部である。制御部 6 0 は、照明装置 1 0 、レチクルステージ 2 5 及びウェハステージ 4 5 を始め、図示しないレチクル交換手段など露光装置 1 の全体を制御する。

【 0 0 2 9 】

光学ユニット 1 0 0 は、後述するように、内部に複数の光学素子などが構成されている。光学ユニット 1 0 0 は、照明光学系 1 8 や投影光学系 3 0 の各々の光学特性、照明光学系 1 8 及び投影光学系 3 0 の全体の光学特性を計測する際に用いられる。光学ユニット 1 0 0 は、レチクル 2 0 と略同等の形状を有し、レチクル 2 0 と同様に、露光装置 1 のレチクルステージ 2 5 に載置することができる。なお、図 1 では、光学ユニット 1 0 0 は、レチクルストッカー 5 0 に収納されている。20

【 0 0 3 0 】

ここで、図 2 を参照して、光学ユニット 1 0 0 の具体的な構成及び光学ユニット 1 0 0 及び観察光学系 2 0 0 を用いた照明光学系 1 8 の光学特性の計測について説明する。図 2 は、光学ユニット 1 0 0 が、レチクルステージ 2 5 に載置された状態を示す部分断面図である。

【 0 0 3 1 】

図 2 では、レチクル 2 0 の上面の位置を A 面（2 点鎖線）として示し、レチクル 2 0 の下面の位置を B 面（2 点鎖線）で示している。A 面で示したレチクル 2 0 の上面は、通常のレチクル 2 0 ではブランク面の位置に相当する。B 面で示したレチクル 2 0 の下面は、通常のレチクル 2 0 では、レチクル 2 0 に取り付けられたペリクル面の位置に相当する。30

【 0 0 3 2 】

光学ユニット 1 0 0 は、内部に光学素子を有する。具体的には、光学ユニット 1 0 0 は、ピンホールを有するマスク 1 0 1 と、フーリエ変換レンズ 1 0 2 と、折り曲げミラー 1 0 3 a 及び 1 0 3 b と、リレー光学系 1 0 4 とを有する。

【 0 0 3 3 】

光学ユニット 1 0 0 は、露光装置 1 に自動的に搬入及び搬出ができるよう（即ち、レチクルステージ 2 5 に載置させることができるように）、上面を略 A 面の位置とし、下面を略 B 面の位置とする。但し、光学ユニット 1 0 0 は、露光装置 1 に自動的に搬入及び搬出することができれば、A 面から若干上下した位置を上面とし、B 面から若干上下した位置を下面としても構わない。40

【 0 0 3 4 】

光学ユニット 1 0 0 をレチクルステージ 2 5 に載置した状態での照明光学系 1 8 の偏光光学特性（偏光状態）の計測について説明する。照明光学系 1 8 は、図 2 に示すように、C 面を照明する。C 面は、レチクル 2 0 の（硝材の）厚さを考慮した光学的にレチクル 2 0 のパターン面に相当する位置である。

【 0 0 3 5 】

10

20

30

40

50

光学ユニット100は、上述したように、ピンホール101を有し、かかるピンホール101は、C面に位置することが好ましい。ピンホール101をC面からデフォーカスさせると、照明光学系18の照明領域の周辺部で照度分布がぼけてくる。従って、ピンホール101をC面からデフォーカスさせた構成の場合には、光学ユニット100を用いた光学特性の計測を、照明光学系の照明領域の照度分布が均一な領域に対して行う必要がある。なお、ピンホール101をC面からデフォーカスすることで、光学ユニット100をコンパクトにすることができる。

【0036】

ピンホール101を通過した光束は、フーリエ変換レンズ102によって、略平行光束となる。フーリエ変換レンズ102を通過した光束（平行光束）は、折り曲げミラー103aで反射（偏向）され、D面に照明光学系18の有効光源分布の像を形成する。なお、D面は、像面であるC面に対して瞳面となっている。

10

【0037】

D面に形成された有効光源分布の像は、リレー光学系104及び折り曲げミラー103bを介して、E面に有効光源分布の像を再び形成する。なお、E面は、後述する観察光学系200の観察面であり、C面と同様に、レチクル20の厚さを考慮した光学的にレチクル20のパターン面に相当する位置である。

【0038】

リレー光学系104は、入射側（D面側）及び射出側（E面側）共に、テレセントリックな光学系であることが好ましい。リレー光学系104をテレセントリックな光学系とすることで、リレー光学系104を構成する光学素子等の許容製造誤差によるE面での結像倍率誤差を最小に抑えることが可能となる。リレー光学系104の構成は、一般的に、ビームエキスパンダーとして知られている。

20

【0039】

偏光状態測定手段である観察光学系200は、レチクル面を観察する光学系である。観察光学系200は、レチクル20上の位置合わせ用マーク及びレチクルステージ25に載置された図示しない基準プレートの位置合わせマークを検出し、レチクル20とレチクルステージ25との相対的な位置合わせに用いられる。また、観察光学系200は、レチクル20上の位置合わせ用マーク及びウェハステージ45に載置された図示しない基準プレートの位置合わせマークを検出し、レチクル20とウェハステージ45との相対的な位置合わせにも用いられる。

30

【0040】

観察光学系200は、本実施形態では、E面に形成された有効光源分布の像を検出（観察）する。詳細には、E面に形成された有効光源分布の像は、観察光学系200において、対物レンズ201に入射し、対物レンズ201の瞳面F上で集光光束となる。対物レンズ201を通過した光束（集光光束）は、折り曲げミラー202で反射（偏向）され、レンズ203を介して平行光束となる。レンズ203を通過した光束（平行光束）は、G面に有効光源分布の像を形成する。なお、対物レンズ201とレンズ203とから構成される光学系は、上述したリレー光学系104と同様な理由で、入射側（E面側）及び出射側（G面側）共に、テレセントリックな光学系であることが好ましい。

40

【0041】

光検出器としての2次元画像検出素子（CCD等）204は、G面に配置され、対物レンズ201、折り曲げミラー202及びレンズ203を介して形成された有効光源分布の像を検出（観察）する。また、レンズ203と2次元画像検出素子204との間には、透過光に複屈折を付与する位相子240と偏光子260とを配置する。なお、図2に示すように、入射側から、位相子240、偏光子260の順に配置する。これにより、偏光計測が可能となる。

【0042】

光学ユニット100及び観察光学系200を用いた偏光計測について説明する。2次元画像検出素子204で検出される光強度分布は、振幅Ex及びEy、及び、位相差の関

50

数である。この関数の未知数は 3 つ（振幅 E_x 及び E_y 、及び、位相差）である。従って、独立な 3 つ以上の偏光状態で光強度分布を計測することが、入射光の偏光状態を計測するために必要となる。

【0043】

独立な 3 つ以上の偏光状態は、例えば、図 3 に示すように、位相子 240 を、透過光に異なる位相差を付与する 3 つの位相子 242a 乃至 242c をプレート 244 上に配置させた構成にすることで実現することができる。プレート 244 をスライドさせ、光路中に配置する位相子 242a 乃至 242c を変えることによって、独立な 3 つ以上の偏光状態を実現する。ここで、図 3 は、位相子 240 の構成の一例を示す概略平面図である。

【0044】

図 4 に示すように、位相子 240 を回転可能に構成し、位相子 240 の回転角度を 3 つ以上に変化させることで、独立な 3 つ以上の偏光状態を実現することもできる。図 4 は、位相子 240 の構成の一例を示す概略平面図である。

【0045】

また、位相子 240 を $\pi/2$ 波長板と $\pi/4$ 波長板の 2 つの波長板から構成し、各々を回転可能にすることでも独立な 3 つ以上の偏光状態を実現することができる。

【0046】

更に、位相子 240 を PEM (光弾性変調器) で構成し、かかる PEM に 3 つ以上の応力を加えることで、透過光の偏光状態に 3 つ以上の位相差を付与し、独立な 3 つ以上の偏光状態を実現してもよい。なお、PEM を構成する応力複屈折を示す部材に均一に応力を加えるために、応力部材を共振させて位相変調させることができている。また、PEM は、光路内で所定角度回転（図 4 に示す矢印と同じ回転方向）させた状態で配置する必要がある。従って、部材に加える応力を一定とし、PEM の回転角度を 3 つ以上に変化させることで、独立な 3 つ以上の偏光状態を実現することもできる。

【0047】

偏光素子 260 は、特許第 3288976 号に提案されているような平行平板状の偏光子、入射角度をブリュースター角近傍に傾けた平行平板状の偏光ビームスプリッター、或いは、プリズム型の偏光ビームスプリッター等を使用する。偏光素子 260 は、本実施形態では、固定された状態で構成されている。但し、偏光素子 260 は、回転可能な構成であっても構わない。

【0048】

位相子 240 及び偏光素子 260 は、入射光が平行光束となる光路中に配置することが好ましい。この場合の観察光学系 200 の構成を図 5 に示す。観察光学系 200 は、上述したように、レチクル 20 上の位置合わせ用マークなどを検出するために用いられる。この時の検出（観察）光の光路を点線として図 5 に示す。以下、レチクル 20 の位置合わせ用マークを検出する場合において、観察光学系 200 の内部を光束がどのように通過するかについて説明する。

【0049】

図 5 を参照するに、まず、観察光学系 200 が有する図示しない光源からの照明光で、E 面上の位置合わせ用マーク AM を照明する。位置合わせ用マーク AM から反射した NA を有する光束（検出光）が対物レンズ 201 に入射する。

【0050】

対物レンズ 201 を通過した光束は、略平行光束となり、折り曲げミラー 202 で反射され、レンズ 203 に入射する。レンズ 203 を通過した光束は、NA を有する集光光束となり、位相子 240 及び偏光子 260 を介して、2 次元画像検出素子 204 上に位置合わせ用マーク AM の像を形成する。

【0051】

位置合わせ用マーク AM を検出する際に、光束が略平行光束となるのは、折り曲げミラー 202 を挟んで、対物レンズ 201 とレンズ 203 との間である。これに対して、上述したように、光学ユニット 100 を用いた計測の場合では、E 面と対物レンズ 201 との

10

20

30

40

50

間、及び、レンズ 203 から 2 次元画像検出素子 204 との間ににおいて、光束が略平行光束となる。

【0052】

従って、位置合わせ用マーク AM を検出する場合と、光学ユニット 100 を用いた計測の場合では、光束が略平行光束となる位置が異なることになる。そのため、光学ユニット 100 を用いた計測の場合には、2 次元画像検出素子 204 の直前の略平行光束となる空間に、位相子 240 及び偏光素子 260 を配置することが好ましい。

【0053】

但し、位相子 240 及び偏光素子 260 は、一般的に、極めて狭い NA の範囲（数度程度）でしか、良好な偏光透過特性を得ることができない。従って、位相子 240 及び偏光素子 260 を観察光学系 200 の内部に固定すると、位置合わせ用マーク AM を検出する際に、偏光透過光束が非対称な強度分布を有し、2 次元画像検出素子 204 で計測誤差を生じさせる場合がある。そこで、位置合わせ用マーク AM を検出する際には、対物レンズ 201 とレンズ 203 との間に偏光解消素子 205 を配置することが可能な構成にする。これにより、位相子 240 及び偏光素子 260 を通過する光束は無偏光となり、位相子 240 及び偏光素子 260 を良好な透過特性で通過することが可能である。また、光学ユニット 100 を用いた計測の場合には、光路中に位相子 240 及び偏光素子 260 に配置し、位置合わせ用マーク AM を検出する場合には、光路中から位相子 240 及び偏光素子 260 を退避させる構成であってもよい。

【0054】

なお、偏光素子 260 と 2 次元画像検出素子 204 との間に、多数の光学系が配置される場合には、かかる光学系による複屈折の影響を排除するために、偏光素子 260 の直後に偏光解消素子 206 を配置することが好ましい。2 次元画像検出素子 204 で検出される光強度分布は、無偏光となつても問題はない。また、偏光素子 260 と 2 次元画像検出素子 204 との間に光学系がない場合でも、2 次元画像検出素子 204 での検出が、光束の偏光状態で変わらるようであれば、偏光素子 260 の直後に偏光解消素子 206 を配置するとよい。

【0055】

光学ユニット 100 及び観察光学系 200 を用いて、照明光学系 18 の光学特性を計測するためには、光学ユニット 100 と観察光学系 200 の有する計測オフセットを予め測定しておく必要がある。計測オフセットとは、光学ユニット 100 及び観察光学系 200 (計測系) に起因する偏光状態の変化である。かかる偏光状態の変化は、光学ユニット 100 及び観察光学系 200 を構成する光学素子、即ち、ミラーの反射率特性、レンズの反射防止膜の特性、レンズ硝材の有する複屈折分布、レンズの保持により生じる応力複屈折などによって生じる。

【0056】

図 6 及び図 7 を参照して、計測オフセットの測定について説明する。図 6 は、計測オフセットの 1 つである透過率差を測定する際の露光装置 1 の構成を示す概略断面図である。図 7 は、計測オフセットの測定について説明するためのフローチャートである。なお、以下では、光学ユニット 100 と観察光学系 200 とを含めて計測系と称する。

【0057】

まず、光学ユニット 100 をレチクルステージ 25 に載置し (ステップ 1002) 、レチクルステージ 25 及び観察光学系 200 を測定位置に移動させる (ステップ 1004) 。

【0058】

次に、照明光学系 18 において、 $\theta = 1$ 以上、且つ、無偏光 (ランダム偏光) の照明光を設定する (ステップ 1006 及び 1008)。次いで、ステップ 1006 及びステップ 1008 で設定した照明光で光学ユニット 100 のピンホール 101 を照明し、計測系の計測オフセットを測定する (ステップ 1010)。このとき、照明光は、ピンホール 101 を均一な強度分布で照明すると共に、照明光の有効光源が少なくとも $\theta = 1$ 以下におい

10

20

30

40

50

て均一の強度分布であるものとする。更に、図6に示すように、偏光解消素子72及び照度分布均一化素子74を照明光学系18と光学ユニット100との間に配置し、照明光の無偏光（ランダム偏光）状態及び有効光源分布の均一化を向上させることが好ましい。

【0059】

図6に示す状態において、2次元画像検出素子204で検出される光強度分布は、位相子240の状態（回転や選択等）に関わらず、一定状態として認識されるべきものである。位相子240の状態によって、2次元画像検出素子204で検出される光強度分布がそれぞれ異なる場合は、上述した計測オフセットが生じているためである。最後に、位相子240の状態毎に、2次元画像検出素子204で検出される光強度分布を、計測オフセット（計測値の補正用データ）として制御部60の図示しないメモリーに記憶させる（ステップ1012）。 10

【0060】

また、図6に示す偏光解消素子72を偏光子に置き換える事により、計測系単独の偏光特性も計測可能であり、計測オフセットとして制御部60の図示しないメモリーに記憶させる事が可能となる。

【0061】

照明光学系18の光学特性は、レチクルステージ25に載置させた光学ユニット100及び観察光学系200を用いて、2次元画像検出素子204で検出される光強度分布より算出される。この際、2次元画像検出素子204で検出される光強度分布から、予め測定した位相子240の状態に応じた計測オフセットを演算で除去し、照明光学系18の光学特性を算出する。なお、照明光学系18の偏光光学特性を計測する場合は、上述したように、位相子240を少なくとも3つ以上の状態に変化させて得られる光強度分布を用いて算出する。 20

【0062】

実施例1で計測することができる光学特性は、照明光学系18の有効光源分布の情報、及び、かかる有効光源分布の偏光特性（位相情報、振幅情報）である。

【実施例2】

【0063】

実施例2では、照明光学系18及び投影光学系30の全体（露光光学系）の光学特性の計測について説明する。 30

【0064】

露光光学系の光学特性の計測には、図8に示すように、光学ユニット100Aを用いる。光学ユニット100Aは、図2に示す光学ユニット100と比較して、ハーフミラー105を有し、ハーフミラー105の後段にピンホール101を配置した点が異なる。ここで、図8は、露光光学系の光学特性の計測に用いられる光学ユニット100Aをレチクルステージ25に載置した状態の露光装置1を示す概略断面図である。

【0065】

図8を参照するに、照明光学系18からの光束は、ハーフミラー105を透過し、投影光学系30に入射する。なお、投影光学系30には、開口絞り32が配置されている。開口絞り32は、投影光学系30の性能を保証するために、最大開口数を制限する。 40

【0066】

照明光学系18からの光束は、開口絞り32を通過し、ウェハステージ45側の像面Jに集光する。このとき、投影光学系30の最大開口での光学特性を測定するために、照明光学系18からの照明光は、投影光学系30の開口数以上の大さ（=1以上）で照明することが好ましい。

【0067】

ウェハステージ45には、球面ミラー82が構成されており、投影光学系30の光学特性を測定する場合には、球面ミラー82の曲率中心が、像面Jの光束の集光点に一致するように、ウェハステージ45を駆動させる。換言すれば、図8に示すように、球面ミラー82の曲率中心と像面Jの光束の集光点とが一致するように、球面ミラー82を配置する 50

。

【0068】

球面ミラー82で反射された光束は、投影光学系30内を、往路と同じ位置を通過して、ハーフミラー105に戻る。ハーフミラー105で反射された光束は、C面(レチクル20の厚みを考慮した光学的にレチクル20のパターン面に相当する位置)と光学的に共役なK面に集光する。なお、K面は、J面とも光学的に共役である。

【0069】

K面には、ピンホール101が配置されており、ピンホール101を通過した光束は、フーリエ変換レンズ102により、D面上に照明系18の有効光源分布の像、及び、投影光学系30の瞳面Hに位置する開口絞り32の像を形成する。D面は、像面であるC面に10対して瞳面となっている。

【0070】

なお、D面以降の説明については、実施例1と同様であるため省略する。

【0071】

実施例1では、D面上で得られる光学特性は、照明光学系18のみのものであり、照明光学系18のみの光学特性を計測した。一方、実施例2では、D面上で得られる光学特性は、照明光学系18と投影光学系30とを複合したものであり、詳細には、照明光学系18の光学特性に投影光学系30の往路と復路の2つ光学特性が複合されている。従って、実施例2では、D面上で得られる光学特性 = 照明光学系18の光学特性 + 投影光学系30の光学特性 + 投影光学系30の光学特性となる。

20

【0072】

投影光学系30の光学特性と照明光学系18の光学特性とを分離するには、照明光学系18の光学特性を予め計測して(実施例1)、制御部60のメモリーに記憶させておく。これにより、模式的に表現すると(投影光学系30の光学特性) + (投影光学系30の光学特性) = (D面上で得られる光学特性) - (照明光学系18の光学特性)とされ、投影光学系30の光学特性が計測可能となる。ただし、偏光特性に関しては行列式で表されるため、計算方法に注意が必要である。

【0073】

実施例2において、投影光学系30の光学特性とは、投影光学系30の瞳透過率分布の情報、及び、瞳透過率分布の偏光特性(位相情報及び振幅情報)である。

30

【0074】

図9及び図10を参照して、実施例2での計測オフセットの測定について説明する。図9は、実施例2での計測オフセットを測定する際の露光装置1の構成を示す概略断面図である。図10は、実施例2での計測オフセットの測定について説明するためのフローチャートである。

【0075】

まず、光学ユニット100Aをレチクルステージ25に載置する(ステップ1002A)。ステップ1004乃至ステップ1006の説明については、実施例1と同様であるため省略する。

【0076】

次いで、図9に示すように、光学ユニット100Aの後段に球面ミラー76を配置する(ステップ1009)。このとき、球面ミラー76の曲率中心が、C面(レチクル20の厚さを考慮した光学的にレチクル20のパターン面に相当する位置)上の光束の集光点に一致するように配置する。なお、計測オフセットを測定する際に使用する球面ミラー76は、着脱式の構成としてユーザーが配置してもよいし、自動的に配置される構成としてもよい。更に、実施例1と同様に、偏光解消素子72及び照度分布均一化素子74を照明光学系18と光学ユニット100との間に配置し、照明光の無偏光(ランダム偏光)状態及び有効光源分布の均一化を向上させることが好ましい。

40

【0077】

次いで、ステップ1006及びステップ1008で設定した照明光で光学ユニット10

50

0 A を照明し、計測系の計測オフセットを測定する（ステップ 1010）。そして、位相子 240 の状態毎に、2 次元画像検出素子 204 で検出される光強度分布を、計測オフセット（計測値の補正用データ）として制御部 60 の図示しないメモリーに記憶させる（ステップ 1012）。最後に、球面ミラー 76 を光路外に移動させる（ステップ 1014）。

【0078】

計測オフセットの測定は、定期メンテナンスとして、例えば、年に 1 又は 2 回程度行われる。しかしながら、偏光計測を行う場合、折り返しミラー 103b、ハーフミラー 105、レンズ 203 及び偏光素子 260 の特性が吸湿やデボ（無機物、有機物）などによって変化し、計測オフセットが敏感に経時変化を起こす懸念がある。

10

【0079】

そこで、光学ユニット 100A の後段に球面ミラー 76 を配置せず、図 11 に示すように、ウェハステージ 45 に構成された平面ミラー 84 を用いて、計測オフセットの経時変化を校正してもよい。平面ミラー 84 は、像面 J に一致するように配置される。ここで、図 11 は、平面ミラー 84 によって計測オフセットの経時変化を分離する際の露光装置 1 の構成を示す概略断面図である。

【0080】

ハーフミラー 105 を透過して投影光学系 30 に達する光束の往路と復路について見てみると、図 11 に実線と点線で示すように、平面ミラー 84 で反射された後、往路と復路が入れ替わり、中心光束のみ往路と復路が一致する。従って、平面ミラー 84 を用いた測定では、投影光学系 30 の光学特性が中心対称なものとして計測されることになる。

20

【0081】

平面ミラー 84 を用いた測定の際に、予め測定していた計測オフセットを除いても、2 次元画像検出素子 204 で検出される光強度分布に非対称成分が残っていれば、かかる非対称成分は経時変化によって生じた成分と考えられる。この非対称成分を、予め測定しておいた計測オフセットに加え、改めて計測系の計測オフセットとする。

【0082】

平面ミラー 84 をウェハステージ 45 に構成しておくことにより、光学ユニット 100A をレチクルステージ 25 に載置したままの状態で、平面ミラー 84 を用いた非対称成分の計測を行うことができる。

30

【0083】

図 12 は、計測オフセットの経時変化の校正を説明するためのフローチャートである。なお、計測オフセットは、球面ミラー 76 を用いて予め計測オフセット Offs として記憶しているものとする。

【0084】

まず、光学ユニット 100A をレチクルステージ 25 に載置し（ステップ 2002）、レチクルステージ 25 及び観察光学系 200 を測定位置に移動させる（ステップ 2004）。

【0085】

次いで、照明显光学系 18 において、照明光を測定条件（例えば、= 1 以上、且つ、無偏光（ランダム偏光））に設定する（ステップ 2006）。そして、ウェハステージ 45 を駆動し、平面ミラー 84 を像面 J の位置に配置する（ステップ 2008）。

40

【0086】

平面ミラー 84 を像面 J の位置に配置した状態において、ステップ 2006 で設定した照明光を用いて、光強度分布を 2 次元画像検出素子 204 で検出し、検出値を制御部 60 のメモリーに記憶させる（ステップ 2010）。更に、ステップ 2010 での検出値から非対称成分のみを抽出し、抽出結果を Offs (Odd) として制御部 60 のメモリーに記憶する（ステップ 2012）。

【0087】

次に、ステップ 2012 で記憶した抽出結果を用いて、予め計測した計測オフセットを

50

校正する（ステップ2014）。具体的には、計測オフセットを、計測オフセットOffsから計測オフセットOffs-Offs(Offs)に校正する。そして、球面ミラー82の曲率中心が、像面Jの光束の集光点に一致するように球面ミラー82を配置し（ステップ2016）、計測オフセットOffs-Offs(Offs)を用いながら露光光学系の光学特性を計測する。

【0088】

なお、実施例2では、2次元画像検出素子204において、照明光学系18の有効光源の像と、投影光学系30の開口絞り32の像とを検出することができる。従って、露光光学系のテレセン度を測定し、かかる測定結果に基づいて、テレセン度を調整することも可能である。

10

【0089】

詳細には、まず、光学ユニット100Aをレチクルステージ25に載置し、球面ミラー82を所定の位置に配置する。次いで、照明光学系18において、=1以上に設定し、2次元画像検出素子204で検出される投影光学系30の開口絞り32の像から内径中心を求める。更に、照明光学系18において、を所定の条件に設定し、2次元画像検出素子204で検出される照明光学系18の有効光源の像から光量分布の強度重心を求める。次に、開口絞り32の像の内径中心と、有効光源の像の光量分布の強度重心との差を求める。かかる差分の値を、投影光学系30の軸上及び軸外の複数の位置において求める。そして、かかる差分の値が最小となるように、照明光学系18の図示しないテレセン度調整機構を介して、テレセン度を調整する。なお、投影光学系30の軸上及び軸外の開口絞り32の内径を求ることで、NAの大きさ、NAの歪み、軸上と軸外とのNA差などを求めることもできる。

20

【実施例3】

【0090】

図13は、照明光学系18及び投影光学系30の全体（露光光学系）の光学特性の計測に専用化した偏光状態測定手段である観察光学系200Aの構成を示す概略断面図である。観察光学系200Aを用いる場合には、光学ユニット100Aを用いることなく、投影光学系30の光学特性を計測することができる。

【0091】

観察光学系200Aは、観察光学系200と比較して、検出（観察）用の光源205と、折り曲げミラー206と、ハーフミラー207とを更に有する。光源205から射出された光束は、折り曲げミラー206で反射される。折り曲げミラー206で反射された光束は、ハーフミラー207及び折り曲げミラー206で更に反射され、対物レンズ201に入射する。

30

【0092】

光源205から射出した光束は、略平行光束として対物レンズ201に入射し、C面（レチクル20の厚さを考慮した光学的にレチクル20のパターン面に相当する位置）に集光する。図示されていないがC面にはピンホールが構成されている。このピンホールはレチクル面上にパターニングされたもの、または開口を持った金属板でもよい。C面を通過した光束は、投影光学系30を介して、ウェハステージ45上の球面ミラー82に達し、球面ミラー82で反射される。なお、球面ミラー82で反射された光束がC面に戻ってくるまでの説明は、実施例2（図8）と同様であるため省略する。

40

【0093】

C面に戻ってきた光束は、フーリエ変換レンズである対物レンズ201を通過し、G面に配置されている2次元画像検出素子204に、投影光学系30の瞳面Hに位置する開口絞り32の像を形成する。G面は、像面であるC面に対して瞳面となっている。なお、光束がハーフミラー207を透過する以外は、実施例1と同様であるため、詳細な説明は省略する。

【0094】

実施例3において、投影光学系30の光学特性とは、投影光学系30の瞳透過率分布の

50

情報、及び、瞳透過率分布の偏光特性（位相情報及び振幅情報）である。更に、実施例2と同様に、投影光学系30の軸上及び軸外の開口絞り32の内径を求めてることで、NAの大きさ、NAの歪み、軸上と軸外とのNA差などを求めることもできる。

【0095】

図14は、実施例3での計測オフセットを測定する際の露光装置1の構成を示す概略断面図である。計測オフセットを測定する際には、実施例2（図9）と同様に、球面ミラー76をC面に配置する。実施例3では、偏光解消素子72及び照度分布均一化素子74は、観察光学系200Aに配置している。偏光解消素子72及び照度分布均一化素子74は、観察光学系200Aの計測光路（C面から戻ってきた光束が通過する航路）以外に配置する。なお、計測オフセットの測定の説明は、実施例2（図9）と同様であるため省略する。10

【0096】

実施例3でも、図11を参照して実施例2で説明したように、平面ミラー84を用いて、計測オフセットの経時変化を校正することができる。

【実施例4】

【0097】

図15は、照明光学系18及び投影光学系30の全体（露光光学系）の光学特性の計測に専用化した光学ユニット100Bの構成を示す概略断面図である。光学ユニット100Bは、図2に示す光学ユニット100と比較して、光学素子の構成が異なる。光学ユニット100Bは、観察光学系200Aに専用化した構成を有する。具体的には、光学ユニット100Bは、リレー光学系104を有さず、フーリエ変換レンズ106を更に有する。20

【0098】

図15を参照するに、照明光学系18からの照明光は、ピンホール101を照明する。ピンホール101を通過した光束は、フーリエ変換レンズ102を介して、略平行光束となる。フーリエ変換レンズ102を通過した光束は、折り曲げミラー103aで反射（偏向）され、D面に照明光学系18の有効光源分布の像を形成する。D面は、像面であるC面に対して瞳面となっている。

【0099】

D面に形成された有効光源分布の像は、折り曲げミラー103bで反射（偏向）され、フーリエ変換レンズ106によって、E面に集光する。なお、E面以降の説明については、実施例3（図13）と同様であるため省略する。また、計測オフセットの測定の説明は、実施例1（図6）と同様であるため省略する。30

【実施例5】

【0100】

照明光学系18では、2次光源である最終ハロの目レンズより後段の光学系の光学特性が、パターン転写の像性能に大きく影響する。

【0101】

図16を参照して、照明光学系18及び投影光学系30の全体（露光光学系）の光学特性に専用化した観察光学系200Aを用いた照明光学系18の光学特性の計測について説明する。実施例5は、実施例4と比較して、観察光学系200Aの検出（観察）用の光源205を用いる点が異なる。ここで、図16は、照明光学系18及び投影光学系30の全体（露光光学系）の光学特性に専用化した光学ユニット100B及び観察光学系200Aを有する露光装置1の構成を示す概略断面図である。40

【0102】

図16を参照するに、観察光学系200Aの光源205を射出した光束は、観察光学系200Aから光学ユニット100Bに入射し、ピンホール101を（図16では下方から）照明する。ピンホール101を通過した光束は、照明光学系18のマスキング光学系（後群）18aに入光する。

【0103】

マスキング光学系（後群）18aから射出した光束は、折り曲げミラー18bで反射（50

偏向)され、マスキング光学系(前群)18cに入射する。マスキング光学系(前群)18を通過した光束は、マスキングブレード16の開口部を抜けて、コリメータ光学系18dに入射する。

【0104】

ここで、照明光学系18における光学的な共役面について説明する。

【0105】

L面は、C面(レチクル20の厚さを考慮した光学的にレチクル20のパターン面に相当する位置)の瞳面となっている。また、L面とN面とは光学的に共役な面となっている。N面は、ハ工の目レンズ18fの射出面に一致している。M面は、C面(レチクル20の厚さを考慮した光学的にレチクル20のパターン面に相当する位置)と光学的に共役な面である。マスキングブレード16は、M面に配置されている。10

【0106】

コリメータ光学系18dから射出した光は、ハ工の目レンズ18fの射出面(N面)近傍に配置された平面ミラー18eで反射され、往路と同じ復路を通って、ピンホール101に戻り集光する。

【0107】

ピンホール101に戻った光束は、光学ユニット100Bを介して、観察光学系200Aに戻り、2次元画像検出素子204に照明光学系18の瞳面L(N面も共役)の像を形成する。G面は、E面に対して瞳面となっている。

【0108】

図16に示す構成を用いれば、実施例2(図8)及び実施例3(図13)の投影光学系30と同様に、照明光学系18の瞳透過率分布の情報、及び、瞳透過率分布の偏光特性(位相情報、振幅情報)を計測することができる。20

【0109】

更に、照明光学系18が図示しない開口絞りを有する場合は、照明光学系18の軸上及び軸外の開口絞りの像の内径を求ることで、開口絞りのNA(大きさ)、NAの歪み、軸上と軸外とのNA差などを求めることができる。

【0110】

なお、平面ミラー18eの配置されている位置には、通常、照明装置10の有効光源分布の形状を変化させる開口絞りなどがターレットに配置されている。30

従って、ターレットの1つに平面ミラー18eを配置しておけば、実施例5の計測を自動的に行うことが可能となる。

【0111】

図17は、実施例5での計測オフセットを測定する際の露光装置1の構成を示す概略断面図である。

【0112】

実施例2(図9)と同様に、球面ミラー76をC面に配置する。但し、実施例5では、図17に示すように、球面ミラー76を上下逆向きに配置する。また、偏光解消素子72及び照度分布均一化素子74は、実施例3(図14)と同様に、観察光学系200Aに配置する。計測オフセットの測定の説明は、実施例2(図9)、及び、実施例3(図14)と同様であるため省略する。40

【実施例6】

【0113】

実施例6では、照明装置10に光学素子の劣化が生じた場合に、劣化した光学素子だけを部分的に交換することについて説明する。なお、投影光学系30は、部分的に光学素子を交換すると結像性能が変化してしまうため、一般的に、投影光学系30の全体を交換する。

【0114】

図18及び図19は、照明光学系18の光学特性を、部分的に分けて計測することを説明するための図である。図18は、マスキング光学系(前群)18c、折り曲げミラー150

8 b 及びマスキング光学系（後群）18 a の瞳透過率分布の情報、及び、瞳透過率分布の偏光特性（位相情報、振幅情報）を計測する場合を示している。図18は、図16と比較して、球面ミラー19を、C面（レチクル20の厚さを考慮した光学的にレチクル20のパターン面に相当する位置）と光学的に共役なM面に配置している点が異なる。

【0115】

図18では、光学特性の非対称成分の劣化は、折り曲げミラー18 bによるものと判断する。また、光学特性の対称成分の劣化はマスキング光学系（前群）18 c 及びマスキング光学系（後群）18 aによるものと判断する。このような判断に基づいて、交換する（即ち、劣化した）光学素子（部位）を決定する。

【0116】

図19は、折り曲げミラー18 b 及びマスキング光学系（後群）18 a の瞳透過率分布の情報、及び、瞳透過率分布の偏光特性（位相情報、振幅情報）を計測する場合を示している。図19は、図16と比較して、平面ミラー18 eを、C面（レチクル20の厚さを考慮した光学的にレチクル20のパターン面に相当する位置）の瞳面であるL面に配置している点が異なる。

【0117】

図19では、光学特性の非対称成分の劣化は、折り曲げミラー18 bによるものと判断する。また、光学特性の対称成分の劣化は、マスキング光学系（後群）18 aによるものと判断する。このような判断に基づいて、交換する（即ち、劣化した）光学素子（部位）を決定する。

【0118】

実施例6（即ち、図18及び図19に示した計測）を実施例5（図16に示した計測）と合せて実施すれば、ハ工の目レンズ18 fより後段の光学系のどの部分を交換すればよいか判断することが可能となる。ここで、ハ工の目レンズ18 fより後段の光学系とは、コリメータ光学系18 d、マスキング光学系（前群）18 c、折り曲げミラー18 b、マスキング光学系（後群）18 aである。

【実施例7】

【0119】

実施例7では、光学素子を保持する際の応力歪みに起因する複屈折の変化を抑えることができる光学ユニット100 Cについて説明する。図20は、光学ユニット100 Cの構成を示す概略断面図である。

【0120】

実施例7（図20）の光学ユニット100 Cは、実施例1（図2）の光学ユニット100に改良を加えたものである。光学ユニット100 Cは、フーリエ変換レンズ102及びリレー光学系104の光軸が位置するP面を、レチクル上面（A面）とレチクル下面（B面）の略中間としていることを特徴とする。更に、光学ユニット100 Cは、フーリエ変換レンズ102及びリレー光学系104のレンズ径が最大となるように配置していることを特徴とする。

【0121】

本発明者は、図示しない保持機構による応力複屈折の影響は、レンズの接触位置からレンズ外形の約10 %の領域に及ぶことを発見した。

【0122】

図20において、フーリエ変換レンズ102及びリレー光学系104は、少なくとも10 mmのレンズ径を確保することができるため、応力複屈折の影響が発生する領域は、外径から片側2 mm程度と考えれば十分である。従って、図20において、レンズ中の光線の通る径を、レンズ外形の半分以下（6 mm以下）にまで小さくすれば、光束（透過光束）が応力複屈折の影響を受けることはない。

【0123】

そこで、図21に示すような、表面にピンホール101が形成された内面反射型ミラー109を使用する。内面反射型ミラー109は、45度に傾いた面の内面で光束を全反射

10

20

30

40

50

する。内面反射型ミラー 109 は、射出面にクロムが蒸着され、エッチングによってピンホール 101 が形成されている。従って、内面反射型ミラー 109 は、ミラーとピンホールの 2 つの機能を有する。ここで、図 21 は、内面反射型ミラー 109 の構成を示す概略斜視図である。

【0124】

実施例 7 (図 20) では、内面反射型ミラー 109 の入射面を C 面 (レチクル 20 の厚さを考慮した光学的にレチクル 20 のパターン面に相当する位置) 近傍に配置している。更に、内面反射型ミラー 109 に形成されたピンホール 101 の位置を C 面からデフォーカスした位置である K 面としている。これにより、ピンホール 101 の位置である K 面を、フーリエ変換レンズ 102 に極力近づけることが可能となり、レンズ径の拡大を防止することができる。勿論、ピンホール 101 と内面反射型ミラー 109 とを別体として構成しても何ら問題はない。10

【実施例 8】

【0125】

実施例 8 では、例えば、ミューラー行列から偏光状態を求めるなど、偏光光学特性を高精度に計測する場合について説明する。図 22 は、偏光光学特性を高精度に計測する場合の露光装置 1 の構成を示す概略断面図である。

【0126】

偏光光学特性を高精度に計測する場合には、図 22 に示すように、観察光学系 200A の光路中に偏光制御素子 280 を配置し、検出 (観察) する光束の偏光状態を切り替えて計測することができる。20

【0127】

偏光制御素子 280 は、 $\pi/2$ 波長板と $\pi/4$ 波長板の 2 つの波長板から構成される。偏光制御素子 280 は、2 つの波長板の各々を回転することができるよう構成する。偏光制御素子 280 は、回転角度を変えることにより、光束の偏光状態を直線偏光 (X 方向)、直線偏光 (Y 方向)、直線偏光 (45 度方向)、円偏光の 4 つの偏光状態にする。

【0128】

このような 4 つの偏光状態の光束の各々に対して、更に、位相子 240 の回転などによって独立な 3 つ以上の偏光状態を付与し、2 次元画像検出素子 204 で光強度分布を検出する。これにより、投影光学系 30 の偏光光学特性を表すミューラー行列を求めることができる。30

【0129】

更に、偏光制御素子 280 に偏光解消素子を構成し、光束の偏光状態を無偏光 (ランダム偏光) を含めた 5 つの状態として計測を行ってよい。但し、偏光解消素子は、光路中に挿脱可能に構成することが必要となる。

【実施例 9】

【0130】

実施例 9 では、光学ユニット 100 と露光装置 1 の露光領域における像高との関係について説明する。図 23 及び図 24 は、光学ユニット 100 を示す概略上面図である。なお、光学ユニット 100A 乃至 100C の場合も同様であるため、光学ユニット 100 を例に説明する。40

【0131】

光学ユニット 100 は、図 23 及び図 24 に示すように、複数のユニット光学系 100a 乃至 100e を構成している。ユニット光学系 100a 乃至 100e は、例えば、ピンホール 101、フーリエ変換レンズ 102、リレー光学系 104 などの光学ユニット 100 の内部に構成される光学系を示すものである。

【0132】

図 23 及び図 24 において、「IN 側」と示した黒丸は、図 2 における照明光学系 18 からの光束が入射する入射側を示し、「OUT 側」と示した 2 重丸は、図 2 における観察光学系 200 で検出 (観察) を行う検出側を示している。50

【0133】

図23は、露光装置1がスキャナーである場合を示しており、露光領域をEXAで示した。露光領域EXA内の軸上の位置にユニット光学系100cを配置し、等間隔にユニット光学系100a、100b、100d及び100eを5つの像高（像高IP1乃至IP5）に配置する。例えば、ユニット光学系100aの像高IP1での光学特性を計測する場合は、観察光学系200をX方向に移動して、ユニット光学系100aの「OUT側」と示した2重丸の位置を検出する。

【0134】

図24は、露光装置1がステッパーである場合を示しており、露光領域をEXA'で示した。露光領域EXA'内で、Y方向に計測位置を変えたい場合は、光学ユニット100が載置されたレチクルステージ25をY方向に駆動し、観察光学系200をX方向に移動する。そして、ユニット光学系100aの「OUT側」と示した2重丸の位置を検出する。
10

【0135】

また、像高IP1乃至像高IP5に配置されたユニット光学系100a乃至100eをカートリッジ式とし、光学ユニット100内の各像高位置で填め変え可能な構成としてもよい。このようなカートリッジ構成とすることで、ユニット光学系100a乃至100eの計測の相対誤差をなくすことができる。例えば、軸上である像高IP3に配置されたユニット光学系100cを像高IP1乃至像高IP5に付け替えて、全像高を同一のユニット光学系100cで計測すればよい。
20

また、像高IP1をユニット光学系100aで計測した結果と、像高IP1をユニット光学系100cで計測した結果を比較する。このような比較を像高IP2、像高IP4及び像高IP5に対しても同様に行い、各像高に対して、ユニット光学系100cを基準とした計測差を制御部60のメモリーに記憶する。そして、例えば、像高IP1をユニット光学系100aで計測した結果から、ユニット光学系100cを基準とした計測差をオフセットとして差し引く。これにより、全像高を同一のユニット光学系100cで計測した場合と同等の効果を得ることが可能となる。

【実施例10】**【0136】**

実施例10では、照明光学系18及び投影光学系30の全体（露光光学系）の結像性能の最適化について説明する。図25は、露光光学系の結像性能の最適化を説明するためのフローチャートである。なお、照明光学系18の光学特性を計測するための光学ユニット100（又は100B、100C）、及び、投影光学系30の光学特性を測定するための光学ユニット100Aは、レチクルストッカー50に予め収納されているものとする。
30

【0137】

図25を参照するに、まず、照明光学系18の光学特性を計測するための光学ユニット100をレチクルステージ25に載置し（ステップ3002）、レチクルステージ25及び観察光学系200を測定位置に移動させる（ステップ3004）。

【0138】

次いで、パターン転写（露光時）を行う際のJOBに設定される照明条件を設定し（ステップ3006）、照明光学系18の光学特性を計測する（ステップ3008）。ステップ3008で計測した光学特性が良好であるかどうか判断し（ステップ3010）、良好でなければ、照明光学系18の光学特性を調整し（ステップ3012）、ステップ3008に戻る。ステップ3008で計測した光学特性が良好であれば、照明光学系18の有効光源特性Aを制御部60のメモリーに記憶する（ステップ3014）。
40

【0139】

次に、投影光学系30の光学特性を測定するための照明条件（=1以上）を設定する（ステップ3016）。この状態において、照明光学系18の光学特性を計測し、計測値をJとして制御部60のメモリーに記憶する（ステップ3018）。

【0140】

次いで、光学ユニット100を搬出し、投影光学系30の光学特性を計測するための光学ユニット100Aをレチクルステージ25に載置する(ステップ3020)。また、レチクルステージ25及び観察光学系200を測定位置に移動させる(ステップ3022)。この状態において、光学特性を計測し、計測値をKとして制御部60のメモリーに記憶する(ステップ3024)。

【0141】

次いで、計測値J及び計測値Kから投影光学系30の光学特性を算出する(ステップ3026)。実施例2で説明したように、投影光学系30の光学特性は、露光光学系の計測値Kと、照明光学系18の光学特性である計測値Jを用いて、演算を行うことで求めることができる。

10

【0142】

ステップ3026で算出した投影光学系30の光学特性が良好であるかどうか判断し(ステップ3028)、良好でなければ、投影光学系30の光学特性を調整し(ステップ3030)、ステップ3024に戻る。ステップ3026で算出した投影光学系30の光学特性が良好であれば、投影光学系30の光学特性Bを制御部60のメモリーに記憶する(ステップ3032)。

【0143】

次に、レチクル20のパターン情報、照明光学系18の有効光源特性A、及び、投影光学系30の光学特性Bに基づいて、パターンの結像性能のシミュレーションを行う(ステップ3034)。ステップ3034のシミュレーションによる結像性能が良好であるかどうか判断する(ステップ3036)。かかる判断は、目標とする結像性能との比較によって行う。また、目標とする結像性能の比較は、CD均一性やHV差、OPE計算などを含む。

20

【0144】

シミュレーションによる結像性能が良好でなければ、シミュレーションによって、照明光学系18の調整量及び投影光学系30の調整量を算出する(ステップ3038)。更に、ステップ3038で算出した調整量に基づいて、照明光学系18及び投影光学系30を調整する(ステップ3040)。なお、照明光学系18及び投影光学系30の調整は、投影光学系30の収差、開口数の調整、テレンセン度の調整、有効光源分布の形状、強度の調整、及び、有効光源の偏光度の調整などを含む。これらを露光領域内の複数箇所に対して最適化する。

30

【0145】

シミュレーションによる結像性能が良好であれば、レチクルステージ25から投影光学系30の光学特性を計測するための光学ユニット100Aを搬出する(ステップ3042)。また、ステップ3040の照明光学系18及び投影光学系30の調整が終了した場合もステップ3042に進む。

【0146】

また、図25に示した露光光学系の結像性能の最適化は、照明光学系18の瞳位置と投影光学系30の瞳位置との相対位置をあわせることも可能である。図26は、照明光学系18の瞳位置と投影光学系30の瞳位置との相対位置をあわせるためのステップを含む露光光学系の結像性能の最適化を説明するためのフローチャートである。

40

【0147】

図26に示す最適化は、図25に示した最適化と比較して、ステップ3032とステップ3036との間に、ステップ3102乃至ステップ3112を加えている。以下、ステップ3102乃至ステップ3112について説明する。

【0148】

投影光学系30の光学特性Bを制御部60のメモリーに記憶したら(ステップ3032)、照明光学系18において、パターン転写(露光時)を行う際のJOBに設定される照明条件を設定する(ステップ3102)。

【0149】

50

次に、投影光学系30の開口絞り32の像から求められる投影光学系30の瞳中心位置と、照明光学系18の有効光源強度分布から求められる照明光学系18の有効光源中心（瞳中心位置）との相対位置を測定する（ステップ3104）。

【0150】

照明光学系18の瞳中心位置と投影光学系30の瞳中心位置との相対位置が良好でなければ、照明光学系18の有効光源位置を調整し（ステップ3108）、ステップ3104に戻る。このとき、照明光学系18の有効光源位置の調整は、軸上及び軸外の複数点に対して合致誤差を振り分ける最適化が行われるものとする。

【0151】

照明光学系18の瞳中心位置と投影光学系30の瞳中心位置との相対位置が良好であれば、投影光学系30の開口中心と、照明光学系18の有効光源中心の相対位置情報をCとして、制御部60のメモリーに記憶する（ステップ3110）。 10

【0152】

次に、レチクル20のパターン情報、照明光学系18の有効光源特性A、投影光学系30の光学特性B、及び、相対位置情報Cに基づいて、パターンの結像性能のシミュレーションを行う（ステップ3112）。ステップ3112のシミュレーションによる結像性能が良好であるかどうか判断するステップ（ステップ3036）以降は同じである。

【実施例11】

【0153】

実施例11では、照明光学系18の光学特性は光学ユニットを用いて計測し、投影光学系30の光学特性は光学ユニットを用いないで計測する場合について説明する。実施例11では、光学ユニットを1つだけしか用いないため、計測時間の短縮を図ることができる。図27は、実施例11での露光光学系の結像性能の最適化を説明するためのフローチャートである。図28及び図29は、実施例11で用いられる、即ち、図27に示す露光光学系の結像性能の最適化に用いられる光学ユニット100Dを示す概略上面図である。 20

【0154】

図27に示す最適化は、図25に示した最適化と比較して、ステップ3014とステップ3206（投影光学系30の光学特性の計測）との間で、投影光学系30の光学特性を計測するための光学ユニット100Aを用いていない点が異なる。

【0155】

また、ステップ3002において、レチクルステージ25に載置される光学ユニットは、図28及び図29に示す光学ユニット100Dである。 30

【0156】

光学ユニット100Dは、図23及び図24に示した光学ユニット100と比較して、素通しの開口部130を更に有する。光学ユニット100Dを用いて照明光学系18の光学特性を計測する場合は、図23に示すように、露光装置1の露光領域EXAを「IN側」を示す黒丸に合致させ、観察光学系200Aを「OUT側」を示す2重丸に合致させる。かかる状態で、照明光学系18の光学特性を計測する（ステップ3008）。

【0157】

実施例11では、投影光学系30の光学特性の計測を実施例3（図13）に示した構成で行う。そこで、観察光学系200Aの検出（観察）光の照明条件を、投影光学系30の光学特性を計測するための照明条件（=1以上）に設定する（ステップ3202）。 40

【0158】

次に、光学ユニット100Dをレチクルステージ25に載置したままの状態で、投影光学系30の光学特性を計測するために、レチクルステージ25を移動させる（ステップ3204）。具体的には、図29に示すように、露光装置1の露光領域EXAを開口部130に合致させる。この状態で、観察光学系200Aを「OUT側」を示す2重丸に合致させ、投影光学系30の光学特性を計測する（ステップ3206）。投影光学系30の光学特性が良好であるかどうか判断するステップ（ステップ3028）以降は同じである。

【0159】

10

20

30

40

50

なお、実施例 1 乃至 11 では、観察光学系 200 は、露光装置 1 に備え付けられていたが、光学ユニット 100 に構成することができれば、光学ユニット 100 に備え付けられてもよい。この場合、光学ユニット 100 に計測用の電源を内蔵し、計測結果を光学ユニット 100 に構成されたメモリーに記憶したり、ワイヤレスで制御部 60 に送信したりする構成としてもよい。

【0160】

また、実施例 1 乃至 11 では、無偏光（ランダム偏光）の光を用いて計測オフセットを計測したが、特定（既知）の偏光状態の光をあわせて用いてもよい。例えば、図 6 又は図 17 に示した偏光解消素子 72 に加え、位相子も同じ場所に入れ替え可能な構成とする。かかる構成によって、挿入する位相子の種類、回転角度をえることにより、光の偏光状態を直線偏光（X 方向）、直線偏光（Y 方向）、直線偏光（45 度方向）、円偏光の 4 つの偏光状態にすることができる。そして、無偏光（ランダム偏光）の状態とあせた 5 つの状態で、計測オフセットの計測を行うものである。これにより、計測オフセットをより高精度に求めることが可能となる。なお、挿入する位相子は、 $\pi/2$ 波長板と $\pi/4$ 波長板の 2 つの波長板から構成し、各々が回転可能な構成であるとよい。

10

【0161】

また、観察光学系 200A に、干渉計の機能を付加することで、投影光学系 30 の波面収差、及び、偏光波面収差の情報も計測することが可能となる。

【0162】

以上、説明したように、レチクル 20 と同形状の光学ユニット 100 乃至 100D を使用すれば、露光装置 1 に新たなスペースを必要とせず、観察光学系 20 を介して、照明光学系及び / 又は投影光学系の光学特性を計測することができる。なお、高 N A の露光装置の光学特性、投影光学系のウェハ側がウェット（液浸）又はドライに関わらず、高精度に偏光状態を計測することができる。

20

【0163】

また、露光光学系を構成する照明光学系と投影光学系の各々の光学特性を調整することが可能であるだけではなく、照明光学系と投影光学系をあわせた状態での光学特性の計測及び調整が可能となる。

【0164】

また、照明光学系の劣化した（即ち、交換が必要な）光学素子を正確に特定することができる。

30

【0165】

また、露光装置 1 において、計測した照明光学系 18 の光学特性と投影光学系 30 の光学特性を用いた結像性能のシミュレーションを行うことが可能であり、照明光学系と投影光学系の調整状態を最適な状態に設定することができる。

【0166】

露光において、光源部 12 から発せられた光束は、照明光学系 18 によりレチクル 20 を、例えば、ケーラー照明する。レチクル 20 を通過してレチクルパターンを反映する光は投影光学系 30 によりウェハ 40 に結像される。露光装置 1 は、上述したように、照明光学系 18 及び投影光学系 30 の光学特性を最適な状態に設定することができる。また、露光装置 1 は、偏光状態を高精度に計測することができる。従って、かかる計測結果を照明光学系にフィードバックして偏光状態を補正するなどして所望の偏光状態を再現性よく形成することができる。これにより、露光装置 1 は、高いスループットで経済性よく従来よりも高品位なデバイス（半導体素子、LCD 素子、撮像素子（CCD など）、薄膜磁気ヘッドなど）を提供することができる。

40

【実施例 12】

【0167】

次に、図 30 及び図 31 を参照して、上述の露光装置 1 を利用したデバイス製造方法の実施例を説明する。図 30 は、デバイス（IC や LSI などの半導体チップ、LCD、CCD 等）の製造を説明するためのフローチャートである。ここでは、半導体チップの製造

50

を例に説明する。ステップ1(回路設計)では、デバイスの回路設計を行う。ステップ2(レチクル製作)では、設計した回路パターンを形成したレチクルを製作する。ステップ3(ウェハ製造)では、シリコンなどの材料を用いてウェハを製造する。ステップ4(ウェハプロセス)は、前工程と呼ばれ、レチクルとウェハを用いてリソグラフィー技術によってウェハ上に実際の回路を形成する。ステップ5(組み立て)は、後工程と呼ばれ、ステップ4によって作成されたウェハを用いて半導体チップ化する行程であり、アッセンブリ工程(ダイシング、ボンディング)、パッケージング工程(チップ封入)等の工程を含む。ステップ6(検査)では、ステップ5で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷(ステップ7)される。

10

【0168】

図31は、ステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ11(酸化)では、ウェハの表面を酸化させる。ステップ12(CVD)では、ウェハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ13(電極形成)では、ウェハ上に電極を蒸着などによって形成する。ステップ14(イオン打ち込み)では、ウェハにイオンを打ち込む。ステップ15(レジスト処理)では、ウェハに感光剤を塗布する。ステップ16(露光)では、露光装置1によってレチクルの回路パターンをウェハに露光する。ステップ17(現像)では、露光したウェハを現像する。ステップ18(エッチング)では、現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19(レジスト剥離)では、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによってウェハ上に多重に回路パターンが形成される。本実施形態のデバイス製造方法によれば、従来よりも高品位のデバイスを製造することができる。このように、露光装置1を使用するデバイス製造方法、並びに結果物としてのデバイスも本発明の一側面を構成する。

20

【0169】

最後に、上記説明の計測NAは0.85以上である事が望ましい。偏光計測が必要な偏光照明はNA0.85以上の露光方法で効果的に用いられるためである。

【0170】

以上、本発明の好ましい実施例について説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

30

【図面の簡単な説明】

【0171】

【図1】本発明の一側面としての露光装置の構成を示す概略断面図である。

【図2】図1に示す光学ユニットが、レチクルステージに載置された状態を示す部分断面図である。

【図3】図2に示す位相子の構成の一例を示す概略平面図である。

【図4】図2に示す位相子の構成の一例を示す概略平面図である。

【図5】図1に示す観察光学系の構成の一例を示す概略断面図である。

【図6】実施例1での計測オフセットを測定する際の露光装置の構成を示す概略断面図である。

【図7】実施例1での計測オフセットの測定について説明するためのフローチャートである。

40

【図8】露光光学系の光学特性の計測に用いられる光学ユニットをレチクルステージに載置した状態の露光装置を示す概略断面図である。

【図9】実施例2での計測オフセットを測定する際の露光装置の構成を示す概略断面図である。

【図10】実施例2での計測オフセットの測定について説明するためのフローチャートである。

【図11】平面ミラーによって計測オフセットの経時変化を分離する際の露光装置の構成を示す概略断面図である。

【図12】計測オフセットの経時変化の校正を説明するためのフローチャートである。

50

【図13】露光光学系の光学特性の計測に専用化した観察光学系の構成を示す概略断面図である。

【図14】実施例3での計測オフセットを測定する際の露光装置の構成を示す概略断面図である。

【図15】露光光学系の光学特性の計測に専用化した光学ユニットの構成を示す概略断面図である。

【図16】露光光学系の光学特性に専用化した光学ユニット及び観察光学系を有する露光装置の構成を示す概略断面図である。

【図17】実施例5での計測オフセットを測定する際の露光装置の構成を示す概略断面図である。

【図18】照明光学系の光学特性を、部分的に分けて計測することを説明するための図である。

【図19】照明光学系の光学特性を、部分的に分けて計測することを説明するための図である。

【図20】光学素子を保持する際の応力歪みに起因する複屈折の変化を抑えることができる光学ユニットの構成を示す概略断面図である。

【図21】図20に示す内面反射型ミラーの構成を示す概略斜視図である。

【図22】偏光光学特性を高精度に計測する場合の露光装置の構成を示す概略断面図である。

【図23】露光装置がスキャナーである場合の光学ユニットを示す概略上面図である。

20

【図24】露光装置がステッパーである場合の光学ユニットを示す概略上面図である。

【図25】露光光学系の結像性能の最適化を説明するためのフローチャートである。

【図26】露光光学系の結像性能の最適化を説明するためのフローチャートである。

【図27】実施例11での露光光学系の結像性能の最適化を説明するためのフローチャートである。

【図28】実施例11で用いられる光学ユニットを示す概略上面図である。

【図29】実施例11で用いられる光学ユニットを示す概略上面図である。

【図30】デバイスの製造を説明するためのフローチャートである。

【図31】図30に示すステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。

【符号の説明】

30

【0172】

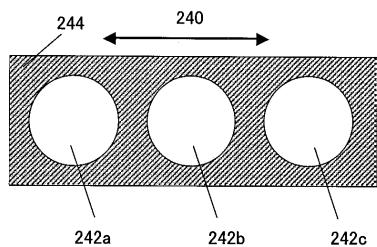
1	露光装置
1 8	照明光学系
2 0	レチクル
2 5	レチクルステージ
4 0	ウェハ
4 5	ウェハステージ
6 0	制御部
7 2	偏光解消素子
7 4	照度分布均一化素子
7 6	球面ミラー
8 2	球面ミラー
8 4	平面ミラー
1 0 0	光学ユニット
1 0 1	ピンホール
1 0 2	フーリエ変換レンズ
1 0 3 a 及び 1 0 3 b	折り曲げミラー
1 0 4	リレー光学系
1 0 0 A	光学ユニット
1 0 5	ハーフミラー

40

50

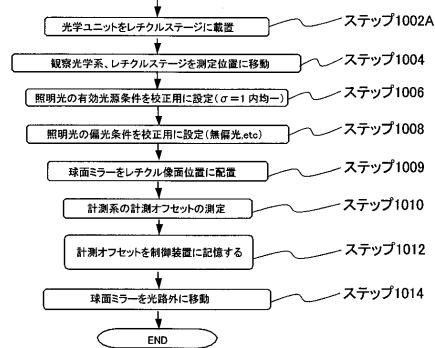
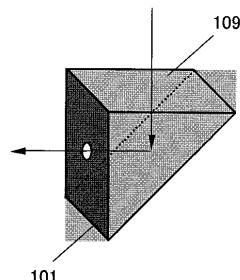
1 0 0 B	光学ユニット	
1 0 6	フーリエ変換レンズ	
1 0 0 C	光学ユニット	
1 0 9	内面反射型ミラー	
1 0 0 D	光学ユニット	
1 3 0	開口部	
2 0 0	観察光学系	
2 0 1	対物レンズ	
2 0 2	折り曲げミラー	
2 0 3	レンズ	10
2 0 4	2次元画像検出素子(光検出器)	
2 0 5	偏光解消素子	
2 4 0	位相子	
2 6 0	偏光素子	
2 0 0 A	観察光学系	
2 0 5	光源	
2 0 6	折り曲げミラー	
2 0 7	ハーフミラー	

【図3】

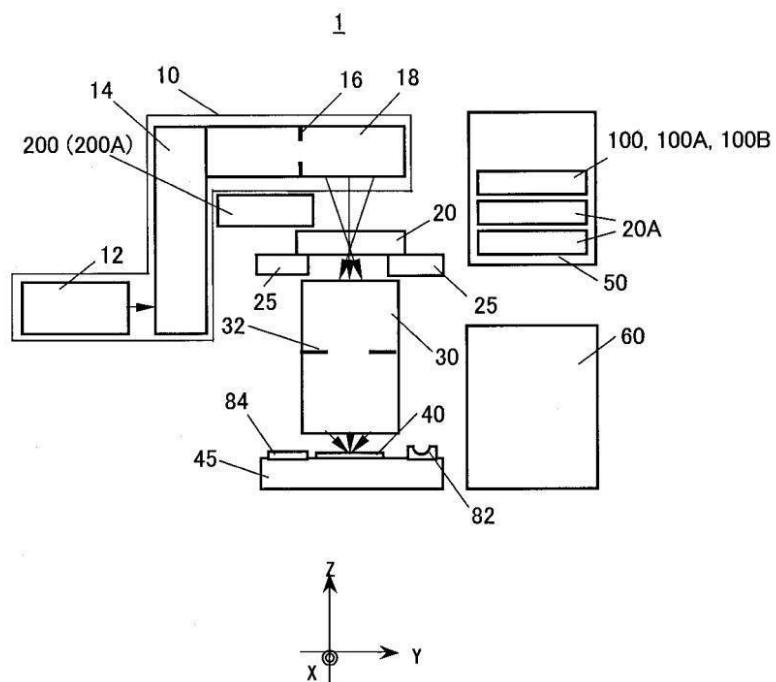


【図10】

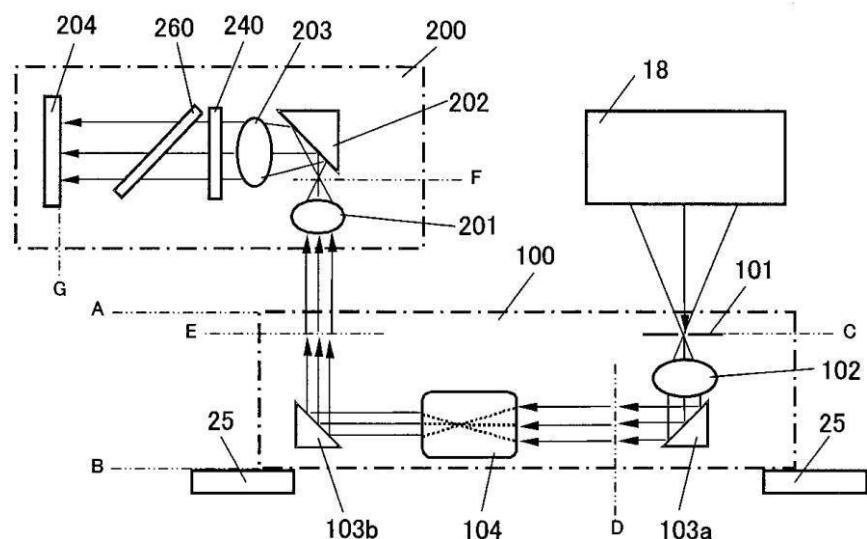
【図21】



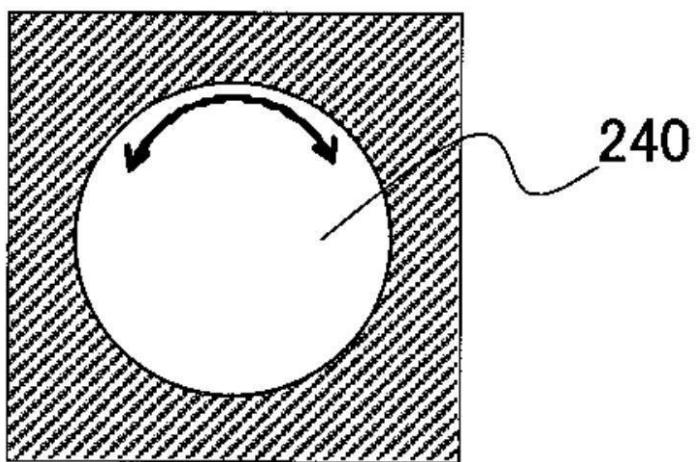
【図1】



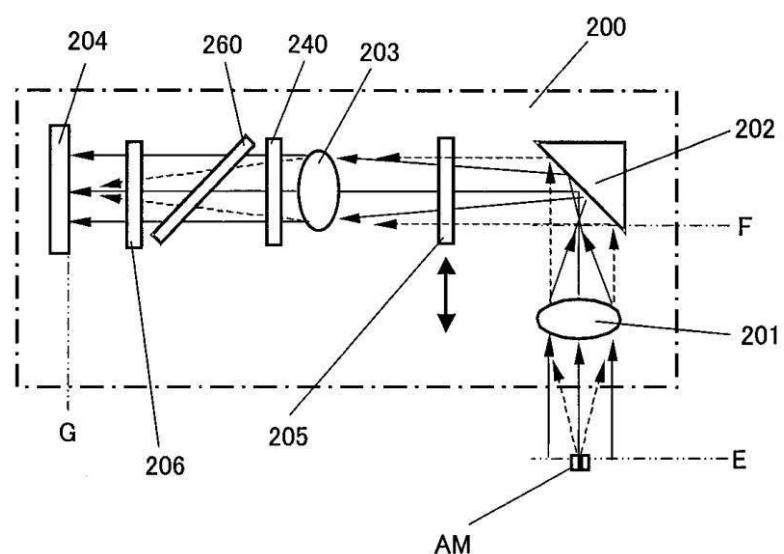
【図2】



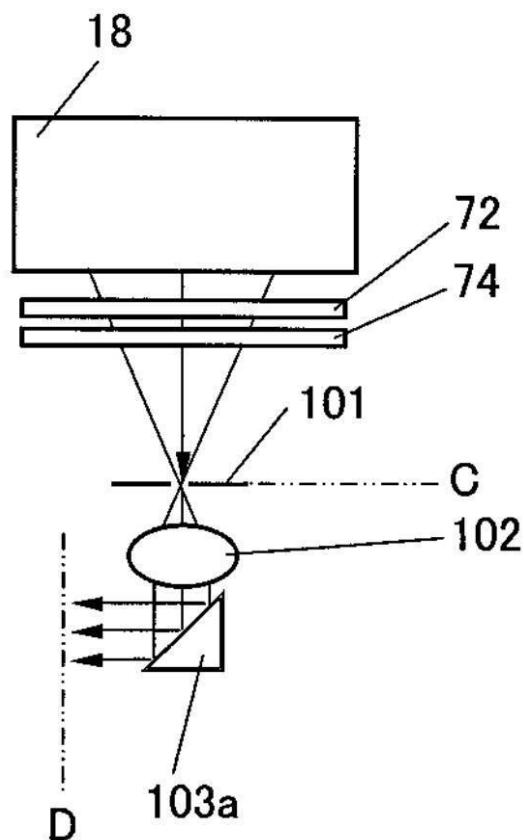
【図4】



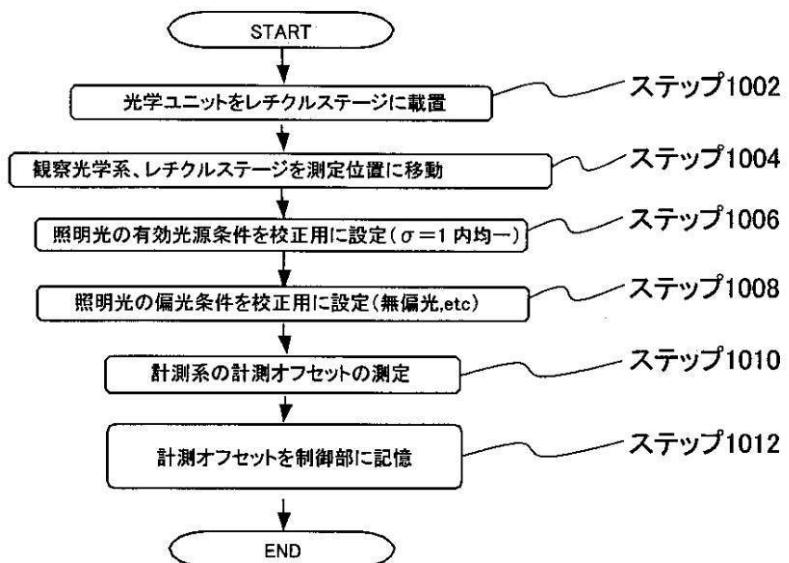
【図5】



【図6】

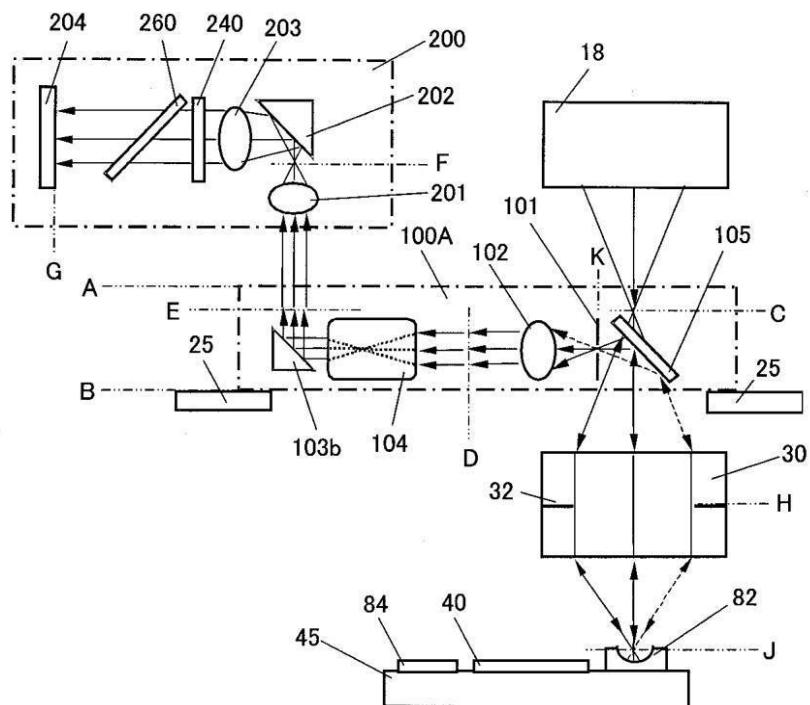


【図7】

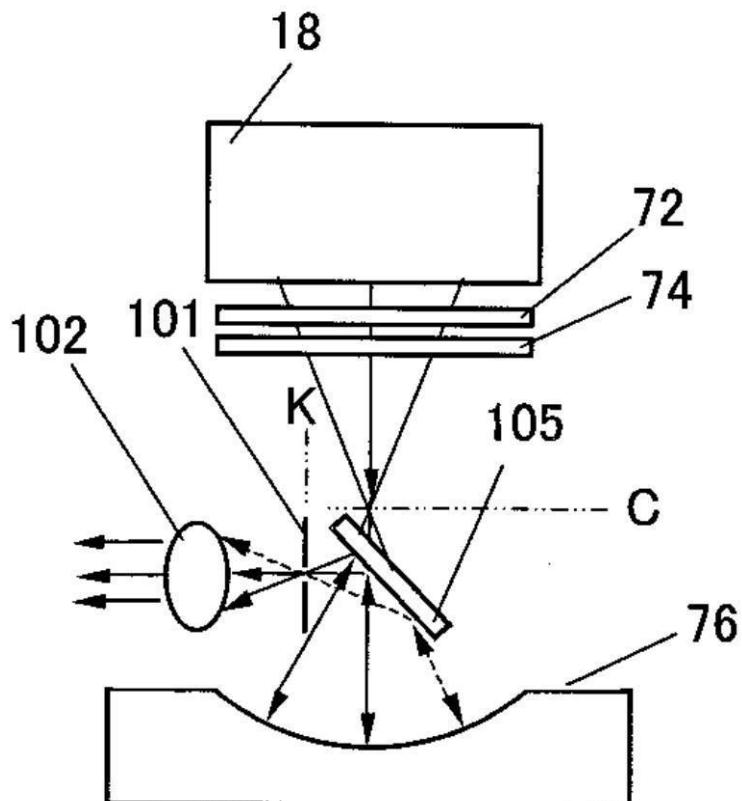


【図8】

1

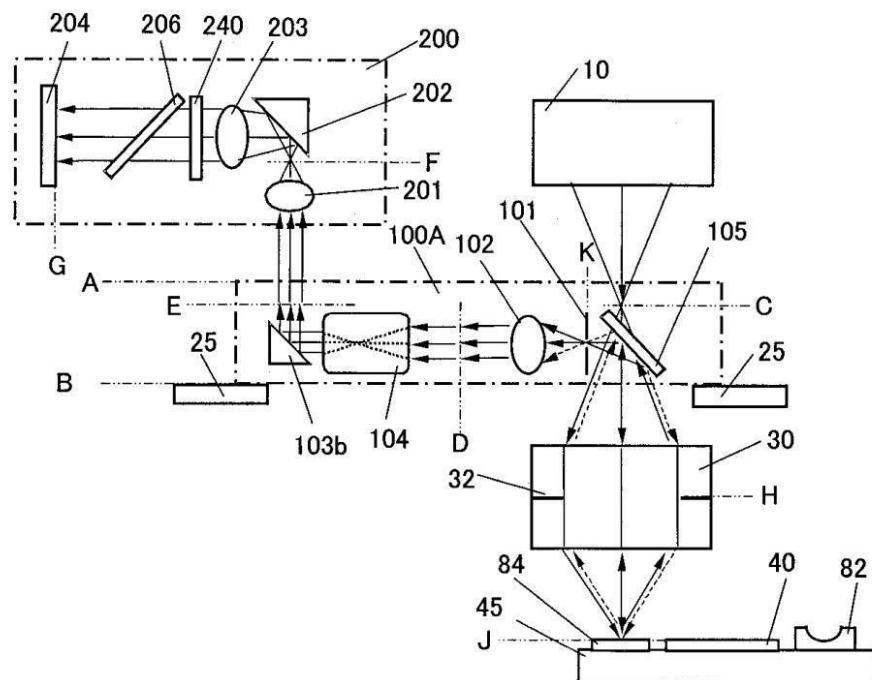


【図9】

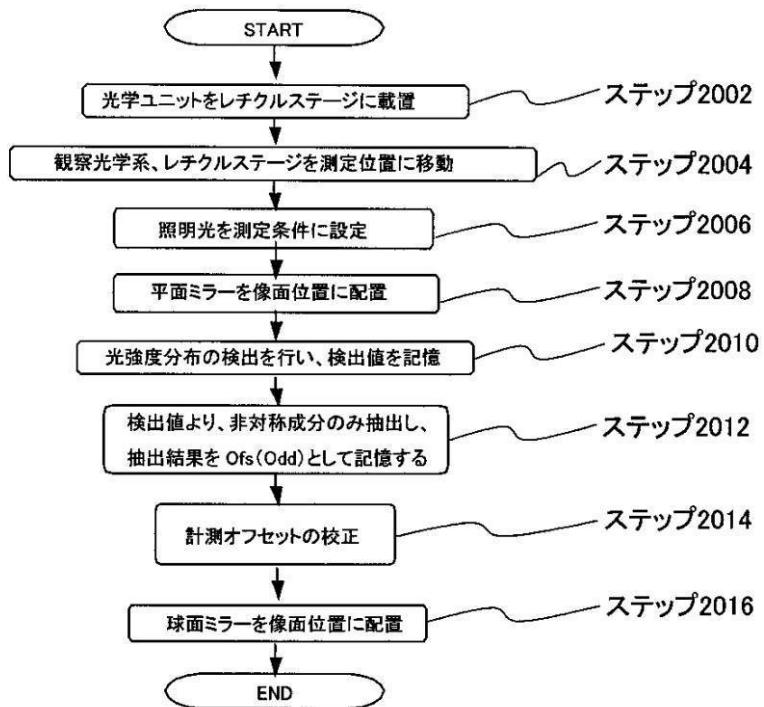


【図11】

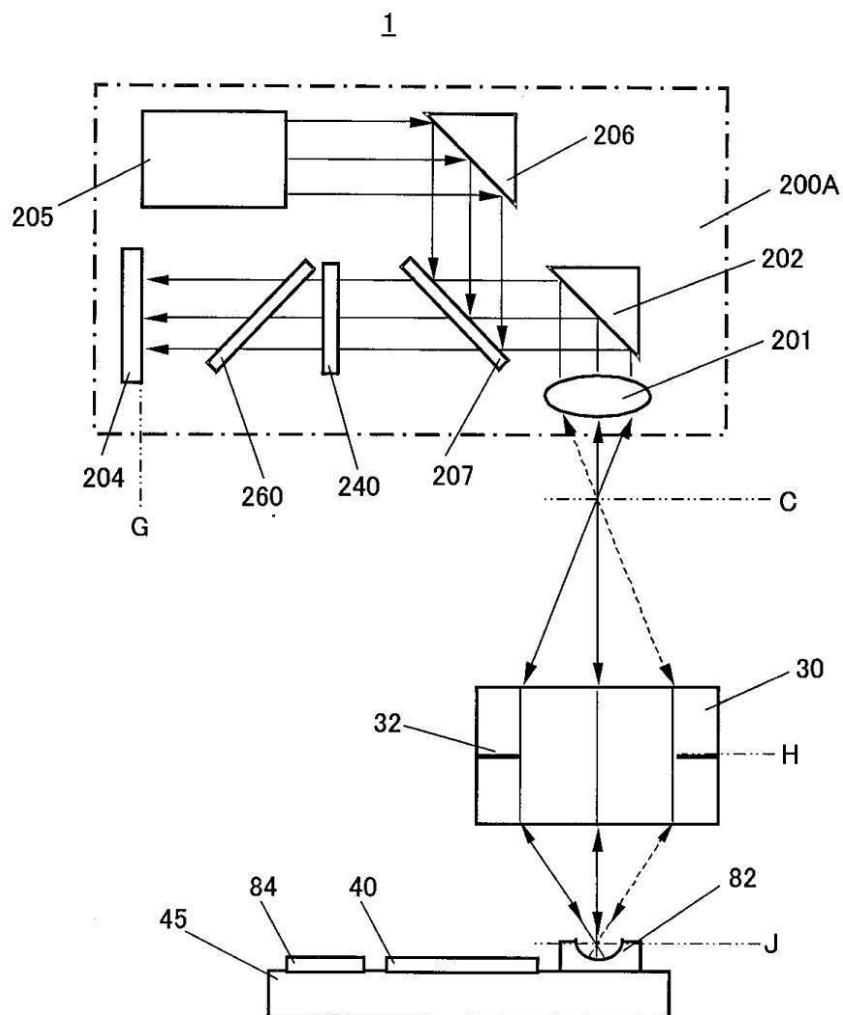
1



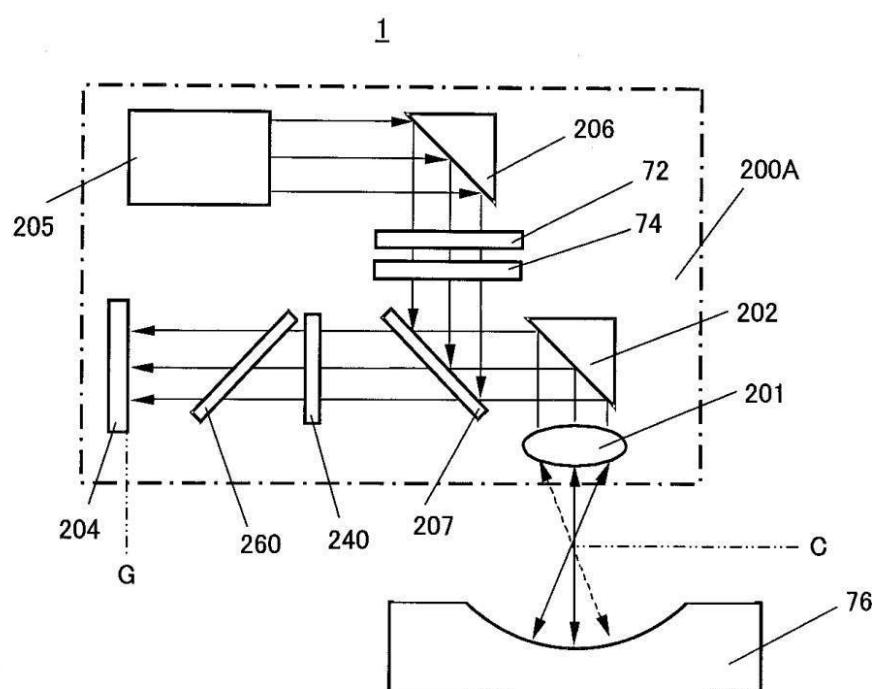
【図12】



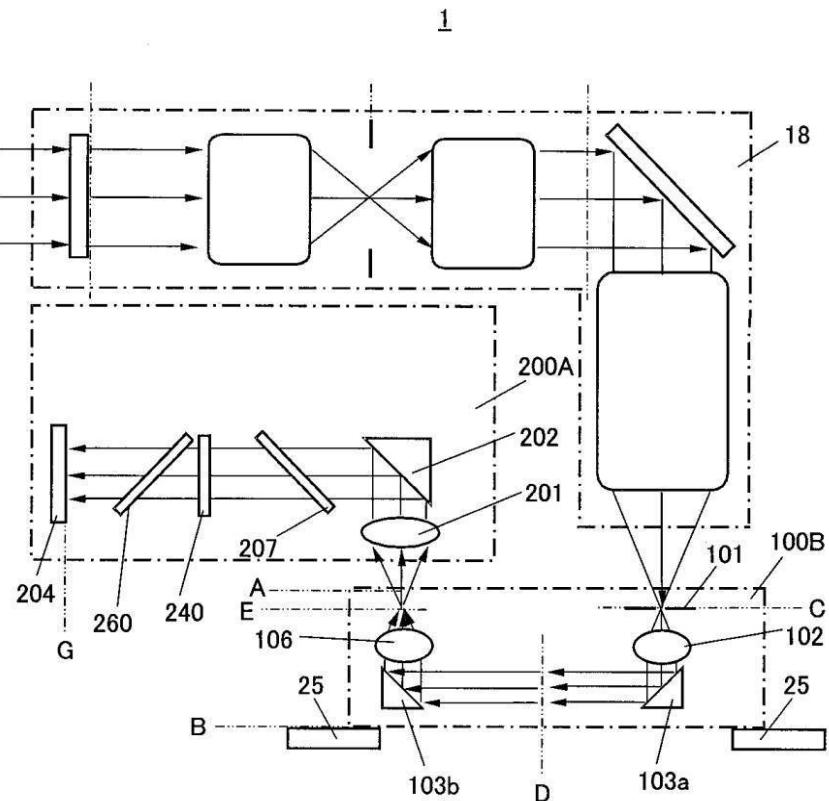
【図13】



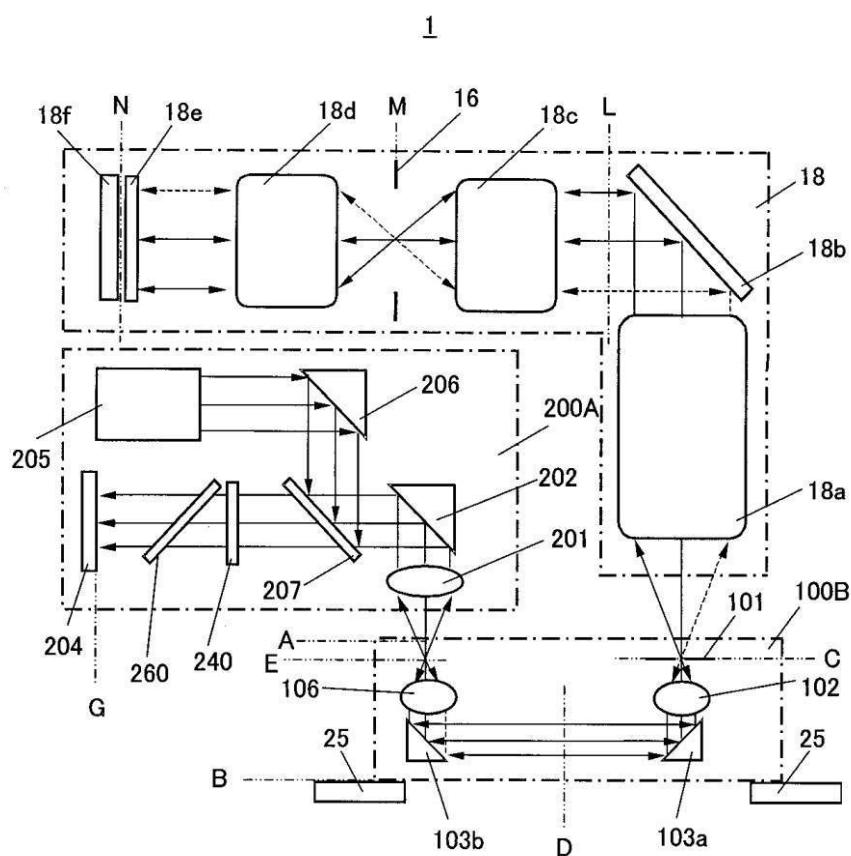
【図14】



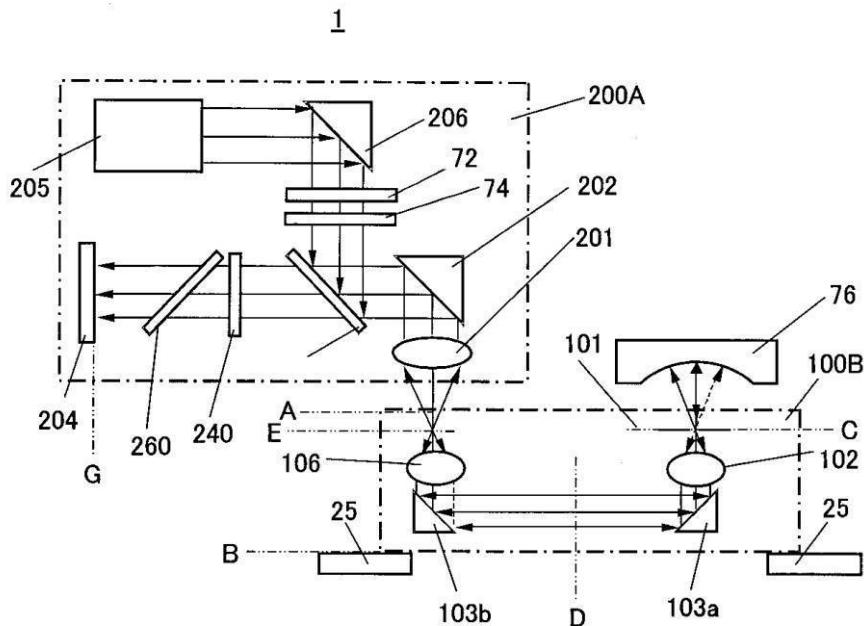
【図15】



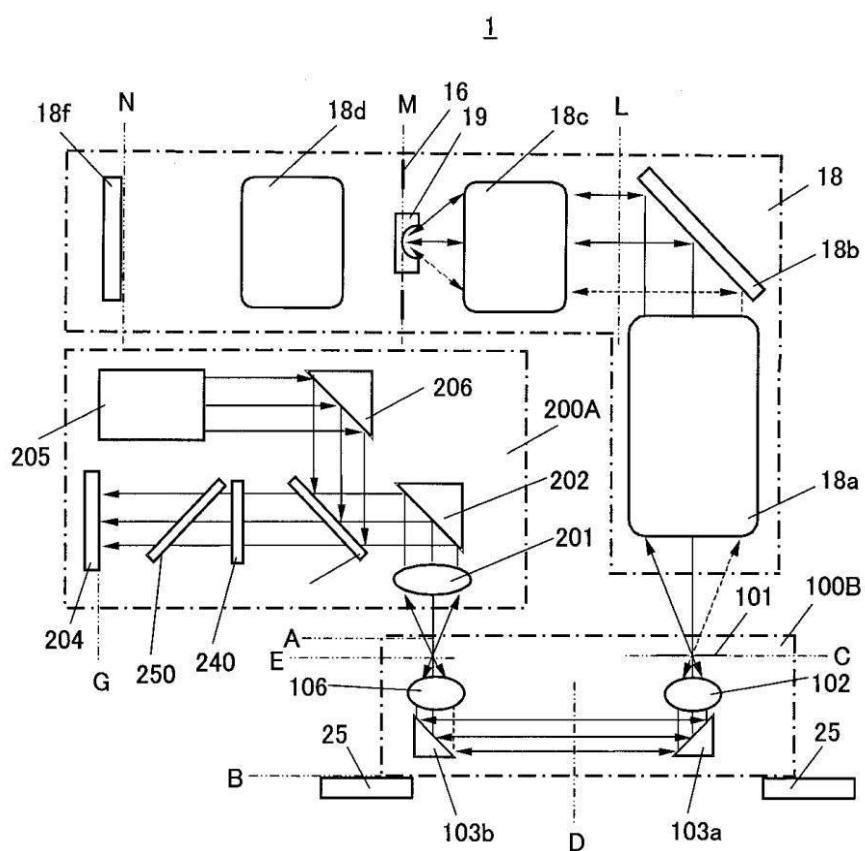
【図16】



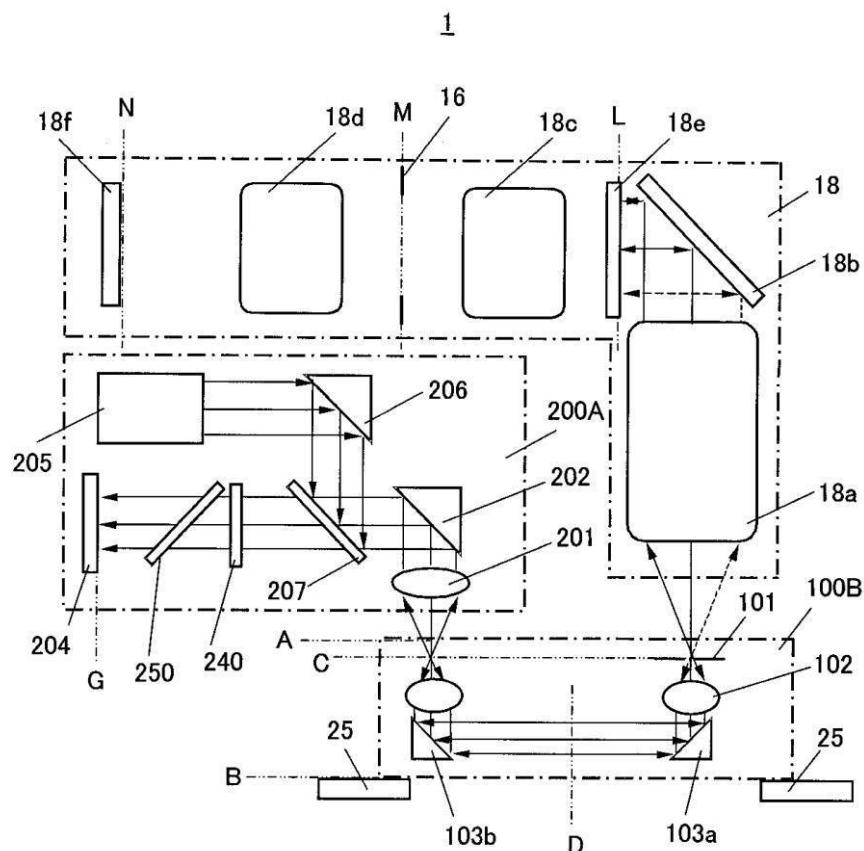
【図17】



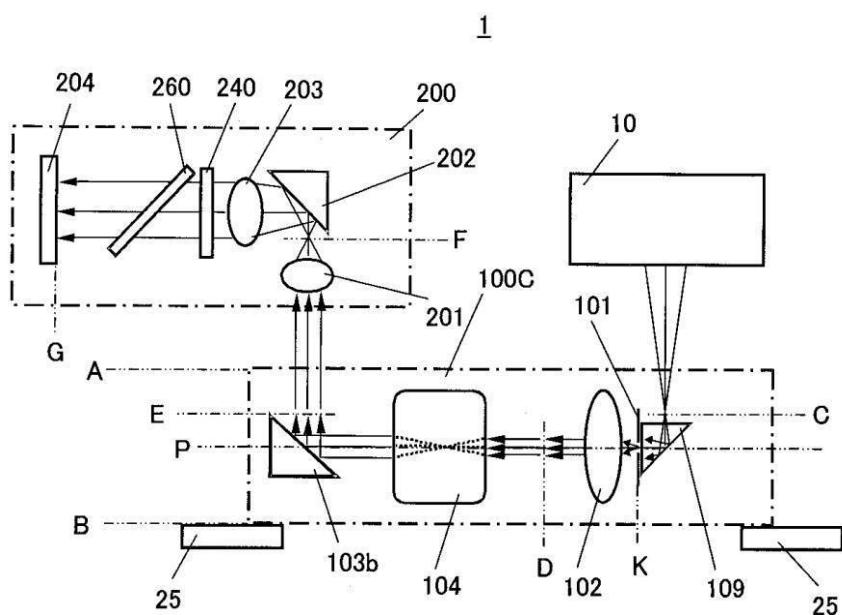
【図18】



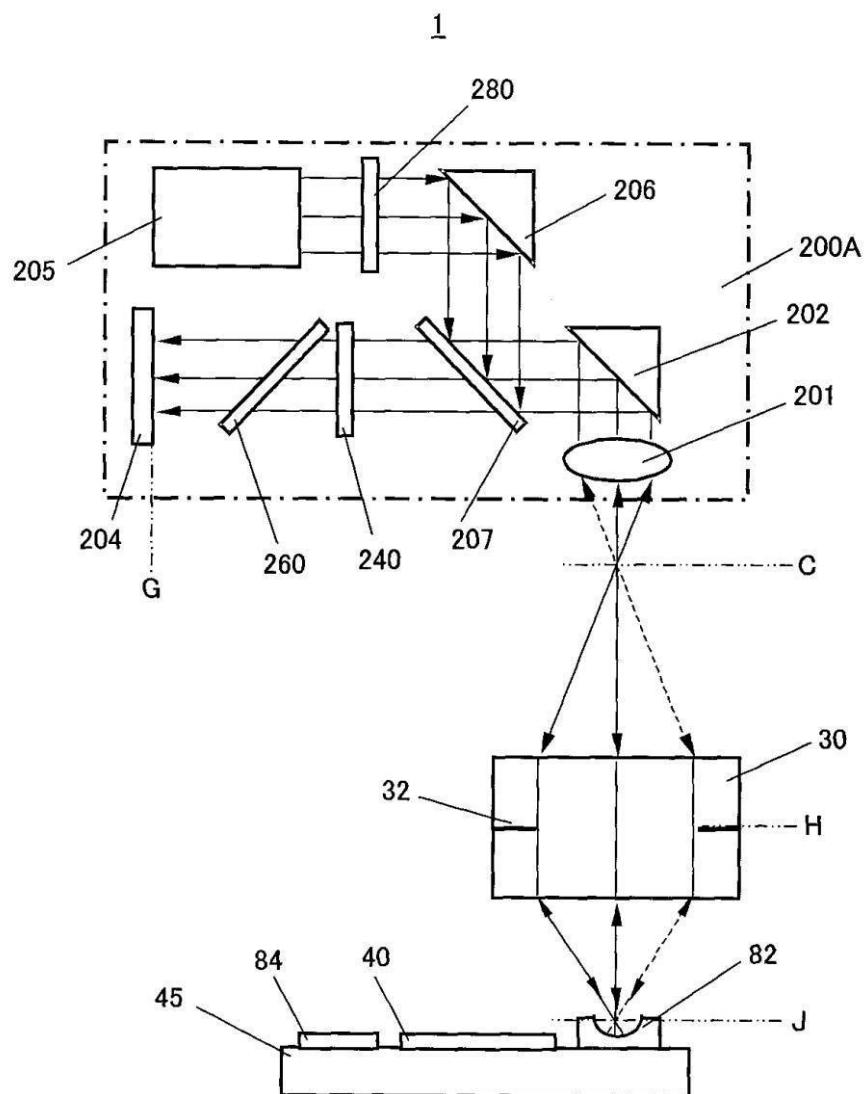
【図19】



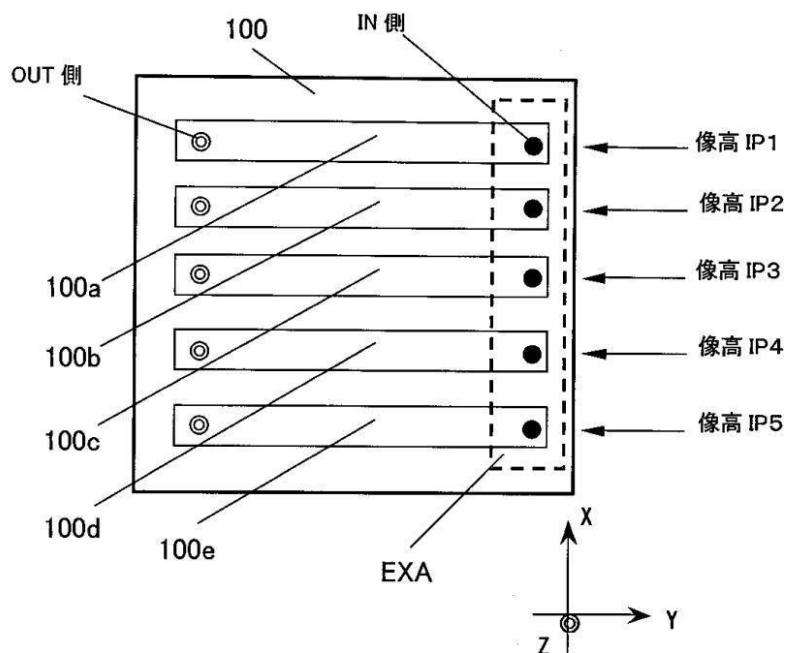
【図20】



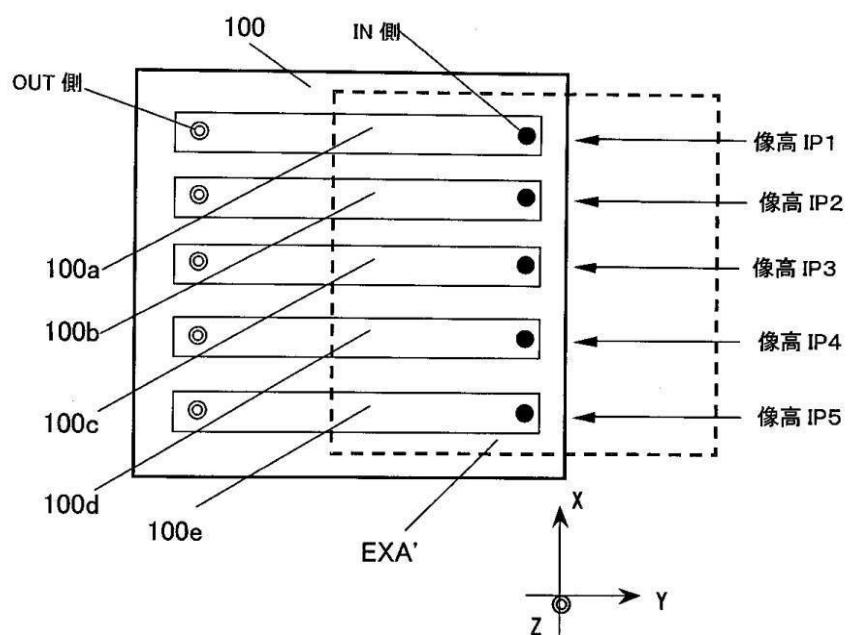
【図22】



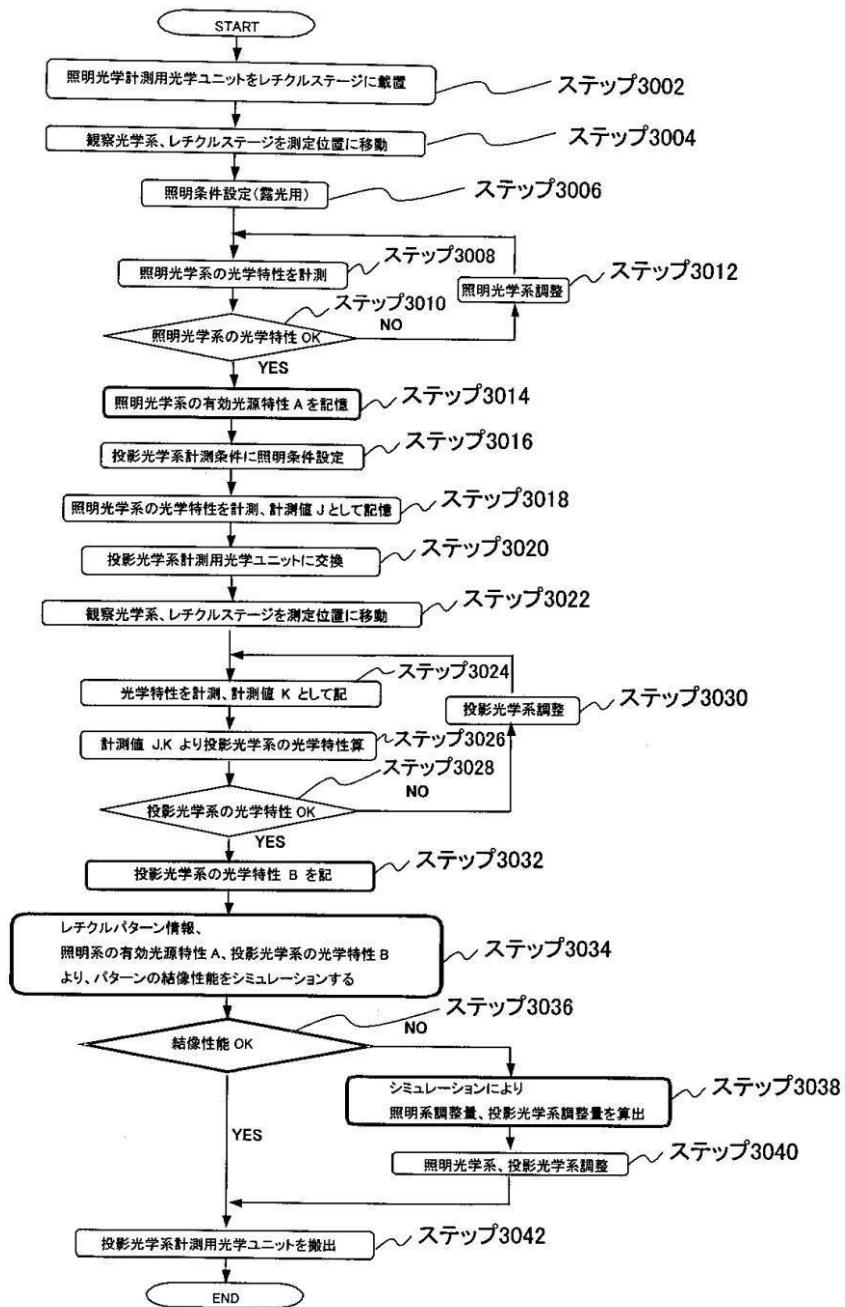
【図23】



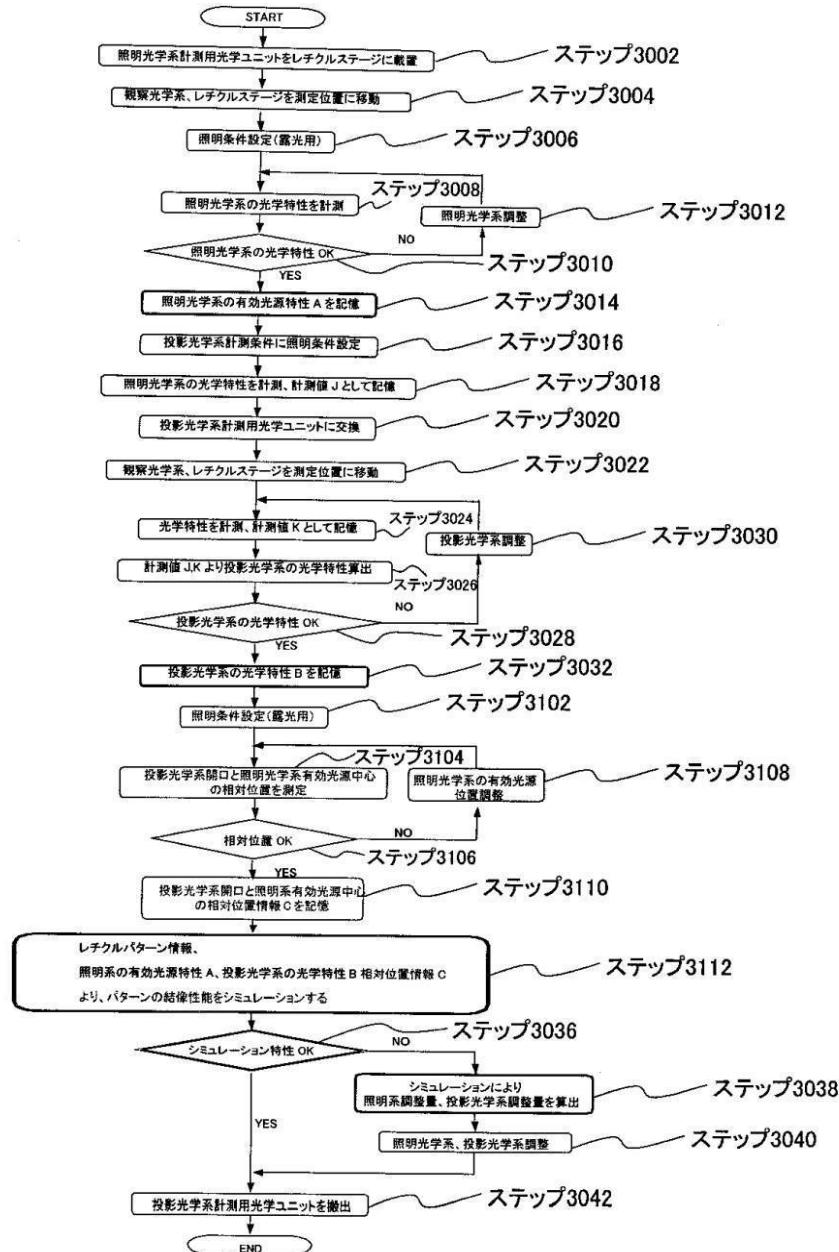
【図24】



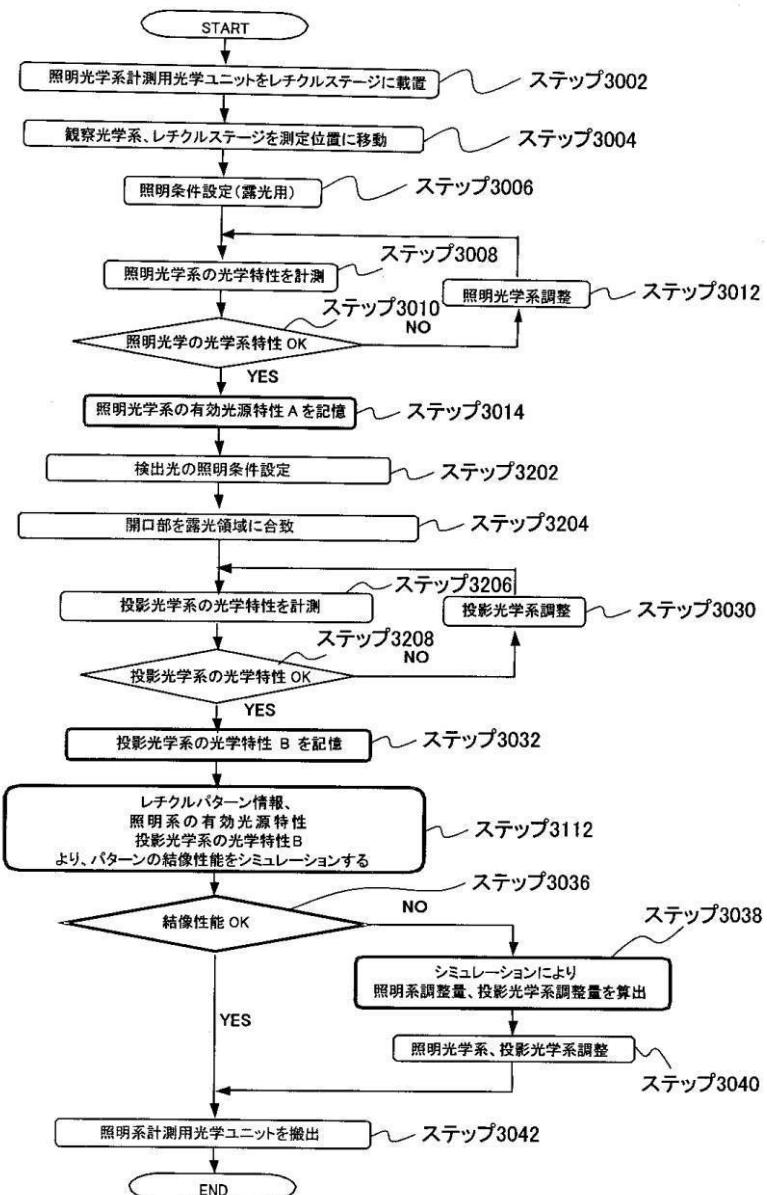
【図25】



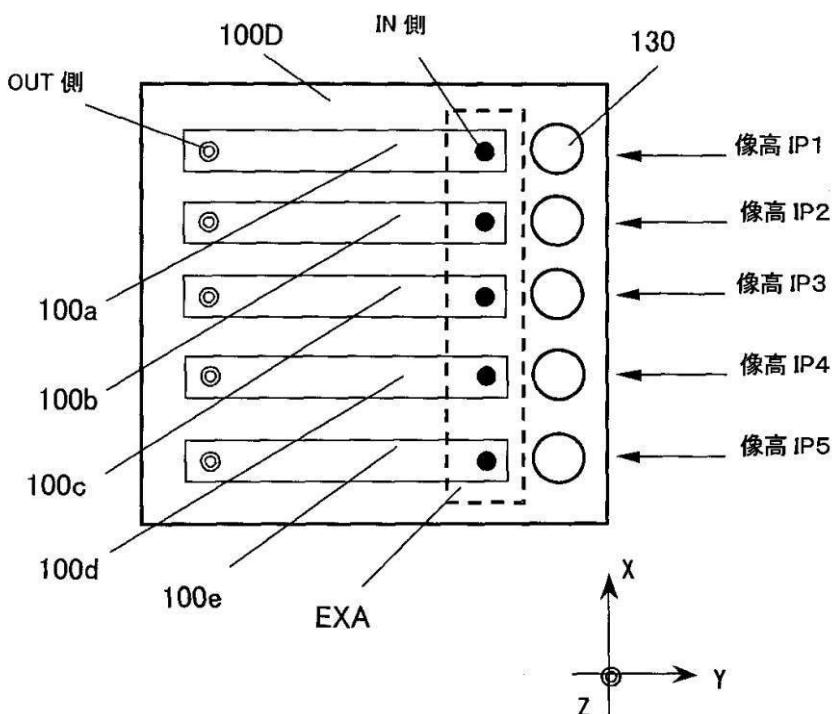
【図26】



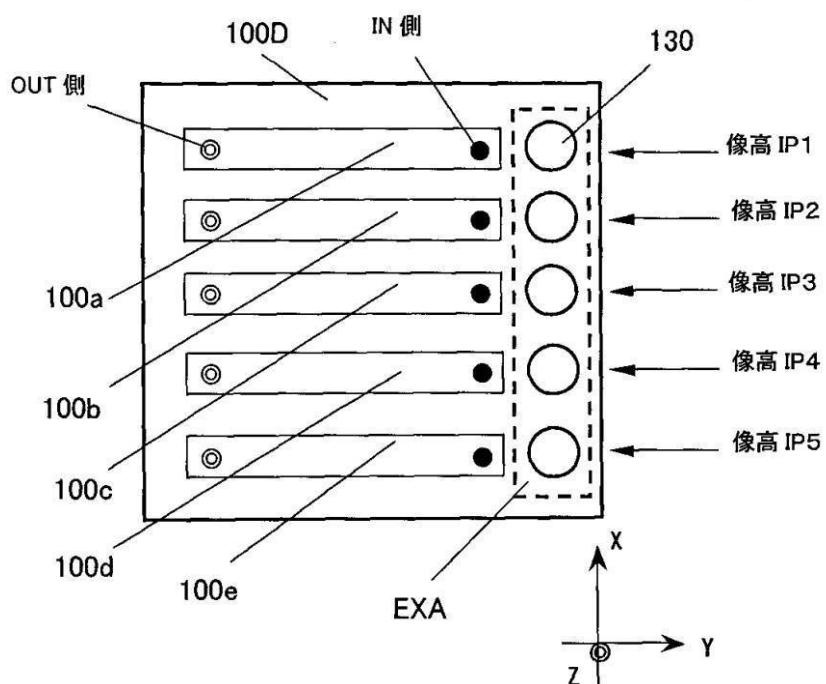
【図27】



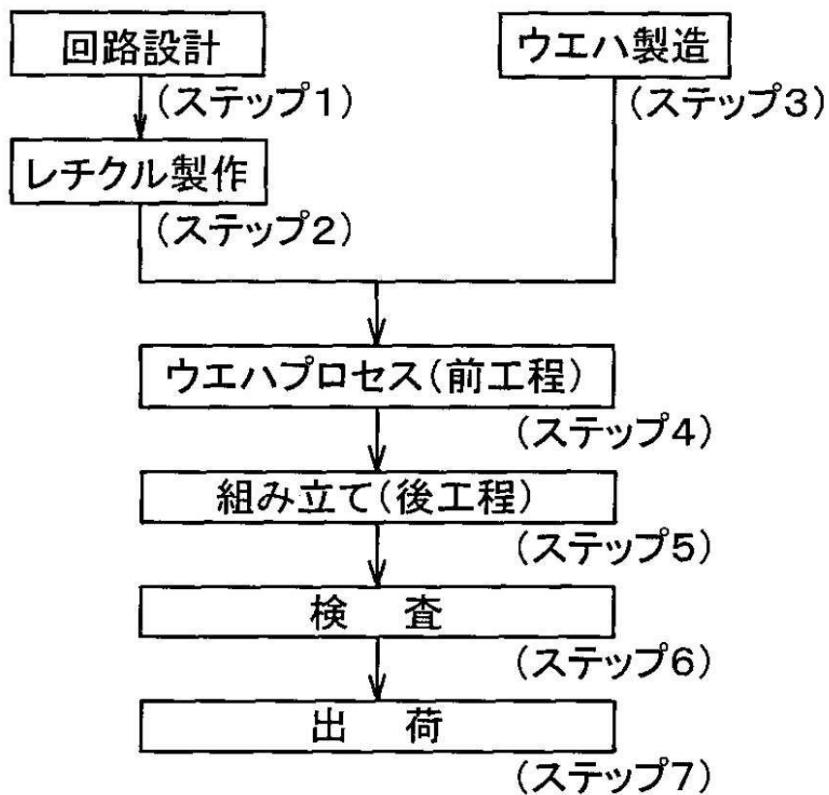
【図28】



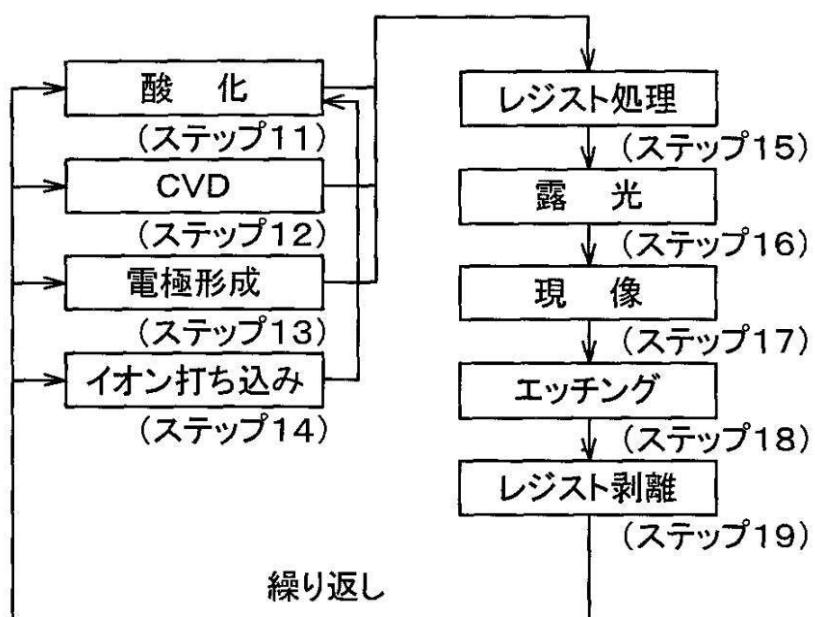
【図29】



【図30】



【図31】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2004-061515(JP,A)
特開平03-231420(JP,A)
特開2003-043223(JP,A)
特開昭57-196131(JP,A)
国際公開第2005/076045(WO,A1)
実開平01-115236(JP,U)
米国特許第05396329(US,A)
特表2008-546218(JP,A)
国際公開第2006/133906(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027
G03F 7/20