

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2006年2月16日 (16.02.2006)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2006/016584 A1

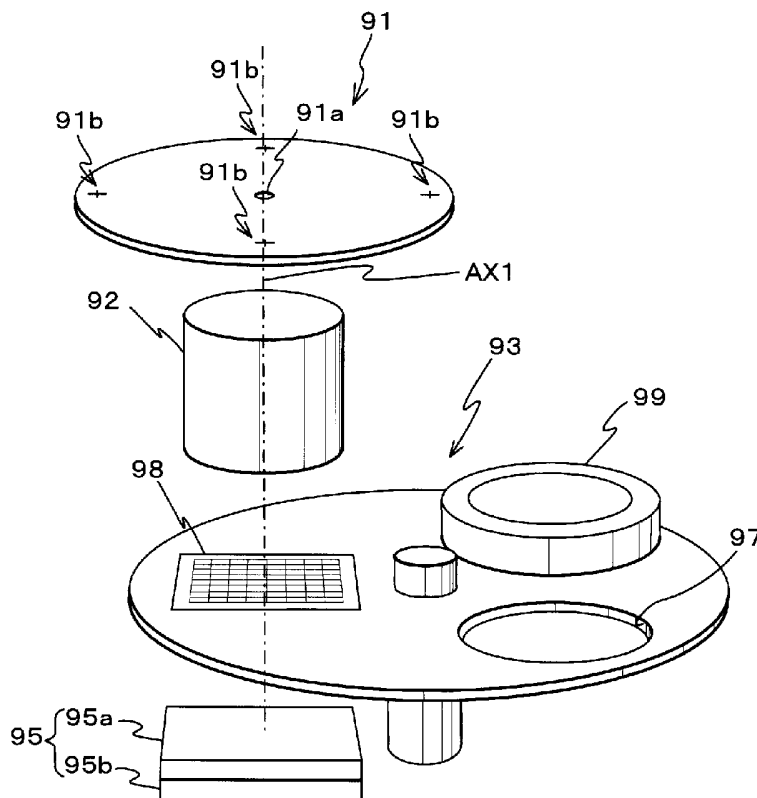
- (51) 国際特許分類:
H01L 21/027 (2006.01) G03F 7/20 (2006.01)
G01M 11/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/014585
- (22) 国際出願日: 2005年8月9日 (09.08.2005)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2004-232370 2004年8月9日 (09.08.2004) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 株式会社
ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 見瀬 浩二 (KAISE,

- Koji) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP). 藤井 透 (FUJII, Toru) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP). 水野 恭志 (MIZUNO, Yasushi) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 立石 篤司 (TATEISHI, Atsuji); 〒2060035 東京都多摩市唐木田一丁目5番地9 唐木田センタービル 立石国際特許事務所 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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU,

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL CHARACTERISTIC MEASURING DEVICE, OPTICAL CHARACTERISTIC MEASURING METHOD, EXPOSURE DEVICE, EXPOSURE METHOD, AND DEVICE MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: 光学特性計測装置及び光学特性計測方法、露光装置及び露光方法、並びにデバイス製造方法



偏光状態を

(57) Abstract: An optical characteristic measuring device (90) includes an opening (97) for passing illumination light, a micro lens array (98) for measuring a wavefront aberration, and an optical system unit (93) for selectively arranging polarized light detection system (99) for measuring the polarization state of the illumination light, on an optical path of the illumination light. Accordingly, the optical characteristic measuring device (90) can simultaneously measure the illumination shape and size of the illumination optical system, the wavefront aberration of the projection optical system, and polarization state of the illumination light. For example, even when performing exposure by the polarized illumination which is a type of modified illumination, it is possible to realize a highly-accurate exposure by adjusting the various optical systems according to the measurement result.

(57) 要約: 光学特性計測装置(90)には、照明光を通過させるための開口部(97)と、波面収差を計測するためのマイクロレンズアレイ(98)と、照明光の

[続葉有]

WO 2006/016584 A1



SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT,
TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

添付公開書類:

- 国際調査報告書
- 請求の範囲の補正の期限前の公開であり、補正書受領の際には再公開される。

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

計測するための偏光検出系(99)を選択的に、照明光の光路上に配置する光学系ユニット(93)が設けられているので、照明光学系の照明形状や大きさ、投影光学系の波面収差、照明光の偏光状態を合わせて計測することができる。そのため、例えば、変形照明の一種である偏光照明により露光を行う場合にも、その計測結果に基づいて各種光学系を調整すれば、高精度な露光を実現することができる。

明 細 書

光学特性計測装置及び光学特性計測方法、露光装置及び露光方法、並びにデバイス製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、光学特性計測装置及び光学特性計測方法、露光装置及び露光方法、並びにデバイス製造方法に係り、さらに詳しくは、被検光学系の光学特性を計測する光学特性計測装置及び光学特性計測方法、該光学特性計測装置を備える露光装置及び前記光学特性計測方法を用いる露光方法、並びに該露光方法を用いるデバイス製造方法に関する。

背景技術

[0002] 従来より、半導体素子(集積回路)、液晶表示素子等の電子デバイスを製造するリソグラフィ工程では、マスク又はレチクル(以下、「レチクル」と総称する)のパターンの像を、投影光学系を介して、レジスト(感光剤)が塗布されたウエハ又はガラスプレート等感光性の基板(以下、「基板」又は「ウエハ」と呼ぶ)上の各ショット領域に転写する投影露光装置が使用されている。この種の投影露光装置としては、従来、ステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置(いわゆるステッパ)が多用されていたが、最近ではレチクルとウエハとを同期走査しつつ露光を行うステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置(いわゆるスキヤニング・ステッパ)も注目されている。

[0003] かかる投影露光装置においては、半導体素子等の高集積化に伴い、より微細なパターンを高解像度で転写することが要求されている。これを実現する方法として、照明光のレチクルへの入射角度を所定の角度に設定して解像力を向上させる輪帯照明、2極照明及び4極照明などのいわゆる超解像技術が実用化されている。

[0004] また、レチクル上のパターンの配列方向に応じて照明光の偏光状態を最適化して、解像度及び焦点深度を向上する試みも提案されている。この方法は、直線偏光の照明光の偏光方向を、パターンの周期方向に直交する方向(パターンの長手方向と平行な方向)とすることにより、転写像のコントラスト等を向上させるものである(例えば、非特許文献1)。

- [0005] また、その他の方法として、輪帯照明において、照明光学系の瞳面内の照明光が分布する領域における照明光の偏光方向を、光軸を中心とする円の円周方向と合致させ、投影像の解像度やコントラスト等を向上させようとする試みがなされている(例えば、特許文献1参照)。
- [0006] このように、照明光の偏光状態を最適化して、投影像の解像度やコントラスト等を向上させる場合、照明光の偏光状態を確認することが望ましい。この場合、照明光学系の瞳面の共役な面で照明光の偏光状態を計測する手法が考えられるが、この手法では、照明の大きさ、形状及び位置など、照明光学系及び投影光学系の種々の光学特性を計測する必要があり、それらの包括的な計測手法の提案が望まれている。
- [0007] また、照明光学系の瞳面内の異なる位置で照明光の偏光方向が異なるように設定した場合には、投影光学系の一部を構成する光学素子の異方性などにより照明光の進行速度が、その偏光方向に応じて異なるようになる。したがって、同一の投影光学系を介した照明光であっても、その照明光の偏光方向に応じて、その投影光学系を介した照明光の波面が異なるようになる。このように、照明光学系及び投影光学系の種々の光学特性は、完全に独立ではないものもあるため、これらの依存性を考慮した光学特性の計測方法を提供することが望まれている。
- [0008] 非特許文献1: Timothy A. Brunner, et al.: "High NA Lithographic imaging at Brewster's angle", SPIE (米国) Vol. 4691, pp. 1-24 (2002)
特許文献1: 特開平6-53120号公報
発明の開示
課題を解決するための手段
- [0009] 本発明は、上記事情の下になされたもので、第1の観点からすると、被検光学系の光学特性を計測する光学特性計測装置であって、前記被検光学系を介した光が入射する入射光学系と; 前記被検光学系の光学特性のうち、第1の光学特性を計測するために、前記入射光学系に入射した前記光を第1計測光に変換する第1の光学系と、前記被検光学系の光学特性のうち、第2の光学特性を計測するために、前記入射光学系に入射した前記光を第2計測光に変換する第2の光学系とを有する光学ユニットと; 前記第1計測光及び前記第2計測光の少なくとも一方を受光する受光器と;

を備える第1の光学特性計測装置である。

- [0010] これによれば、第1計測光及び前記第2計測光の少なくとも一方を受光する受光器での受光結果から、第1、第2の光学特性を個別又は並行して計測することが可能となる。また、第1、第2の光学特性を計測するための受光器を共通化することができるので、装置構成を小型化、軽量化することができる。
- [0011] 本発明は、第2の観点からすると、被検光学系の光学特性を計測する光学特性計測装置であって、前記被検光学系を介した光の偏光状態を計測する偏光計測器と；前記被検光学系の光学特性のうち、少なくとも1つの光学特性を計測する光学特性計測器と；を備える第2の光学特性計測装置である。
- [0012] これによれば、被検光学系を介した光の偏光状態と、被検光学系の光学特性のうち、少なくとも1つの光学特性とを計測することが可能になる。
- [0013] 本発明は、第3の観点からすると、所定のパターンの像を感光物体上に投影する露光装置であって、前記所定のパターンを照明光で照明する照明光学系と；前記所定のパターンを介した前記照明光を前記感光物体上に投射する投影光学系と；本発明の第1及び第2の光学特性計測装置のいずれかを備えるステージと；前記光学特性計測装置の計測結果に基づいて、前記照明光学系及び前記投影光学系の少なくとも一方の光学特性を調整する調整機構と；を備える露光装置である。
- [0014] これによれば、本発明の第1、第2の光学特性計測装置のいずれかの計測の結果を用いて、前記照明光学系及び前記投影光学系の少なくとも一方の光学特性を調整する調整機構を備えているので、その光学特性を精度良く調整することができ、結果的に高精度な露光を実現することができる。
- [0015] 本発明は、第4の観点からすると、被検光学系の光学特性を計測する光学特性計測方法であって、前記被検光学系の光学特性のうち、第1の光学特性を計測する第1工程と；前記計測の結果に基づいて、前記被検光学系の第1の光学特性を調整する第2工程と；前記被検光学系の前記第1の光学特性を調整した後に、前記被検光学系の光学特性のうち、第2の光学特性を計測する第3工程と；を含む光学特性計測方法である。
- [0016] これによれば、第1工程において、被検光学系の第1の光学特性を計測し、第2工

程において、その計測の結果に基づいて第1の光学特性を調整した後に、第3工程において、第1の光学特性に応じて変化する第2の光学特性を計測する。このようにすれば、第2の光学特性が、第1の光学特性に依存するものであっても、第1の光学特性の調整後に第2の光学特性を精度良く計測することができる。

[0017] 本発明は、第5の観点からすると、所定のパターンを照明光で照明する照明光学系と、前記所定のパターンを介した前記照明光を感光物体上に投射する投影光学系との少なくとも一方を被検光学系とし、本発明の光学特性計測方法を用いて、前記照明光学系及び前記投影光学系の少なくとも一方の光学特性を計測する計測工程と；前記計測の結果を用いて、前記照明光学系及び前記投影光学系の少なくとも一方の光学特性を調整する調整工程と；前記調整後に、前記所定のパターンの像で前記感光物体上を露光する露光工程と；を含む露光方法である。

[0018] これによれば、本発明の光学特性方法を用いて、前記照明光学系及び前記投影光学系の少なくとも一方の光学特性を計測し、その計測の結果を用いて、照明光学系及び投影光学系の少なくとも一方の光学特性を調整した後に、所定のパターンの像で感光物体上を露光するので、高精度な露光を実現することができる。

[0019] また、リソグラフィ工程において、本発明の露光方法により感光物体上にパターンを形成することにより、微細なパターンを精度良く感光物体上に形成することができ、これにより、より高集積度のマイクロデバイスを歩留まり良く製造することができる。従って、本発明の更に別の観点からすると、本発明の露光方法を用いるデバイス製造方法であるとも言える。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]本発明の一実施形態の露光装置100の概略的な構成を示す図である。

[図2]偏光変換ユニットの平面図である。

[図3(A)]輪帯照明での偏光変換部材における基準方向を示す図である。

[図3(B)]輪帯照明での偏光変換部材によって変換される光の偏光方向を示す図である。

[図4(A)]4重極照明での偏光変換部材における基準方向を示す図である。

[図4(B)]4重極照明での偏光変換部材によって変換される光の偏光方向を示す図で

ある。

[図5]照明系絞り板の平面図である。

[図6]光学特性計測装置の構成を示す図である。

[図7]偏光検出系の構成を示す図である。

[図8]偏光照明の原理を説明するための図である。

[図9]露光動作時の主制御装置20の処理を示すフローチャートである。

[図10]光学特性の計測処理を示すフローチャート(その1)である。

[図11]光学特性の計測処理を示すフローチャート(その2)である。

[図12]光学特性の計測処理を示すフローチャート(その3)である。

[図13]計測用レチクルの一例を示す図である。

[図14(A)]瞳像を計測する際の光学配置を示す図である。

[図14(B)]波面収差を計測する際の光学配置を示す図である。

[図15]偏光状態を計測したときの計測結果の一例を示す図である。

[図16]瞳像の撮像結果の一例を示す図である。

[図17]光学特性計測装置の変形例の構成を示す図である。

[図18]液浸型の露光装置に本発明を適用した場合の光学特性計測装置の構成の一例を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

[0021] 以下、本発明の一実施形態について図1～図16に基づいて説明する。

[0022] 図1には、本発明の一実施形態に係る光学特性計測方法の実施に好適な露光装置100の全体構成が概略的に示されている。この露光装置100は、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置(スキヤニング・ステッパ(スキヤナとも呼ばれる))である。

[0023] 図1に示されるように、露光装置100は、光源1及び照明光学系12を含む照明系、レチクルRを保持するレチクルステージRST、投影光学系PL、ウエハWが載置されるウエハステージWST及び装置全体を統括制御する主制御装置20等を備えている。

[0024] 前記光源1としては、ここでは、ArF(アルゴンフッ素)エキシマレーザー光源(出力波

長193nm)が用いられている。光源1では、狭帯化及び波長選択の少なくとも一方により直線偏光光を主成分とするレーザー光(照明光)が生成され出力される。

[0025] 前記光源1は、実際には、照明光学系12、レチクルステージRST、投影光学系PL、及びウエハステージWST等が収納されたチャンバ(不図示)が設置されたクリーンルームとは別のクリーン度の低いサービスルームに設置されており、そのチャンバにビームマッチングユニット(BMU)と呼ばれる光軸調整用光学系を少なくとも一部に含む不図示の送光光学系を介して接続されている。この光源1は、主制御装置20からの制御情報に基づいて、内部のコントローラにより、レーザービームLBの出力のオン・オフ、レーザービームLBの1パルスあたりのエネルギー、発振周波数(繰り返し周波数)、中心波長及びスペクトル半値幅などが制御される。

[0026] 前記照明光学系12は、シリンダレンズ、ビームエキスパンダ、偏光制御ユニット2、ズーム光学系、回折光学素子ユニット、偏光変換ユニット3、並びにオプティカルインテグレータ(ホモジナイザ)5、照明系開口絞り板6、第1リレーレンズ8A、第2リレーレンズ8B、固定レチクルブラインド9A及び可動レチクルブラインド9B、光路折り曲げ用のミラーM及びコンデンサレンズ10等を備えている。このうち、図1では、シリンダレンズ、ビームエキスパンダ、ズーム光学系及び回折光学素子ユニットについては図示が省略されている。ここで、オプティカルインテグレータ5としては、フライアイレンズ、内面反射型インテグレータ(ロッドインテグレータ等)あるいは回折光学素子などを用いることができるが、本実施形態では、フライアイレンズが用いられているので、以下では、「フライアイレンズ5」とも記述する。

[0027] 照明光学系12は、不図示の光透過窓を介して上述の送光光学系に接続されている。光源1でパルス発光され、光透過窓を介して入射したレーザービームLBは、例えばシリンダレンズやビームエキスパンダを用いて、その断面形状が整形される。

[0028] 前記偏光制御ユニット2は、例えば照明光学系12の光軸(投影光学系の光軸AXに一致するものとする)に一致する回転軸を中心に回転可能な1/2波長板を備えている。上記整形されたレーザービームLBは、この1/2波長板に入射すると、進相軸方向成分の位相が、進相軸方向に直交する方向の成分に対して1/2波長進むようになるので、その偏光方向が変化する。その変化は、入射するレーザービームLBの偏光

方向と、1/2波長板の進相軸とのそれぞれの回転位置によって定まるので、偏光制御ユニット2では、この1/2波長板の回転位置を調整することにより、射出されるレーザービームLBの偏光方向を制御することが可能となる。1/2波長板の回転位置は、主制御装置20の指示の下、不図示の駆動装置の駆動により行われる。

[0029] なお、光源1から発せられるレーザービームLBが楕円偏光である場合、偏光制御ユニット2には、上記1/2波長板に加え、照明光学系12の光軸AXに一致する回転軸を中心に回転可能な1/4波長板を備えるようにしてもよい。この場合、楕円偏光のレーザービームは、1/4波長板によって直線偏光に変換された上で、1/2波長板により、その偏光方向が調整されることになる。また、偏光制御ユニット2では、レーザービームLBの偏光性を解消する素子を、レーザービームLBの光路上に挿脱可能に配置することもできる。これにより、露光装置100では、レチクルRを照明するに際し、ランダム偏光照明も可能となる。

[0030] 偏光制御ユニット2においてその偏光方向が調整されたレーザービームLBは、凹レンズと凸レンズとの組合せから成る不図示のズーム光学系を経て、不図示の回折光学素子ユニットに入射する。この回折光学素子ユニットには、回折光の回折角及び方向が異なる位相型の回折光学素子がターレット状の部材に複数配列されている。この複数の回折光学素子のうちいずれか1つの回折光学素子が、主制御装置20の指示の下、選択的にレーザービームの光路上に配置されるようになる。レーザービームLBの光路上に配置する回折光学素子を切り換えることにより、レーザービームLBの断面形状を所望の形状とすることができるようになっている。通常は、エネルギー効率の観点から、後述する照明系開口絞り6において選択される絞りの形状に応じて、光路上に配置する回折光学素子が決定される。このようにすれば、レーザービームLBは、照明系開口絞り3の開口部に大部分が集光することとなり、エネルギー効率の点で有利である。

[0031] 光路上に配置された回折光学素子で断面形状が規定されたレーザービームLBは、偏光変換ユニット3に入射する。図2には、偏光変換ユニット3の平面図が示されている。図2に示されるように、偏光変換ユニット3には、偏光変換部材3A、3B、開口部材3C及び開口部3Dがほぼ等角度間隔で配置されている。図2では、遮光部分が斜

線で示されている。偏光変換ユニット3は、主制御装置20からの制御信号により制御されるモータ等の駆動装置4の駆動で回転され、偏光変換部材3A、3B、開口部材3C及び開口部3DのいずれかがレーザービームLBの光路上に選択的に配置される。偏光変換部材3A、3B、開口部材3C及び開口部3Dのいずれを光路上に配置するかは、後述する照明系開口絞り板において光路上に配置される絞りに応じて決まる。

[0032] 図3(A)、図3(B)には、偏光変換ユニット3に配置された偏光変換部材3Aの一例が示されている。この偏光変換部材3Aは、後述する照明系開口絞り板6の後述する輪帯照明絞りが光路上に配置されたときに、主制御装置20の指示の下、レーザービームLBの光路上に配置される部材である。この偏光変換部材3Aは、一軸結晶等の複屈折材料からなる1/2波長板3Aa, 3Ab, 3Ac, 3Ad, 3Ae, 3Af, 3Ag, 3Ahである。これらは図3(A)に示されるように、照明光学系12の光軸AXを中心として、その周囲にそれぞれ隣接して配置される。これらの1/2波長板3Aa~3Ahは、レーザービームLBの光路外に配置された保持部材により保持されている。

[0033] 1/2波長板3Aa~3Ahにおいて、その方向に平行な直線偏光の位相を、その方向に垂直な直線偏光の位相に対して半波長ずらしめる方向を「基準方向」とする。図3(A)では、この基準方向が白抜き矢印で示されている。図3(A)に示されるように、1/2波長板3Aa~3Ahでは、基準方向がそれぞれ異なる方向となっている。ここで、レーザービームLBが、X軸方向に偏光方向を有する直線偏光(これを「H偏光」と呼ぶ)であったとする。この場合、1/2波長板3Aa~3Ahで変換されるレーザービームLBの偏光方向は、図3(B)に示されるようになる。すなわち、レーザービームLBの偏光方向は、偏光変換部材3Aにより、光軸AXを中心とする円の円周方向(接線方向)に変換される。

[0034] 図4(A)、図4(B)には、偏光変換ユニット3に配置された偏光変換部材3Bが示されている。この偏光変換部材3Bは、後述する照明系開口絞り板6の4極照明絞りが光路上に配置されたときに、主制御装置20の指示の下、その光路上に配置される。この偏光変換部材3Bは、一軸結晶等の複屈折材料からなる1/2波長板3Ba, 3Bb, 3Bc, 3Bdを備えている。これらは図4(A)に示されるように、照明光学系12の光軸AXを中心として、その周囲に所定の間隔で配置される。これらの1/2波長板3Ba~

3Bdは、斜線で示される遮光部材により保持されている。

[0035] 図4(A)では、1/2波長板3Ba～3Bdにおける基準方向が示されている。ここで、レーザービームLBが、H偏光(偏光方向がX軸方向である直線偏光)であったとすると、1/2波長板3Ba～3Bdで変換されるレーザービームLBの偏光方向は、図4(B)に示されるようになる。すなわち、レーザービームLBの偏光方向は、偏光変換部材3Bにより、光軸AXを中心とする円の円周方向(接線方向)となるように変換される。

[0036] 図2に戻り、開口部材3Cは、後述する照明系開口絞り板6の後述する2極照明絞りに対応する2つの開口部を有しており、その2極照明絞りが照明光ILの光路上に配置された場合に、主制御装置20の指示の下、レーザービームLBの光路上に配置される。また、開口部3Dは、後述する照明系開口絞り板6の後述する通常照明絞りに対応する比較的大きな円形の開口部を有しており、その通常照明絞りが照明光ILの光路上に配置された場合に、主制御装置20の指示の下、レーザービームLBの光路上に配置される。

[0037] 図1に戻り、偏光変換ユニット3から射出されたレーザービームLBは、フライアイレンズ5に入射する。このフライアイレンズ5は、レチクルRを均一な照度分布で照明するために、このレーザービームLBの入射により、その射出側焦点面(照明光学系12の瞳面とほぼ一致)に多数の点光源(光源像)から成る面光源を形成する。この2次光源から射出されるレーザービームを、以下では「照明光IL」と呼ぶものとする。

[0038] フライアイレンズ5の射出側焦点面の近傍に、円板状部材から成る照明系開口絞り板6が配置されている。この照明系開口絞り板6には、図5に示されるように、ほぼ等角度間隔で、例えば輪帯照明用の輪帯状の開口絞り(輪帯照明絞り6A)、及び変形光源法用に複数の開口を偏心させて配置して成る変形開口絞り(4極照明絞り6B、2極照明絞り6C)、通常の円形開口より成る開口絞り(通常照明絞り6D)等が配置されている。

[0039] この照明系開口絞り板6は、図1に示される主制御装置20からの制御信号により制御されるモータ等の駆動装置7の駆動で回転され、いずれかの開口絞りが照明光ILの光路上に選択的に設定され、これにより瞳面における2次光源の形状や大きさ(照明光の光量分布)が、輪帯、大円形、あるいは四つ目等に制限される。なお、本実施

形態では、照明系開口絞り板6を用いて、照明光学系12の瞳面上での照明光ILの光量分布(2次光源の形状や大きさ)、すなわちレチクルRの照明条件を変更するものとしたが、オプティカルインテグレータ(フライアイレンズ)5の入射面上での照明光の強度分布あるいは照明光の入射角度を可変として、前述の照明条件の変更に伴う光量損失を最小限に抑えることが好ましい。このために、照明系開口絞り板6の代わりに、あるいはそれと組み合わせて、例えば照明光学系12の光路上に交換して配置される複数の回折光学素子、照明光学系12の光軸に沿って移動可能な少なくとも1つのプリズム(円錐プリズムや多面体プリズムなど)、及びズーム光学系の少なくとも1つを含む光学ユニットを、光源1とオプティカルインテグレータ(フライアイレンズ)5との間に配置する構成を採用することができる。

- [0040] 図1に戻り、照明系開口絞り板6から出た照明光ILの光路上に、固定レチクルブラインド9A、可動レチクルブラインド9Bを介在させて第1リレーレンズ8A及び第2リレーレンズ8Bから成るリレー光学系が配置されている。
- [0041] 固定レチクルブラインド9Aは、レチクルRのパターン面に対する共役面から僅かにデフォーカスした面に配置され、レチクルR上の照明領域を規定する矩形開口が形成されている。また、この固定レチクルブラインド9Aの近傍(レチクルRのパターン面に対する共役面)に走査方向(ここではY軸方向とする)及び非走査方向(X軸方向となる)にそれぞれ対応する方向の位置及び幅が可変の開口部を有する可動レチクルブラインド9Bが配置されている。走査露光の開始時及び終了時には、主制御装置20の制御により、その可動レチクルブラインド9Bを介してレチクルR上の照明領域をさらに制限することによって、不要な露光が防止されるようになっている。
- [0042] リレー光学系を構成する第2リレーレンズ8B後方の照明光ILの光路上には、当該第2リレーレンズ8Bを通過した照明光ILをレチクルRに向けて反射する折り曲げミラーMが配置され、このミラーM後方の照明光ILの光路上にコンデンサレンズ10が配置されている。
- [0043] 以上の構成において、フライアイレンズ5の入射面、可動レチクルブラインド8Bの配置面及びレチクルRのパターン面は光学的に互いに共役に設定され、不図示の回折光学素子ユニットの回折光学素子、偏光変換ユニット3の偏光変換部材、フライアイ

レンズ5の射出側焦点面(照明光学系12の瞳面)、投影光学系PLの瞳面は光学的に互いに共役となるように設定されている。また、レチクルRのパターン面と、投影光学系PLの瞳面とは、フーリエ変換の関係を有する。

- [0044] このようにして構成された照明光学系12の作用を簡単に説明すると、光源1からパルス発光されたレーザービームLBは、断面形状が整形されつつ、偏光制御ユニット2及び偏光変換ユニット3により、その断面内における偏光方向が所望の方向に規定された状態で、フライアイレンズ5に入射する。これにより、フライアイレンズ5の射出側焦点面に前述した2次光源が形成される。
- [0045] 上記の2次光源から射出された照明光ILは、照明系開口絞り板6上のいずれかの開口絞りを通過し、第1リレーレンズ8Aを経て固定レチクルブラインド9A、可動レチクルブラインド9Bの矩形開口を通過する。そして、第2リレーレンズ8Bを通過してミラーMによって光路が垂直下方に折り曲げられ、コンデンサレンズ10を経て、レチクルステージRST上に保持されたレチクルR上の矩形の照明領域を均一な照度分布で照明する。
- [0046] 前記レチクルステージRST上にはレチクルRが、例えば真空吸着により固定されている。レチクルステージRSTは、ここでは、リニアモータ等から成る不図示のレチクルステージ駆動系によって、投影光学系PLの光軸AXに垂直なXY平面内で微小駆動可能であるとともに、所定の走査方向(Y軸方向)に指定された走査速度で駆動可能となっている。
- [0047] レチクルステージRSTのステージ移動面内の位置は、レチクルレーザー干渉計(以下、「レチクル干渉計」という)16によって、移動鏡15を介して、例えば0.5~1nm程度の分解能で常時検出される。レチクル干渉計16からのレチクルステージRSTの位置情報(又は速度情報)は、主制御装置20に送られ、主制御装置20ではその位置情報(又は速度情報)に基づいてレチクルステージ駆動系(図示省略)を介してレチクルステージRSTを移動させる。
- [0048] 前記投影光学系PLは、レチクルステージRSTの図1における下方に配置され、その光軸AXの方向がZ軸方向とされている。投影光学系PLは、例えば、両側テレセントリックな縮小系であり、共通のZ軸方向の光軸AXを有する不図示の複数のレンズエ

メントを含む。また、この投影光学系PLとしては、投影倍率 β が例えば $1/4$ 、 $1/5$ 、 $1/6$ などのものが使用されている。このため、上述のようにして、照明光(露光光)I LによりレチクルR上の照明領域が照明されると、そのレチクルRに形成されたパターンが投影光学系PLによって投影倍率 β で縮小された像(部分倒立像)が、表面にレジスト(感光剤)が塗布されたウエハW上のスリット状の露光領域に投影される。

[0049] なお、本実施形態では、上記の複数のレンズ元素のうち、特定のレンズ元素(例えば、所定の5つのレンズ元素)がそれぞれ独立に移動可能となっている。かかる特定のレンズ元素の移動は、特定のレンズ元素毎に設けられた3個のピエゾ素子等の駆動素子によって行われる。すなわち、これらの駆動素子を個別に駆動することにより、特定のレンズ元素を、それぞれ独立に、各駆動素子の変位量に応じて光軸AXに沿って平行移動させることもできるし、光軸AXと垂直な平面に対して所望の傾斜を与えることもできるようになっている。本実施形態では、上記の駆動素子を駆動するための駆動指示信号は、主制御装置20からの指令に基づいて結像特性補正コントローラ51によって出力され、これによって各駆動素子の変位量が制御されるようになっている。

[0050] 上述のようにして構成された投影光学系PLでは、主制御装置20による結像特性補正コントローラ51を介したレンズ元素の移動制御により、ディストーション、像面湾曲、非点収差、コマ収差、あるいは球面収差等の諸収差(光学特性の一種)が調整可能となっている。

[0051] 前記ウエハステージWSTは、投影光学系PLの図1における下方で、不図示のベース上に配置され、その上面にウエハホルダ25が載置されている。このウエハホルダ25上にウエハWが例えば真空吸着等によって固定されている。

[0052] ウエハステージWSTは、モータ等を含むウエハステージ駆動系24により走査方向(Y軸方向)及び走査方向に垂直な非走査方向(X軸方向)に駆動される。そして、このウエハステージWSTによって、ウエハW上の各ショット領域を走査(スキヤン)露光するためにウエハWをレチクルRに対して相対走査する動作と、次のショットの露光のための走査開始位置(加速開始位置)まで移動する動作とを繰り返すステップ・アンド・スキヤン動作が実行される。

- [0053] ウエハステージWSTのXY平面内での位置は、ウエハレーザ干渉計(以下、「ウエハ干渉計」という)18によって、移動鏡17を介して、例えば0.5~1nm程度の分解能で常時検出されている。ウエハステージWSTの位置情報(又は速度情報)は、主制御装置20に送られ、主制御装置20ではその位置情報(又は速度情報)に基づきウエハステージ駆動系24を介してウエハステージWSTの駆動制御を行う。
- [0054] また、ウエハステージWSTは、ウエハステージ駆動系24によりZ軸方向、 θ_x 方向(X軸回りの回転方向:ピッチング方向)、 θ_y 方向(Y軸回りの回転方向:ローリング方向)及び θ_z 方向(Z軸回りの回転方向:ヨーイング方向)にも微小駆動される。また、ウエハステージWSTの+Y側には、後述する光学特性計測装置90が設けられている。
- [0055] 前記投影光学系PLの側面には、アライメント検出系ASが配置されている。本実施形態では、ウエハW上に形成されたストリートラインや位置検出用マーク(ファインアライメントマーク)を観測する結像式アライメントセンサがアライメント検出系ASとして用いられている。このアライメント検出系ASの詳細な構成は、例えば、特開平9-219354号公報及びこれに対応する米国特許第5,859,707号などに開示されている。アライメント検出系ASによる観測結果は、主制御装置20に供給される。本国際出願で指定した指定国(又は選択した選択国)の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。
- [0056] 更に、図1の装置には、ウエハW表面の露光領域内部及びその近傍の領域のZ軸方向(光軸AX方向)の位置を検出するための斜入射方式のフォーカス検出系(焦点検出系)の1つである、多点フォーカス位置検出系(21, 22)が設けられている。この多点フォーカス位置検出系(21, 22)の詳細な構成等については、例えば、特開平6-283403号公報及びこれに対応する米国特許第5,448,332号等が開示されている。多点フォーカス位置検出系(21, 22)による検出結果は、主制御装置20に供給される。本国際出願で指定した指定国(又は選択した選択国)の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。
- [0057] 次に、ウエハステージWSTに設けられた光学特性計測装置90について説明する

。図6には、図1に示される光学特性計測装置90の筐体の上面あるいは内部に配置された構成要素が模式的に示されている。図6に示されるように、光学特性計測装置90は、標示板91と、コリメータ光学系92と、光学系ユニット93と、受光器95とを備えている。

[0058] 前記標示板91は、ウエハステージWST上に保持されたウエハWの表面と同じ高さ位置(Z軸方向位置)に、光軸AXと直交するように配置されている(図1参照)。この標示板91の表面には、クロム等の金属の蒸着により反射膜を兼ねる遮光膜が形成されており、その遮光膜の中央部に、円形の開口91aが形成されている。この遮光膜によって投影光学系PLの波面収差の計測の際にコリメータ光学系92に対する不要な光の入射を遮ることができる。また、遮光膜の開口91aの周辺には、該開口91aとの位置関係が設計上既知の3組以上(図6では、4組)の2次元位置検出用マーク91bが形成されている。この2次元位置検出用マーク91bとしては、本実施形態では、十字マークが採用されている。この十字マークは、上述のアライメント検出系ASによって検出可能となっている。

[0059] 前記コリメータ光学系92は、標示板91の下方に配置されている。標示板91の開口91aを介した照明光ILは、コリメータ光学系92により鉛直下向きの平行光に変換される。

[0060] 前記光学系ユニット93には、開口部97と、マイクロレンズアレイ98と、偏光検出系99とが所定の回転軸を中心に、所定の角度間隔で配置されている。この回転軸の回転により、開口部97と、マイクロレンズアレイ98と、偏光検出系99のいずれかを、コリメータ光学系92を介した光の光路上(光軸AX1に対応する位置)に、選択的に配置可能となっている。この回転軸の回転は、主制御装置20の指示の下、不図示の駆動装置によって行われる。

[0061] 前記開口部97は、コリメータ光学系92から射出された平行光をそのまま通過させる。この開口部97を照明光ILの光路上に配置することにより、受光器95では、瞳像を計測することが可能となる。ここで、瞳像とは、後述するピンホールパターンを介して投影光学系PLに入射する光によって投影光学系PLの瞳面に形成される光源像を指す。なお、開口部97に、平行光をそのまま透過させる透過部材を備えるようにして

もよい。

- [0062] 前記マイクロレンズアレイ98は、複数の小さなレンズ(マイクロレンズ)が光路に対して直交する面内にアレイ状に配置されて構成されている。これを更に詳述すると、マイクロレンズアレイ98は、一辺の長さが等しい正方形の多数のマイクロレンズがマトリクス状に稠密に配列されたものである。なお、マイクロレンズアレイ98は、平行平面ガラス板にエッチング処理を施すことにより作製される。マイクロレンズアレイ98では、マイクロレンズ毎に、標示板91の開口91aに形成された後述するピンホールパターンを介した像の結像光束を射出する。
- [0063] 図7には、前記偏光検出系99の光学的な構成が模式的に示されている。図7に示されるように、偏光検出系99は、1/4波長板99Aと、偏光ビームスプリッタ99Bとを備えている。なお、この偏光ビームスプリッタ99Bは、本来、光束を偏光方向に応じて2光束に分岐させるためのものであるが、ここでは、特定方向の偏光成分のみを通過させる偏光スリット板として作用するので、図7ではそのように図示している。図7では、1/4波長板99Aと、偏光ビームスプリッタ99Bとは、同一直線上にある回転軸を中心に回転可能に設置されている。それらの回転位置は、主制御装置20の指示の下、不図示の駆動装置の駆動により、制御可能となっている。したがって、1/4波長板99Aと、偏光ビームスプリッタ99Bとは、主制御装置20により、その相対的な回転位置を調整することができるようになっている。コリメータ光学系92から射出された平行光は、1/4波長板99A及び偏光ビームスプリッタ99Bを通過する。
- [0064] 前記受光器95は、2次元CCD等から成る受光素子(以下、「CCD」と呼ぶ)95aと、例えば電荷転送制御回路等の電気回路95b等から構成されている。CCD95aは、コリメータ光学系92に入射し、マイクロレンズアレイ98から射出される光束のすべてを受光するのに十分な面積を有している。また、CCD95aは、開口91aに形成される後述するピンホールパターンの像がマイクロレンズアレイ98の各マイクロレンズによって再結像される結像面であって、開口部91aの形成面の光学的な共役面に受光面を有している。また、この受光面は、開口部97が、上記の光路上に配置されている状態では、投影光学系PLの瞳面の共役面から少しだけずれた面に位置する。
- [0065] 主制御装置20は、CPU(中央演算処理装置)、ROM(リード・オンリ・メモリ)、RA

M(ランダム・アクセス・メモリ)等の内部メモリから成るいわゆるマイクロコンピュータ(又はワークステーション)を含み、内部メモリ(RAM)にロードされたプログラムをこのCPUが実行することにより、露光装置100の統括制御が実現される。

- [0066] ここで、露光装置100において可能な偏光照明の原理について図8を参照して簡単に説明する。図8では、照明光学系12の瞳面とレチクルRとの関係が模式的に示されている。照明光学系12のその他の構成要素等は、その図示が省略されている。また、レチクルR上には、X軸方向に周期性を有するライン・アンド・スペース・パターン(以下、「L/Sパターン」と呼ぶ)と、Y軸方向に周期性を有するL/Sパターンとが形成されているものとする。
- [0067] 図8においては、主制御装置20の指示の下、照明系開口絞り6の輪帯照明絞り6Aが照明光ILの光路上に配置されている状態となっている。また、偏光制御ユニット2により、レーザービームLBの偏光方向がH偏光(X軸方向を偏光方向とする偏光)として設定され、偏光変換ユニット3の偏光変換部材3AがレーザービームLBの光路上に配置されているものとする。これにより、輪帯照明絞り6Aを通過する照明光ILの偏光方向は、図8に示されるように、光軸AXを中心とする円の円周方向となるように規定される。これにより、照明光ILは、入射角 ϕ を中心とする所定の角度だけ傾いてレチクルRに入射するようになる。この入射角 ϕ の正弦の値は、照明光学系12の光軸AXからの輪帯の開口部(以下、「輪帯領域」とする)の中心位置の距離に比例する。
- [0068] 照明光ILが、照明光学系の瞳面上で、輪帯領域の円周方向に概ね平行な直線偏光光である場合、図8に示されるように、照明光ILは、レチクルRに対してS偏光となる。ここで、S偏光とは、光学一般で定義されるS偏光と同義であり、照明光ILの進行方向と、レチクルRに対する法線とを含む面に対して偏光方向が垂直である偏光のことをいう。このような入射方位(入射角 ϕ 及び偏光状態)で、レチクルRを照明すると、投影光学系PLを介して投影されるL/Sパターンの像のコントラスト等を向上させることが可能となる。なお、この理由については特開平6-53120号公報、国際公開第2004/051717号パンフレット及びこれに対応する米国特許出願第11/140,103号などに開示されている。本国際出願で指定した指定国(又は選択した選択国)の国内法令が許す限りにおいて、上記パンフレット及び対応米国特許出願における開

示を援用して本明細書の記載の一部とする。

- [0069] また、本実施形態では、照明系開口絞り板6の4極照明絞り6B及び偏光変換ユニット3の偏光変換部材3Bが光軸AX上に配置されている場合でも、照明光ILの偏光状態が、図4(B)に示されるように、光軸AXを中心とする円の円周方向となっているため、照明光ILの偏光状態をレチクルRの面に対しS偏光とすることができ、像面上のパターン像のコントラストを向上させることができる。
- [0070] 次に、本実施形態の露光装置100による露光動作を、主制御装置20の処理アルゴリズムを簡略化して示す図9～図12のフローチャートに沿って、適宜他の図面を参照しながら説明する。なお、ここでは、ウエハW上への1層目の露光がすでに終了しており、2層目以降の露光を行うものとして説明する。なお、光学特性計測装置90内部の光学系の収差は、無視できるレベルであるものとする。
- [0071] 図9に示されるように、まず、ステップ102において、光学特性の計測のサブルーチンの処理を行う。このサブルーチン102では、まず、図10のステップ122において、光学特性の計測を行うための照明条件を設定する。具体的には、主制御装置20は、偏光制御ユニット2において、レーザビームLBの偏光をH偏光に設定し、駆動装置7を駆動して、照明系開口絞り6を回転させ、通常照明絞り6Dを照明光ILの光路上に配置させるとともに、駆動装置4を駆動して、偏光変換ユニット3を回転させ、開口部3DをレーザビームLBの光路上に配置させる。これにより、露光装置100による通常開口絞りによるレチクルRの照明が可能となる。この場合、投影光学系PLの瞳面内に形成される瞳像の形状は円形となる。
- [0072] 次に、ステップ124において、不図示のレチクルローダを用いて、図13に示される計測用レチクルRTをレチクルステージRSTにロードするとともに、所定の準備作業を行う。
- [0073] 計測用レチクルRTには、図13に示されるように、複数個(図13では、 $3 \times 11 = 33$ のピンホールパターン PH_n ($n=1 \sim 33$))が、レチクルステージRSTにロードされた状態で、X軸方向及びY軸方向をそれぞれ行方向及び列方向としてマトリクス状に配置されている。なお、ピンホールパターン $PH_1 \sim PH_{33}$ は、図13において点線で示されるスリット状の照明領域の大きさの領域内に形成されている。

- [0074] ここで、上記の所定の準備作業としては、計測用レチクルRTの投影光学系PLに対する相対位置の検出、アライメント検出系ASのベースラインの計測などが行われる。すなわち、不図示のレチクルアライメント系を用いて、ウェハステージWST上の不図示の基準マーク板上に形成された一对の第1基準マークと、これに対応する計測用レチクルRT上のレチクルアライメントマークの投影光学系PLを介した像との位置関係の検出を行う。この位置関係の検出は、計測用レチクルRT上の図13中に点線で示される領域が、前述した照明領域とほぼ一致する位置に、レチクルステージRSTを移動させた状態で行われる。次いで、ウェハステージWSTを所定距離だけXY面内で移動させて、アライメント検出系ASの検出中心に対する位置関係を検出し、上記2つの位置関係とそれぞれの位置関係検出時の干渉計16, 18の計測値とに基づいてアライメント検出系ASのベースラインを計測する。
- [0075] 次のステップ126では、光学特性計測装置90の光学系ユニット93を回転させて、マイクロレンズアレイ98を、光軸AX1上に配置する。
- [0076] 次のステップ128では、ウェハステージWSTに装着された光学特性計測装置90とウェハステージWSTとの位置関係の計測を行う。具体的には、ウェハステージWSTを順次移動してアライメント検出系ASを用いて光学特性計測装置90の標示板91上の少なくとも2つの2次元位置マーク91bそれぞれのウェハステージ座標系上における位置の検出を行い、その位置の検出結果に基づいて、例えば最小二乗法などの所定の統計演算により光学特性計測装置90の標示板91の開口91aとウェハステージWSTとの位置関係を正確に求める。
- [0077] この結果、ウェハ干渉計18から出力される位置情報(速度情報)に基づいて、開口91aのXY位置を正確に検出することができ、かつ、このXY位置の検出結果と先に計測したベースラインとに基づいて、ウェハステージWSTの位置を制御することにより、開口91aを所望のXY位置に精度良く位置決めできるようになる。
- [0078] 次のステップ130では、多点フォーカス位置検出系(21, 22)を用いて、投影光学系PLの光軸AXに直交する面(XY平面)に対する標示板91の傾斜を計測する。次のステップ132では、上記の傾斜の計測結果に基づいてウェハステージWSTの傾斜を調整することで、標示板91の上面の傾斜を投影光学系PLの像面(又は像面の

近似平面)の傾斜と一致させる。

- [0079] 次のステップ134で、投影光学系PLの視野内の基準計測点、例えば視野中心の計測点、すなわち図13に示されるピンホールパターンPH₁₇の投影光学系PLに関する共役位置(光軸AX上)の計測点に光学特性計測装置90の標示板91の開口91aが一致するようにウエハステージWSTを移動させる。これにより、被検光学系(照明光学系12及び投影光学系PL)の光軸AXと、光学特性計測装置90の光軸AX1とが一致するようになる。
- [0080] 次のステップ136では、照明光ILの偏光状態を設定する。具体的には、主制御装置20は、偏光制御ユニット2における1/2波長板等を回転させて、レーザビームLBの偏光方向を調整する。ここでは、照明光ILがH偏光となるように、1/2波長板の回転量を調整する。
- [0081] 次のステップ138では、マイクロレンズアレイ98を構成する各マイクロレンズによってCCD95aの受光面上に最結像されるピンホールパターンPH₁₇の像の撮像結果である撮像データIMD1に基づいてウエハステージWSTの最適Z位置(ベストフォーカス位置)をサーチする。以下ではこのサーチ処理について具体的に説明する。
- [0082] この最適Z位置のサーチが行われる際の光学配置を、光学特性計測装置90の光軸AX1及び投影光学系PLの光軸AXに沿って展開したものが、図14(A)に示されている。図14(A)に示される光学配置において、主制御装置20が光源1からレーザビームLBを発振させ、照明光学系12から照明光ILが射出されると、計測用レチクルRTのピンホールパターンPH₁₇に到達した光(照明光IL)が、球面波となってピンホールパターンPH₁₇から射出される。そして、その光は、投影光学系PLを介した後、光学特性計測装置90の標示板91の開口91aに集光される。なお、ピンホールパターンPH₁₇以外のピンホールパターンPH₁~PH₁₆、PH₁₈~PH₃₃を通過した光は、開口91aには到達しないようになっている。上述のようにして開口91aに集光された光(標示板91表面の開口91aの内部に結像されたピンホールパターンPH₁₇の像光束)の波面は、投影光学系PLの波面収差を含んだ略球面となる。
- [0083] 開口91aを通過した光は、コリメータ光学系92により平行光に変換され、マイクロレンズアレイ98に入射する。マイクロレンズアレイ98は、マイクロレンズ(図14(A)参照

）ごとに、標示板91表面の開口91aの内部に結像されたピンホールパターンPH₁₇の像を、標示板91の光学的な共役面すなわちCCD95aの撮像面(受光面)に結像させる。従って、CCD95aの撮像面には、マイクロレンズアレイ94を構成するマイクロレンズに対応する配置及び数のスポット像(ピンホールパターンPH₁₇の像)が形成される。CCD95aにより、それら撮像面(受光面)に形成されたスポット像の撮像が行われる。CCD95aの撮像により得られた撮像データIMD1は、主制御装置20に送信される。

[0084] そこで、ウエハステージ駆動系24を介してウエハステージWSTをZ軸方向にステップ移動しつつ、上記撮像データIMD1の取り込みを行い、その取り込んだ撮像データIMD1に基づいて、例えばスポット像のコントラストが最大となるZ軸方向の位置を見つけることにより、ウエハステージWSTの最適Z位置をサーチする。

[0085] 次のステップ140では、光学系ユニット93を回転させて、偏光検出系99を照明光ILの光軸AX1上に配置し、ステップ142において、照明光ILの偏光状態を計測する。以下、照明光ILの偏光状態の検出方法について説明する。

[0086] 図7に示されるように、偏光ビームスプリッタ99Bの透過方位がX軸に一致しているとする。この状態で、1/4波長板99Aを回転させる。この回転量をX軸を基準として θ で表す。ここでは、1/4波長板を $0^\circ < \theta < 360^\circ$ の範囲で回転可能であり、CCD95aは、1/4波長板99Aが所定の回転角度だけ回転する毎に照明光ILを受光し、この受光結果から、照明光ILの偏光状態を算出する。

[0087] ところで、偏光ビームスプリッタ99Bを透過する光の強度 $I(\theta)$ は次式で与えられる。

[0088] [数1]

$$I(\theta) = I_0 (2 + \cos 2\alpha + \cos 2\alpha \cos 4\theta - 2 \sin 2\alpha \sin \delta \sin 2\theta + \sin 2\alpha \cos 2\delta \sin 4\theta) \quad \dots(1)$$

ここで、 I_0 は、全角度での光強度の平均であり、 α は、照明光ILを楕円偏光と見た場合のX軸とY軸の振幅の正接であり、 δ は、照明光ILにおける振動方向がX軸方向及びY軸方向である2つの電気ベクトルの位相差である。

[0089] 図15には、1/4波長板99Aを回転させることによって得られる照明光ILの強度の

計測結果の一例が示されている。本実施形態では、照明光ILがCCD95aによって受光され、その受光結果が主制御装置20に送られて、図15に示されるような回転量 θ_i に対する光強度変化が計測される。そこで、主制御装置20では、高速フーリエ変換(FFT)を行って、具体的には次式を演算して、ストークスパラメータS0、S1、S2、S3を算出する。

[0090] [数2]

$$\left. \begin{aligned} I_0 &= \frac{1}{256} \sum_{i=1}^{256} I_i \\ \cos 2\alpha \cdot I_0 &= \frac{1}{128} \sum_{i=0}^{256} I_i \cos 2\theta_i \\ \sin 2\alpha \cdot \cos \delta \cdot I_0 &= \frac{1}{128} \sum_{i=0}^{256} I_i \sin 2\theta_i \end{aligned} \right\} \dots(2)$$

ここで、 I_i は、回転量 θ_i において計測された光強度である。主制御装置20は、これらの算出結果から、次式で示されるストークスパラメータS0、S1、S2、S3のうち、ストークスパラメータS1～S3を算出する。

[0091] [数3]

$$S0 = 1, S1 = \cos 2\alpha, S2 = \sin 2\alpha \cdot \cos \delta, S3 = \sin 2\alpha \cdot \sin \delta \quad \dots(3)$$

なお、上記ストークスパラメータS1～S3は、ストークスパラメータS0=1として正規化されたパラメータである。

[0092] 次のステップ144では、主制御装置20では、これらのストークスパラメータS1～S3の算出値に基づいて、照明光ILがH偏光となっているか否かを判断する。この判断が肯定されれば、図11のステップ152に進む。一方、このステップ144の判断が否定された場合には、ステップ146に進み、ストークスパラメータのS1～S3の算出値に基づいて偏光制御ユニット2を調整することにより、照明光ILの偏光状態を調整する。例えば、照明光ILの楕円偏光性が強い場合には、直線偏光となるように、偏光制御ユニット2内の偏光子を調整し、直線偏光ではあっても、その偏光方向がX軸方向からずれている場合には、偏光制御ユニット2内の1/2波長板の回転量を調整して、偏光方向がX軸方向、すなわちH偏光となるようにする。ステップ146終了後は、ステ

ップ142に戻る。

[0093] 以降、ステップ144における判断が肯定されるまで、ステップ146で、例えば偏光制御ユニット2の1/2波長板又は1/4波長板を回転調整するなどして、照明光ILの偏光状態を調整し、ステップ142に戻り、再度、照明光ILの偏光状態を上述のようにして計測する処理を繰り返す。これにより、最終的に照明光ILは、H偏光となる。

[0094] このようにして、照明光ILがH偏光となるように調整された後、図11のステップ152において、光学系ユニット93を回転させて開口部97を光軸AX1上に配置する。次のステップ154では、カウンタnの値(以下、「カウンタ値n」と呼ぶ)を1に初期化する。

[0095] ステップ156では、光学特性計測装置90をn番目(ここでは1番目)の計測点に移動させる。すなわち、n番目のピンホールパターンPH_nの投影光学系PLに関する共役位置の計測点に光学特性計測装置90の標示板91の開口91aが一致するようにウエハステージWSTを移動させる。

[0096] 次のステップ158では、瞳像計測を行う。図14(B)には、瞳像計測の様子が示されている。図14(B)に示されるように、この状態では、照明光ILの光路上には、開口部97が配置されているため、コリメータ光学系92を介した平行光は、そのままCCD95aに入射する。すなわち、CCD95aは、投影光学系PLの瞳面と共役な位置に配置されていることとみなすことができ、その瞳面における瞳像に対応する光束を受光することが可能となる。そこで、ここでは、CCD95aの撮像データIMD2を取り込み、その撮像データIMD2に基づいて瞳像の中心位置や大きさ、あるいは瞳像の強度分布を検出する。そして、その検出の結果をメモリに記憶する。

[0097] 次のステップ160では、カウンタ値nが計測点の総数N(ここではN=33)以上であるか否かを判断することで、全ての計測点において瞳像計測が終了したか否かを判断する。ここでは、最初の計測点について瞳像計測が終了しただけなので、ここでの判断は否定され、ステップ162に移行して、カウンタ値nを1インクリメントした後、ステップ156に戻る。

[0098] 以後、ステップ160における判断が肯定されるまで、ステップ156→ステップ158→ステップ160→ステップ162のループの処理・判断を繰り返す。これにより、投影光学系PLの視野内の2~33番目の計測点、すなわちピンホールパターンPH₂~PH₃₃の

投影光学系PLに関する共役位置の計測点について、瞳像計測が行われ、ピンホールパターン $PH_2 \sim PH_{33}$ それぞれを介した瞳像の中心位置や大きさ、あるいは瞳像の強度分布が算出され、メモリ内に記憶される。

- [0099] そして、全ての計測点についての瞳像計測が終了すると、ステップ164に進んで、カウンタ値nを1に初期化する。
- [0100] 次のステップ166では、光学系ユニット93を回転させてマイクロレンズアレイ98を再度光軸AX1上に配置した後、ステップ168では、光学特性計測装置90をn番目(ここでは1番目)の計測点に移動させる。すなわち、n番目のピンホールパターン PH_n の投影光学系PLに関する共役位置の計測点に光学特性計測装置90の標示板91の開口91aが一致するようにウエハステージWSTを移動する。
- [0101] 次のステップ170～ステップ174では、そのn番目の計測点における波面収差計測を実行する。すなわち、まず、ステップ170では、マイクロレンズアレイ98によりCCD95aの受光面上に形成される全てのスポット像の撮像を行い、その撮像データIMD1を取り込む。
- [0102] 次のステップ174において、メモリから各スポット像の位置情報を読み出して、計測用レチクルRTにおけるn番目(ここでは1番目)のピンホールパターン PH_1 を介した光に関する投影光学系PLの波面収差を後述するようにして算出する。
- [0103] ところで、スポット像の位置情報から波面収差を計測できる理由は、上記のスポット像の撮像に際し、マイクロレンズアレイ98に入射する光の波面が、投影光学系PLの波面収差を反映したものとなっているからである。
- [0104] すなわち、投影光学系PLに波面収差が無い場合には、図14(A)において点線で示されるように、その波面WFは光軸AX1と直交する平面となり、この場合、マイクロレンズ98に入射した光の波面が光軸と直交し、そのマイクロレンズアレイ98の各マイクロレンズの光軸とCCD95aの撮像面の交点を中心とするスポット像が、CCD95aの受光面に結像される。これに対し、投影光学系PLに波面収差が有る場合には、図14(A)において二点鎖線で示されるように、その波面WF'は光軸AX1と直交する平面とはならず、その平面上の位置に応じた角度の傾きを有する面となる。この場合、マイクロレンズ98に入射した光の波面は傾いており、その傾き量に応じた距離だけ、

そのマイクロレンズ98の光軸とCCD95aの受光面の交点からずれた点を中心とするスポット像がCCD95aの受光面に結像される。

[0105] 従って、このステップ174では、波面収差が無いときに期待される各スポット像位置(上記のマイクロレンズ98の光軸とCCD95aの撮像面の交点)と検出された各スポット像位置との差(位置誤差)から、ツェルニケ多項式の係数を求めることで、計測用レチクルRTにおけるn番目のピンホールパターンPH_nを介した光に関する投影光学系PLの波面収差を算出する。

[0106] 但し、波面収差が無いときに期待される各スポット像位置が、上記のマイクロレンズアレイ98の各マイクロレンズの光軸とCCD95aの受光面の交点と一致するのは、入射する光の光軸にずれがなく、光軸AX1とCCD95aとが正確に直交する理想的な場合のみである。そこで、本実施形態では、上記の位置誤差を算出するに際し、メモリ内に記憶されている、対応する計測点における光源像のデータ(中心位置や大きさなどの光源像の位置情報)に基づいて、波面収差が無いときに期待される各スポット像位置(各スポット像のずれ量を算出するための基準位置)をそれぞれ補正し、検出された各スポット像位置と補正後の各基準位置との差を算出している。これにより、光学特性計測装置90に入射される光の光軸のずれに起因する、波面収差が無いときの各スポット像の基準位置の誤差をキャンセルすることができ、より高精度に波面収差を求めることができる。

[0107] 図11の説明に戻り、次のステップ176では、カウンタ値nが計測点の総数N(ここではN=33)以上であるか否かを判断することで、全ての計測点において波面収差の計測が終了したか否かを判断する。ここでは、最初の計測点について波面収差の計測が終了したのみなので、ここでの判断は否定され、ステップ178に移行して、カウンタ値nを1だけインクリメントした後、ステップ168に戻る。

[0108] 以後、ステップ176における判断が肯定されるまで、ステップ168→ステップ170→ステップ172→ステップ174→ステップ176→ステップ178のループの処理を繰り返す。これにより、投影光学系PLの視野内の2～33番目の計測点、すなわちピンホールパターンPH₂～PH₃₃の投影光学系PLに関する共役位置の計測点について、波面収差計測が行われ、ピンホールパターンPH₂～PH₃₃それぞれを介した光に関する

波面収差が算出され、不図示のメモリ内に記憶される。

[0109] そして、全ての計測点についての波面収差計測が終了し、ステップ176における判断が肯定されると、次のステップ180に進む。

[0110] ステップ180では、照明光ILをV偏光(偏光方向がY軸方向である直線偏光)としたときの計測が終了したか否かを判断する。この場合、H偏光の計測が終了しただけなのでこのステップ180での判断が否定され、図10のステップ136に戻る。

[0111] ステップ136では、偏光制御ユニット2の1/2波長板が90度回転され、レーザービームLBの偏光方向が90度変更される。これにより照明光ILはV偏光となるように設定される。そして、ステップ138において、ウエハステージWSTの最適Z位置を改めてサーチする。ここで、再度、最適Z位置をサーチするのは、照明光ILの偏光方向を変えたことにより、各計測点に対応する波面が変化し、その波面の変化に伴って最適Z位置も変化すると考えられるからである。そして、ステップ140～ステップ144、図11のステップ152～ステップ176において、照明光ILをV偏光に設定したときの通常照明絞り6Dに対応する各計測点の瞳像及び波面が計測される。そして、このようにしてV偏光の計測が終了すると、ステップ180における判断が肯定され、図12のステップ182に進む。

[0112] 図12のステップ182では、上で求めた投影光学系PLの視野内のN個(ここでは33個)の計測点における波面収差のデータに基づいて、投影光学系PLの波面収差が許容範囲外である計測点があるか否かを判断する。そして、この判断が肯定された場合には、ステップ184に移行して、投影光学系PLの波面収差の計測結果に基づき、現在発生している波面収差を低減させるように、結像特性補正コントローラ51を介してレンズエレメントを駆動して投影光学系PLの波面収差の調整を行う。この調整は、実際の露光の際に設定される照明条件に基づいて設定される。例えば、露光が、輪帯照明で行われる場合には、その輪帯照明絞りにおいて照明光ILが通過する部分における波面が最適となるように設定されるのが望ましい。また、本実施形態では、後述するように、照明光ILの偏光方向が、光軸AXを中心とする円の円周方向に沿っており、瞳面の異なる領域で照明光ILの偏光方向が異なるようになるので、その偏光状態で波面収差が最も低減されるように、投影光学系PLが調整されるのが望ま

しい。なお、場合によっては、人手により投影光学系PLのレンズエレメントのXY平面内での移動やレンズエレメントの交換を行うこととしても良い。

[0113] ステップ182で判断が否定された後、又はステップ184が行われた後に行われるステップ186では、実際の露光に適用される照明条件を設定する。具体的には、偏光制御ユニット2により、レーザービームLBの偏光方向をH偏光とし、偏光変換ユニット3を回転させることにより、偏光変換部材3Aを、照明光ILの光路上に配置するとともに、照明系開口絞り板6を駆動装置7により回転させて、輪帯照明絞り6Aを照明光ILの光路上に配置する。そして、ステップ188では、光学特性計測装置90を、計測点に移動させ、ステップ190で、光学系ユニット93の開口部98を光路上に配置し、ステップ192で、瞳像を計測する。このとき、輪帯照明絞り6Aが照明光ILの光路上に配置されているため、瞳像も輪帯形状となる。ここでは、瞳像の撮像データIMD2を取り込み、その撮像データIMD2に基づいてCCD95aの受光面における瞳像の位置や大きさ、あるいは瞳像の強度分布などを検出し、その結果をメモリに記憶する。図16には、このときの瞳像の撮像データIMD2の一例が示されている。図16における画像では、所定の閾値よりも輝度の高い部分が白色で示され、輝度の低い部分が灰色で示されている。図16に示されるように、輝度の高い部分の形状が瞳像の形状であり、輪帯照明を採用した場合には、その形状が輪帯状となる。ここでは、CCD95a内における輝度の高い部分の位置情報が、記憶装置に格納される。また、記憶装置には、輝度の高い部分に関して、その輝度の分布状態も格納される。

[0114] 次のステップ194では、光学特性計測装置90における光学系ユニット93を回転させて、偏光検出系99を光軸AX1上に配置し、ステップ196で、照明光ILの偏光状態を計測する。

[0115] ここでは、照明光学系12の照明絞りとして輪帯照明絞り6Aが選択されており、その照明光ILは、光軸AXを中心とする円の円周方向をその偏光方向とする直線偏光となっているはずである。そこで、ここでは、上記ステップ192において計測した、瞳像の位置、大きさに基づいて、CCD95aの受光面の領域を、例えば図16の点線で示されるように分割し、分割された領域毎に、ストークスパラメータS1～S3の算出値に基づいて、偏光方向を計測する。

- [0116] そして、ステップ198では、照明光ILの偏光状態が、所望の状態(すなわち光軸AXを中心とする円の円周方向となる直線偏光)となっているか否かを判断し、判断が肯定された場合には、サブルーチン102の処理を終了し、判断が否定された場合には、ステップ200に進み、偏光制御ユニット2の波長板などの回転量を調整し、照明光ILの偏光状態を調整し、ステップ196に戻る。すなわち、ステップ198で、判断が肯定されるまで、ステップ196→ステップ198→ステップ200の処理、判断を繰り返す。
- [0117] ステップ198の判断が肯定された後は、サブルーチン102の処理を終了し、図9のステップ104に進む。
- [0118] ステップ104では、不図示のレチクルローダを介してレチクルステージRST上にロードされている計測用レチクルRTをアンロードするとともに、転写対象のパターンが形成されたレチクルRをレチクルステージRST上にロードする。
- [0119] 次のステップ106では、前述のレチクルアライメント系及び不図示の基準マーク板を用いたレチクルアライメント、アライメント検出系AS及び基準マーク板を用いたベースライン計測を、通常のスキャニング・ステップと同様の手順で行う。
- [0120] 次のステップ108では、不図示のウエハローダを介してウエハステージWST上のウエハ交換を行う(但し、ウエハステージWST上にウエハがロードされていない場合は、ウエハを単にロードする)。
- [0121] 次のステップ110では、ウエハWに対するアライメント(例えばEGA方式のウエハアライメントなど)を行う。このウエハアライメントの結果、ウエハW上の複数のショット領域の配列座標が精度良く求められる。
- [0122] 次のステップ112では、上記のウエハアライメントの結果に基づいて、ウエハW上の各ショット領域の露光のために走査開始位置(加速開始位置)にウエハステージWSTを移動させる動作と、レチクルステージRSTとウエハステージWSTとを同期してY軸方向に相対走査しつつレチクルRを照明光ILで照明してレチクルRのパターンをウエハW上のショット領域に転写する動作とを繰り返す、ステップ・アンド・スキャン方式の露光を行う。この露光においては、図8に示されるように照明光ILの偏光方向が規定された輪帯照明により、高解像度での露光が実現される。

- [0123] なお、上記の相対走査中、特に走査露光中には、レチクル干渉計16によって検出されるレチクルステージRSTのXY位置の情報、ウエハ干渉計18によって検出されるウエハステージWSTの位置情報、及び多点フォーカス位置検出系(21, 22)によって検出されるウエハWのZ位置及びレベリング情報などに基づいて、レチクルステージRSTとウエハステージWSTとの位置関係が適切に保たれるよう、レチクルステージRST及びウエハステージWSTの位置制御が行われる。
- [0124] 次のステップ114では、予定枚数(例えば1ロット)のウエハに対する露光が終了したか否かを判断し、この判断が否定されると、ステップ108に戻り、以後、ステップ114における判断が肯定されるまで、ステップ108→ステップ110→ステップ112→ステップ114のループの処理・判断を繰り返し行い、各ウエハに対する露光を行う。
- [0125] そして、予定枚数のウエハに対する露光が終了すると、ステップ114における判断が肯定され、本ルーチンの一連の処理を終了する。
- [0126] なお、本実施形態では、輪帯照明絞り6Aを照明光ILの光路上に配置して、輪帯照明により露光を行う場合について説明したが、露光装置100においては、4極照明絞り6Bや、2極照明絞り6Cを照明光ILの光路上に配置することにより、4極照明や、2極照明を行うことも可能である。これらの場合には、上記ステップ186(図12参照)の照明条件の設定では、4極照明絞り6B(又は2極照明絞り6C)、偏光変換部材3B(又は開口部材3C)を配置し、上記ステップ196(図12参照)における偏光状態の計測では、上記ステップ192において計測される瞳像の形状に応じて、偏光状態を計測する領域の設定を変更する必要がある。例えば、4極照明絞り6Bを採用する場合には、上記ステップ196(図12参照)においては、その偏光状態が、図4(B)に示されているようになっているかどうかを計測するが、この場合には、上記ステップ192において計測される4極照明絞り(4つ目)の瞳像の形状及び位置から、CCD95a上の受光面の領域を、図4(B)の偏光変換部材3Ba~3Bdに対応するCCD95a上の領域を抽出し、抽出された領域での計測結果によって、それぞれの偏光状態を計測しなければならない。
- [0127] また、上記ステップ184(図12参照)の波面収差の調整は、露光に適用される照明条件に基づいて行われるので、照明系開口絞りとして、上記4極重照明絞り6B又は2

極照明絞り6Cなどを選択した場合には、その選択された絞りに応じて波面を調整することになる。

- [0128] 以上詳細に説明したように、本実施形態によれば、照明光ILの偏光状態及び投影光学系PLの波面収差などを計測可能な状態に、照明光学系12及び投影光学系PLを介した照明光ILを変換するマイクロレンズアレイ98や偏光検出系99などを含む複数の光学系を有する光学系ユニット93を備えており、照明光ILの光路上に配置する光学系を切り換えて、光学系ユニット93を介した照明光ILを受光器95で受光していくことにより、CCD95aでの受光結果から、照明光ILの偏光状態及び投影光学系PLの波面収差を含む様々な光学特性を計測することが可能となる。
- [0129] また、本実施形態では、照明光ILの偏光状態及び投影光学系PLの波面収差を含む様々な光学特性を計測するための受光器95を共通化することができるので、光学特性計測装置90の構成を小型化、軽量化することができる。
- [0130] また、本実施形態では、光学特性計測装置90を用いることにより、露光装置100のパターン像面上における照明光ILの偏光状態を計測することができるので、解像度を向上させるべく偏光照明を行う場合に、照明光ILの偏光状態が所望の状態であるか否かを確認することができ、高精度な露光を確実に行うことができるようになる。
- [0131] また、本実施形態では、投影光学系PLの瞳面内の複数の異なる領域と、共役なCD95の受光面内の領域から得られた受光結果に基づいて、その領域の照明光ILの偏光状態を計測する。このようにすれば、偏光照明のように、投影光学系PLの瞳面の異なる領域で、照明光ILの偏光方向が異なる場合でも、それぞれの領域で、偏光方向を確実に計測することが可能となる。
- [0132] また、本実施形態では、光学特性計測装置90の光学系ユニット93における偏光検出系99が、照明光ILの光軸を中心に互いに相対的に回転する偏光ビームスプリッタ99Bと、1/4波長板99Aとを備えている。このようにすれば、偏光検出系99を通過する照明光ILの光量は、両者の相対回転量が増減するに従って、その偏光状態に応じて変化する。そのため、この相対回転量を変化させつつ、偏光検出系99を通過する照明光ILの光量を計測すれば、照明光ILの偏光状態を計測することが可能となる。

- [0133] また、本実施形態によれば、上記ステップ142において、照明光ILの偏光状態を計測し、ステップ146において、その計測の結果に基づいて照明光ILの偏光状態を調整した後に、ステップ174において、照明光ILの偏光状態に応じて変化する照明光ILの波面を計測する。このようにすれば、照明光ILの波面が、その偏光状態に依存するものであっても、偏光状態の調整後に波面を精度良く計測することができる。このように、本実施形態によれば、照明光ILの偏光状態に応じた偏光別波面を計測する。このようにすれば、照明光ILの偏光状態に応じて波面を調整することができるので結果的に、高精度な露光を実現することができる。
- [0134] なお、上記実施形態では、光学特性計測装置90の光学系ユニット93には、開口部97、マイクロレンズアレイ98、偏光検出系99を備えたが、他の光学系を光学系ユニット93に設けるようにしても良い。
- [0135] また、光学特性計測装置90を用いれば、投影光学系PLの開口数NAを計測することも可能である。照明光学系12内における照明光ILの光路上に、拡散板を設置して、通過する光束の径の大きさを投影光学系PLの開口数よりも大きくし、光学特性計測装置90の開口部97を光軸AX1上に配置すれば、CCD95aには、投影光学系PLの瞳を通過した光束が到達するようになる。したがって、このCCD95aの撮像結果から投影光学系PLの瞳の大きさを算出することができるようになり、投影光学系PLの開口数を算出することが可能となる。
- [0136] このように、投影光学系PLの開口数を算出することができれば、上記拡散板をはずした場合の瞳像(光源像)の計測結果より、照明光学系12のコヒーレンスファクタ(いわゆる照明 σ)を求めることも可能である。
- [0137] また、上記実施形態では、光学系ユニット93のマイクロレンズアレイ98と偏光検出系99とを切り換えてコリメータ光学系92を介した光の光路上(光軸AX1に対応する位置)に、選択的に配置する場合について説明したが、本発明がこれに限定されるものでない。例えば、図17示されるような構成の光学特性計測装置を採用しても良い。この図17の光学特性計測装置は、筐体90Aの上壁の一部を構成する前述の標示板91、該標示板91の下方で光軸AX1に沿って順次配置されたコリメータ光学系92、ビームスプリッタBS、マイクロレンズアレイ98及び受光素子95'、並びにビームスプ

リッタBSで分岐された分岐光路(反射光路)上に配置された折り曲げミラーMM、該折り曲げミラーMMと受光素子95'との間に配置された偏光検出系99等を備えている。

[0138] ここで、受光素子95'としては、前述の受光素子95と同様の構成ではあるが受光面積の大きな受光素子が用いられている。この図17の光学特性計測装置によると、前述の計測用レチクルRTのピンホールパターンPHから球面波となって射出される光(照明光IL)が、投影光学系PLを介した後、光学特性計測装置の標示板91の開口91aに集光される。そして、その開口91aを通過した光(標示板91表面の開口91aの内部に結像されたピンホールパターンPHの像光束)は、コリメータ光学系92により平行光に変換され、ビームスプリッタBSに入射する。そして、このビームスプリッタBSで分岐された一方の光(ビームスプリッタBSを透過した光)は、マイクロレンズアレイ98に入射する。これにより、マイクロレンズアレイ98の各マイクロレンズによって、上記ピンホールパターンPHの像が、標示板91の光学的な共役面すなわち受光素子95'の撮像面(受光面)にそれぞれ結像される。

[0139] 一方、ビームスプリッタBSで分岐された他方の光(ビームスプリッタBSで反射された光)は、折り曲げミラーMMで反射され、鉛直下方に光路が折り曲げられて偏光検出系99を介して受光素子95'で受光される。

[0140] 従って、この図17に示される光学特性計測装置によると、前述した実施形態で説明した投影光学系PLの波面収差計測と、照明光ILの偏光状態の計測とを並行して行うことが可能である。

[0141] なお、図17では、受光面積の大きな受光素子95'を用いるものとしたが、マイクロレンズアレイ98、偏光検出系99のそれぞれに対応して受光素子95と同様の受光素子を設けても良いし、マイクロレンズアレイ98の下方位置と偏光検出系99下方位置とで1つの受光素子を切り換え可能に構成しても良い。

[0142] なお、近年においては、デバイスに形成するパターンの微細化に伴い、露光装置の解像度の向上が図られている。解像度向上のためには、露光光(上記実施形態では照明光IL)の短波長化を図り、投影光学系の開口数(NA)を大きくすればよい。そこで、露光装置が備える投影光学系と基板(上記実施形態ではウエハW)との間に気

体よりも屈折率の高い液体を充満させて投影光学系の開口数を実質的に大きくして解像度を向上させる液浸式の露光装置が提案されている。

- [0143] この液浸式の露光装置に、上記実施形態の光学特性計測装置90と同等の計測装置を適用する場合について説明する。
- [0144] 液浸式の露光装置で光学特性計測装置90と同等の計測装置(光学特性計測装置90'とする)では、図18に示されるように、標示板91'を平凸レンズで構成すればよい。この標示板91'は、投影光学系PL側に対向する平坦部(平坦面)91bと、コリメータ光学系92側に対向し、所定の曲率を有する曲面部91cを備える。標示板91'は、石英あるいは蛍石など照明光を透過する硝材で形成される。
- [0145] 標示板91'の平坦部91bの表面には、前述したように、遮光膜が形成されており、その遮光膜の中央部に、円形の開口91a'が形成されている。さらに、液体wが光学特性計測装置90'内に浸入しないように、標示板91'と光学特性計測装置90'の筐体90aとの間には、シール材90b等によって防水(防液)対策が施されている。また、標示板91'の開口91a'及びその周囲の領域には、その表面に撥液膜(撥水コート)が形成されている。
- [0146] 液体wが投影光学系PLと標示板91'の上面との間に供給されている状態においては、投影光学系PLに入射した露光光は、投影光学系PLの先端部において全反射されずに投影光学系PLを通過して液体wに入射する。図18に示されるように、液体wに入射した露光光は、開口91a'に入射した露光光のみが標示板91'内に入射する。ここで、標示板91'を構成する平凸レンズの屈折率は、液体wの屈折率と同程度又は液体wの屈折率よりも高いため、開口91a'に入射する露光光の入射角が大きくても、開口91a'に入射した露光光は、平坦部91bで反射することなく標示板91'内に入射する。また、標示板91'内に入射した露光光は、曲面部91cによって屈折された後、コリメータ光学系92に射出される。このように、投影光学系PLと標示板91'との間に気体よりも屈折率の高い液体を充満させて投影光学系の開口数を大きくしたとしても、平凸レンズで構成された標示板91'を介してコリメータ光学系92に導くことが可能になる。
- [0147] また、上記実施形態では、投影光学系PLの波面収差の計測に際し、レチクルステ

ージRST上に計測用レチクルRTをロードするものとしたが、計測用レチクルRTと同様のピンホールパターンが形成されたパターン板をレチクルステージRSTに常設しておき、このパターン板を投影光学系PLの視野に対して位置合わせして、投影光学系PLの波面収差の計測を行うようにしても良い。

[0148] また、上記実施形態では、1ロットのウエハWを露光する前に行われる光学特性の計測に光学特性計測装置90を用いる場合について説明したが、この光学特性計測装置90は、露光装置が組み立てられた後の定期メンテナンス時、露光装置の製造における投影光学系PLの調整時に用いることができるのは勿論である。なお、露光装置の製造時における投影光学系PLの調整にあたっては、上記の実施形態において行われる投影光学系PLを構成する一部のレンズエレメントの位置調整に加えて、他のレンズエレメントの位置調整、レンズエレメントの再加工、レンズエレメントの交換等を行うことが可能である。

[0149] また、上記実施形態では、光学特性計測装置90内部のコリメータ光学系92などの受光光学系の収差は、無視できる程小さいものとしたが、さらに高い精度の波面収差計測を行う場合などには、波面収差を算出するまでのいずれかの時点で、受光光学系単独の波面収差を計測しておいても良い。かかる受光光学系単独の波面収差の計測は、投影光学系PLを介した照明光ILの照射により球面波を発生する程度の大きさのピンホールパターンが形成されたパターン板を、標示板91の近傍に設け、このパターン板のピンホールパターンで開口91aを更に制限した状態で、投影光学系PLから射出される照明光ILをパターン板に照射して、上述と同様の波面収差の計測を行うことで実現できる。そして、投影光学系PLの波面収差の算出の際に、上記の受光光学系単独の波面収差を補正值として用いることとしても良い。

[0150] また、同様に、波面収差を精度良く求めるために、波面収差を算出するまでのいずれかの時点で、CCD95aの暗電流を計測しておき、各画素の値(輝度値)を求める際に、この暗電流に起因するオフセットを補正しても良い。かかるオフセット補正は、前述した瞳像計測などの場合に行うと良い。

[0151] また、上記実施形態では、2極照明を行う際に、開口部材3Cを、照明光ILの光路上に配置したが、この開口部材3Cとして、照明光ILの偏光方向をH偏光に変換する

部材を設けるようにしてもよい。照明用開口絞りとして、輪帯照明絞り6A、4極照明絞り6B、2極照明絞り6C、通常照明絞り6D等を備えた露光装置について述べたが、他の照明絞りを備えていても良いことが勿論である。また、照明光ILの σ 値を0.4以下程度とする例えば小 σ 照明を可能としてもよい。

[0152] また、上記実施形態では、光学特性計測装置90がウエハステージWSTに常設され固定されている場合について説明したが、これに限らず、光学特性計測装置90はウエハステージWSTに着脱可能となっても良い。また、ウエハステージとは異なる別のステージを設け、この別のステージに光学特性計測装置90と同様の光学特性計測装置を配置しても良い。

[0153] また、上記実施形態では、オプティカルインテグレータとしてフライアイレンズ5が用いられるとしたが、その代わりに、マイクロフライアイレンズが用いられてもよい。この場合には、フライアイレンズ5を用いられたときよりも光源像の強度分布がより均一となるので、光源像に対応する各画素の抽出がより容易となる。また、オプティカルインテグレータとして内面反射型インテグレータ(ロッドインテグレータ等)を用いることもできるが、この場合には、光源像としてその虚像を検出することになる。

[0154] また、上記実施形態の露光装置の光源1としては、F₂レーザー光源、ArFエキシマレーザー光源、KrFエキシマレーザー光源などの紫外パルス光源に限らず、g線(波長436nm)、i線(波長365nm)などの輝線を発する超高圧水銀ランプを用いることも可能である。また、DFB半導体レーザー又はファイバーレーザーから発振される赤外域、又は可視域の単一波長レーザー光を、例えばエルビウム(又はエルビウムとイッテルビウムの両方)がドーパされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いても良い。また、投影光学系の倍率は縮小系のみならず等倍および拡大系のいずれでも良い。

[0155] また、上記実施形態では、走査型露光装置の場合を説明したが、本発明は、投影光学系を備える露光装置であれば、ステップ・アンド・リピート機、ステップ・アンド・スキャン機、ステップ・アンド・スティッチング機を問わず適用することができる。

[0156] 露光装置の用途としては半導体製造用の露光装置に限定されることなく、例えば、角型のガラスプレートに液晶標示素子パターンを転写する液晶用の露光装置や、有

機EL、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシーン及びDNAチップなどを製造するための露光装置にも広く適用できる。また、半導体素子などのマイクロデバイスだけでなく、光露光装置、EUV露光装置、X線露光装置、及び電子線露光装置などで使用されるレチクル又はマスクを製造するために、ガラス基板又はシリコンウエハなどに回路パターンを転写する露光装置にも本発明を適用できる。

- [0157] 半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、この設計ステップに基づいたレチクルを製作するステップ、シリコン材料からウエハを製作するステップ、前述した実施形態の露光装置によりレチクルのパターンをウエハに転写するステップ、デバイス組み立てステップ(ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む)、検査ステップ等を経て製造される。

産業上の利用可能性

- [0158] 以上説明したように、本発明の光学特性計測装置及び光学特性計測方法は、被検光学系の光学特性の計測に適しており、本発明の露光装置及び露光方法は、半導体素子、液晶表示素子等を製造するためのリソグラフィ工程に適している。また、本発明のデバイス製造方法は、電子デバイスの製造に適している。

請求の範囲

- [1] 被検光学系の光学特性を計測する光学特性計測装置であって、
前記被検光学系を介した光が入射する入射光学系と；
前記被検光学系の光学特性のうち、第1の光学特性を計測するために、前記入射光学系に入射した前記光を第1計測光に変換する第1の光学系と、前記被検光学系の光学特性のうち、第2の光学特性を計測するために、前記入射光学系に入射した前記光を第2計測光に変換する第2の光学系とを有する光学ユニットと；
前記第1計測光及び前記第2計測光の少なくとも一方を受光する受光器と；を備える光学特性計測装置。
- [2] 請求項1に記載の光学特性計測装置において、
前記被検光学系を介した光の光路上に、前記第1の光学系及び前記第2の光学系のいずれかを択一的に配置する配置装置をさらに備える光学特性計測装置。
- [3] 請求項2に記載の光学特性計測装置において、
前記受光器は、前記配置装置によって、前記被検光学系を介した光の光路上に前記第1の光学系が配置された際には、前記第1計測光を受光し、前記配置装置によって、前記被検光学系を介した光の光路上に前記第2の光学系が配置された際には、前記第2計測光を受光することを特徴とする光学特性計測装置。
- [4] 請求項3に記載の光学特性計測装置において、
前記受光器の受光結果に基づいて、前記被検光学系の第1の光学特性に関する情報及び前記被検光学系の第2の光学特性に関する情報のいずれかを算出する算出装置をさらに備える光学特性計測装置。
- [5] 請求項4に記載の光学特性計測装置において、
前記算出装置は、
前記第1の光学系が前記光路上に配置されている状態では、前記受光器の受光結果に基づいて、前記被検光学系の第1の光学特性を算出し、
前記第2の光学系が前記光路上に配置されている状態では、前記受光器の受光結果に基づいて、前記被検光学系の第2の光学特性を算出することを特徴とする光学特性計測装置。

- [6] 請求項1に記載の光学特性計測装置において、
前記入射光学系に入射した光を前記第1の光学系に導くと共に、前記第2の光学系に導く光学系をさらに備えることを特徴とする光学特性計測装置。
- [7] 請求項6に記載の光学特性計測装置において、
前記受光器は、前記第1計測光を受光する第1の受光領域と、前記第2計測光を受光する第2の受光領域とを有することを特徴とする光学特性計測装置。
- [8] 請求項1に記載の光学特性計測装置において、
前記第1の光学特性は、前記被検光学系を介した光の偏光状態であり、
前記第1の光学系は、前記被検光学系を介した光に含まれる任意の方向の偏光を抽出可能な光学系であることを特徴とする光学特性計測装置。
- [9] 請求項8に記載の光学特性計測装置において、
前記算出装置は、
前記被検光学系の瞳面内の複数の異なる領域と共役な前記受光器の受光面内の領域から得られた受光結果から、その領域の前記光の偏光状態を計測することを特徴とする光学特性計測装置。
- [10] 請求項9に記載の光学特性計測装置において、
前記第1の光学系は、
前記被検光学系を介した光の光軸を中心に互いに相対的に回転する偏光ビームスプリッタ及び1/4波長板を含むことを特徴とする光学特性計測装置。
- [11] 請求項1に記載の光学特性計測装置において、
前記第2の光学特性は、前記被検光学系の波面収差であり、
前記第2の光学系は、前記被検光学系を介した光を波面分割する波面分割光学素子を含むことを特徴とする光学特性計測装置。
- [12] 請求項11に記載の光学特性計測装置において、
前記第2の光学系は、
前記被検光学系の瞳面と共役な面の近傍に配置されていることを特徴とする光学特性計測装置。
- [13] 請求項12に記載の光学特性計測装置において、

- 前記光学ユニットは、
前記被検光学系を介した光を透過させる透過部をさらに備え、
前記算出装置は、
前記透過部が前記光路上に配置されている状態では、前記受光器の受光結果に基づいて、前記被検光学系の光学特性のうち、第3の光学特性を算出することを特徴とする光学特性計測装置。
- [14] 請求項13に記載の光学特性計測装置において、
前記第3の光学特性は、
前記被検光学系の瞳面に関する情報及び瞳面の共役面に関する情報の少なくとも一方であることを特徴とする光学特性計測装置。
- [15] 請求項14に記載の光学特性計測装置において、
前記第3の光学特性は、
前記被検光学系の開口数、瞳像の形状、該瞳像の位置情報及び該瞳像の強度分布のいずれかであることを特徴とする光学特性計測装置。
- [16] 被検光学系の光学特性を計測する光学特性計測装置であって、
前記被検光学系を介した光の偏光状態を計測する偏光計測器と；
前記被検光学系の光学特性のうち、少なくとも1つの光学特性を計測する光学特性計測器と；を備える光学特性計測装置。
- [17] 請求項16に記載の光学特性計測装置において、
前記被検光学系の光学特性のうち、少なくとも1つの光学特性は、前記被検光学系の波面収差であることを特徴とする光学特性計測装置。
- [18] 請求項17に記載の光学特性計測装置において、
前記被検光学系を介した光が入射する入射光学系を有し、
前記偏光計測器は、前記入射光学系に入射した前記光を第1計測光に変換する第1の光学系と、前記第1計測光を受光する受光器とを有することを特徴とする光学特性計測装置。
- [19] 請求項18に記載の光学特性計測装置において、
前記光学特性計測器は、前記入射光学系に入射した前記光を第2計測光に変換

する第2の光学系と、前記第2計測光を受光する受光器とを有することを特徴とする光学特性計測装置。

- [20] 所定のパターンの像を感光物体上に投影する露光装置であって、
前記所定のパターンを照明光で照明する照明光学系と；
前記所定のパターンを介した前記照明光を前記感光物体上に投射する投影光学系と；
請求項1～19のいずれか一項に記載の光学特性計測装置を備えるステージと；
前記光学特性計測装置の計測結果に基づいて、前記照明光学系及び前記投影光学系の少なくとも一方の光学特性を調整する調整機構と；を備える露光装置。
- [21] 請求項20に記載の露光装置において、
前記ステージは、前記感光物体を保持する物体ステージであることを特徴とする露光装置。
- [22] 被検光学系の光学特性を計測する光学特性計測方法であって、
前記被検光学系の光学特性のうち、第1の光学特性を計測する第1工程と；
前記計測の結果に基づいて、前記被検光学系の第1の光学特性を調整する第2工程と；
前記被検光学系の前記第1の光学特性を調整した後に、前記被検光学系の光学特性のうち、第2の光学特性を計測する第3工程と；を含む光学特性計測方法。
- [23] 請求項22に記載の光学特性計測方法において、
前記計測の結果に基づいて、前記被検光学系の第2の光学特性を調整する第4工程をさらに含む光学特性計測方法。
- [24] 請求項23に記載の光学特性計測方法において、
前記第1の光学特性を、前記被検光学系の瞳面内の異なる領域で異ならしめる場合には、
前記異なる領域とそれぞれ共役となる領域に受光器の受光面を配置し、前記受光器から得られた受光結果に基づいて、領域毎の第1の光学特性を計測する第5工程をさらに含む光学特性計測方法。
- [25] 所定のパターンを照明光で照明する照明光学系と、前記所定のパターンを介した

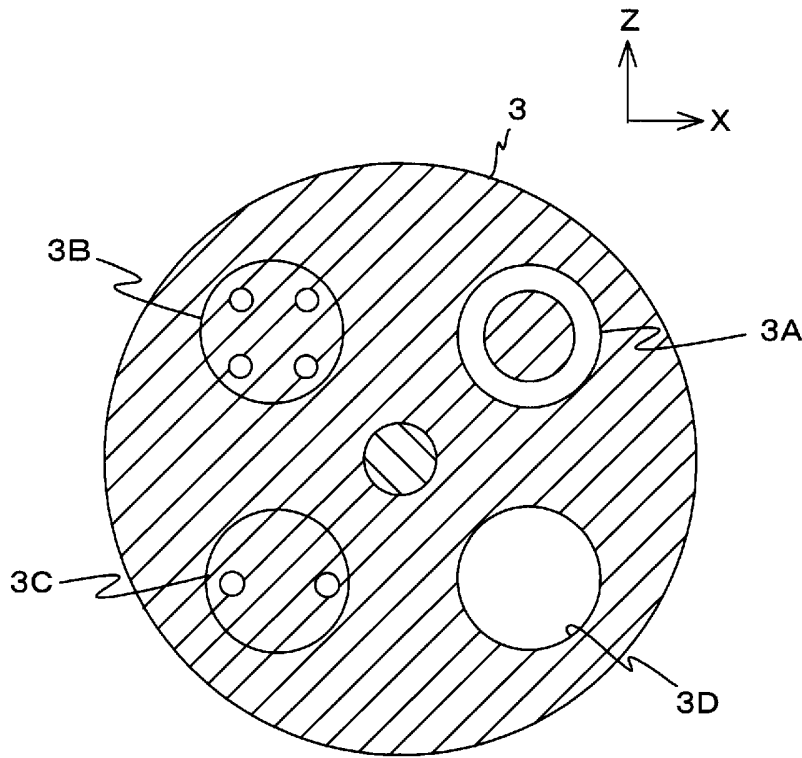
前記照明光を感光物体上に投射する投影光学系との少なくとも一方を被検光学系とし、請求項22～24のいずれか一項に記載の光学特性計測方法を用いて、前記照明光学系及び前記投影光学系の少なくとも一方の光学特性を計測する計測工程と；

前記計測の結果を用いて、前記照明光学系及び前記投影光学系の少なくとも一方の光学特性を調整する調整工程と；

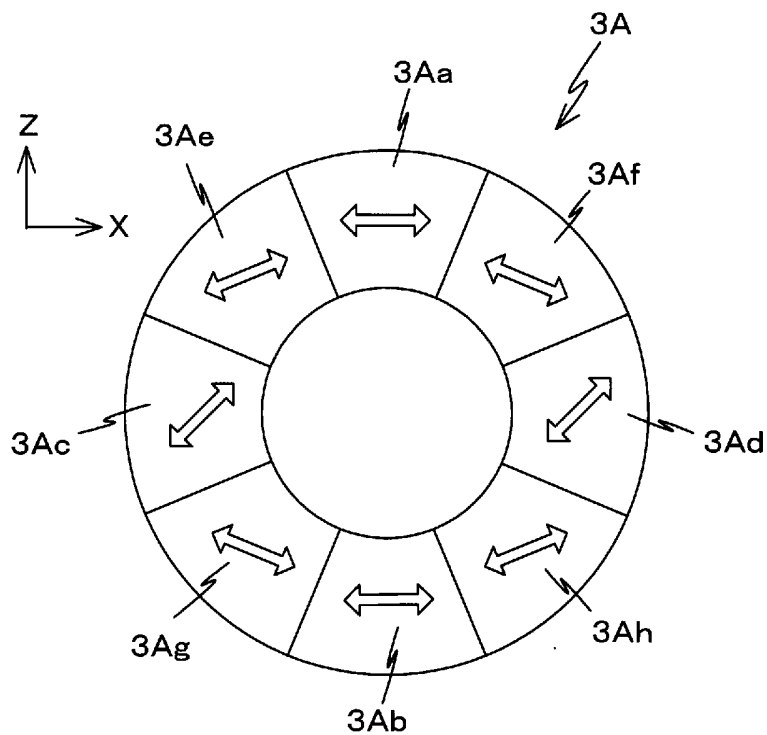
前記調整後に、前記所定のパターンの像で前記感光物体上を露光する露光工程と；を含む露光方法。

- [26] 請求項25に記載の露光方法により、感光物体上にパターンを形成するリソグラフィ工程を含むデバイス製造方法。

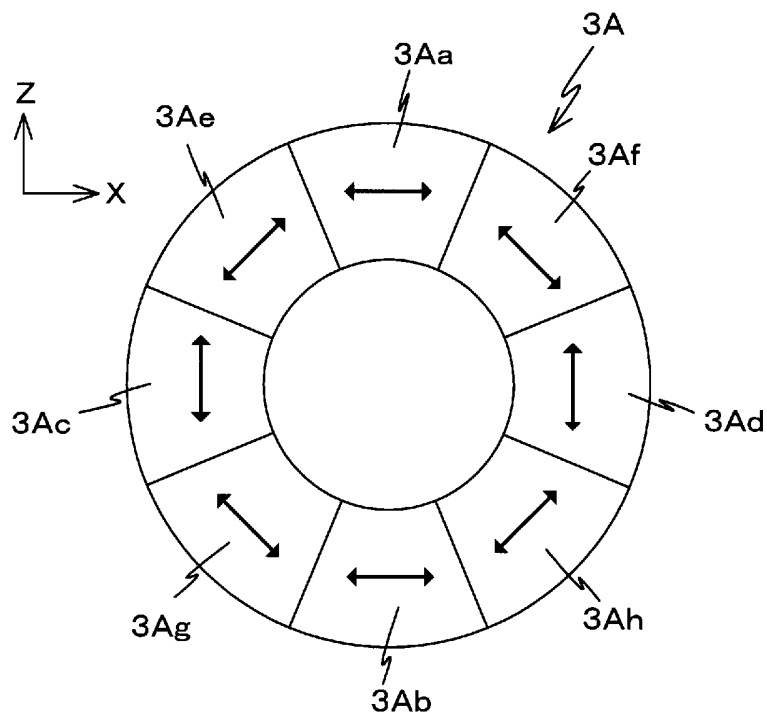
[図2]



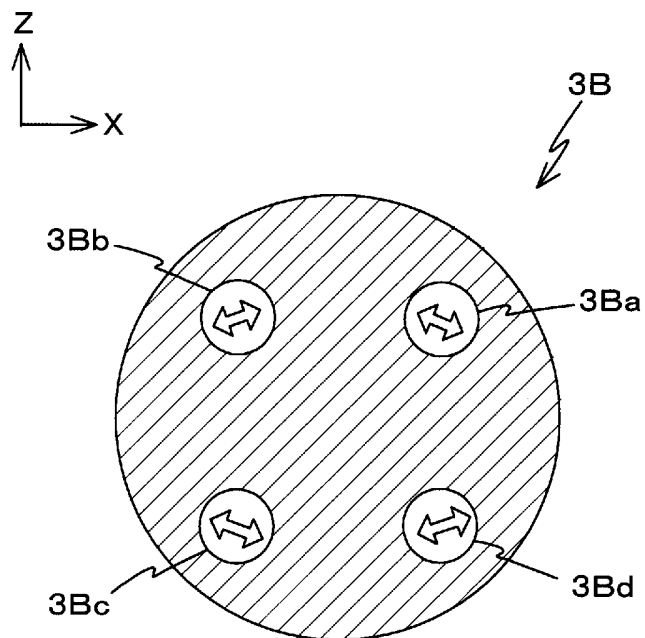
[図3(A)]



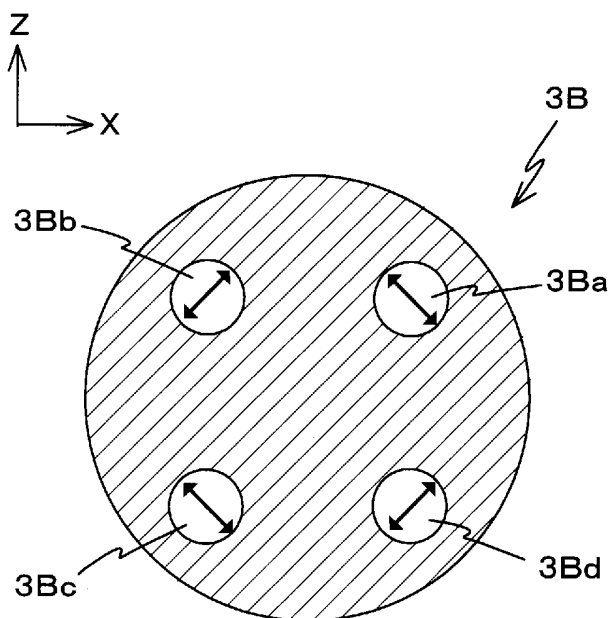
[図3(B)]



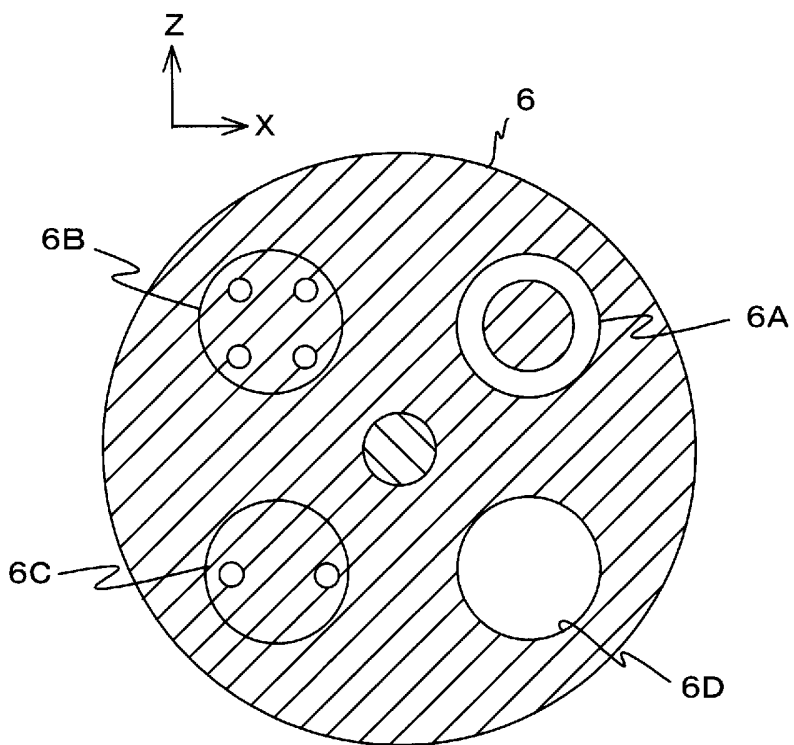
[図4(A)]



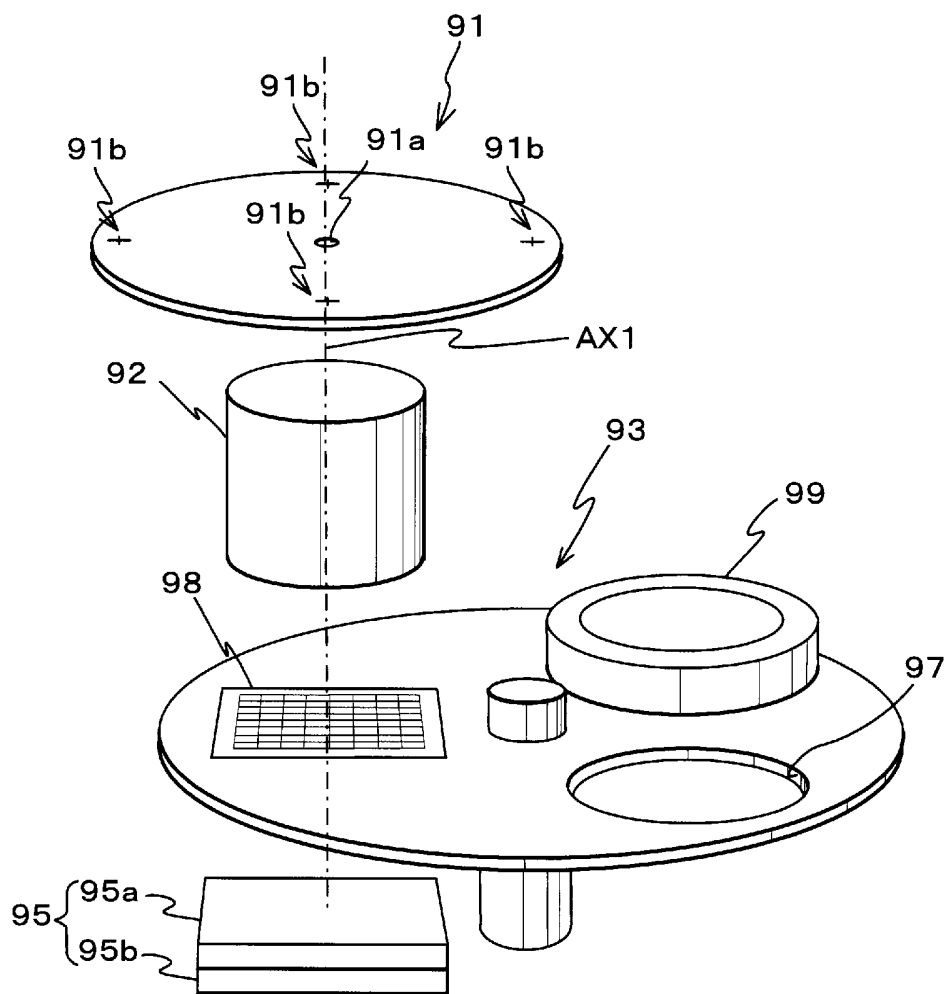
[図4(B)]



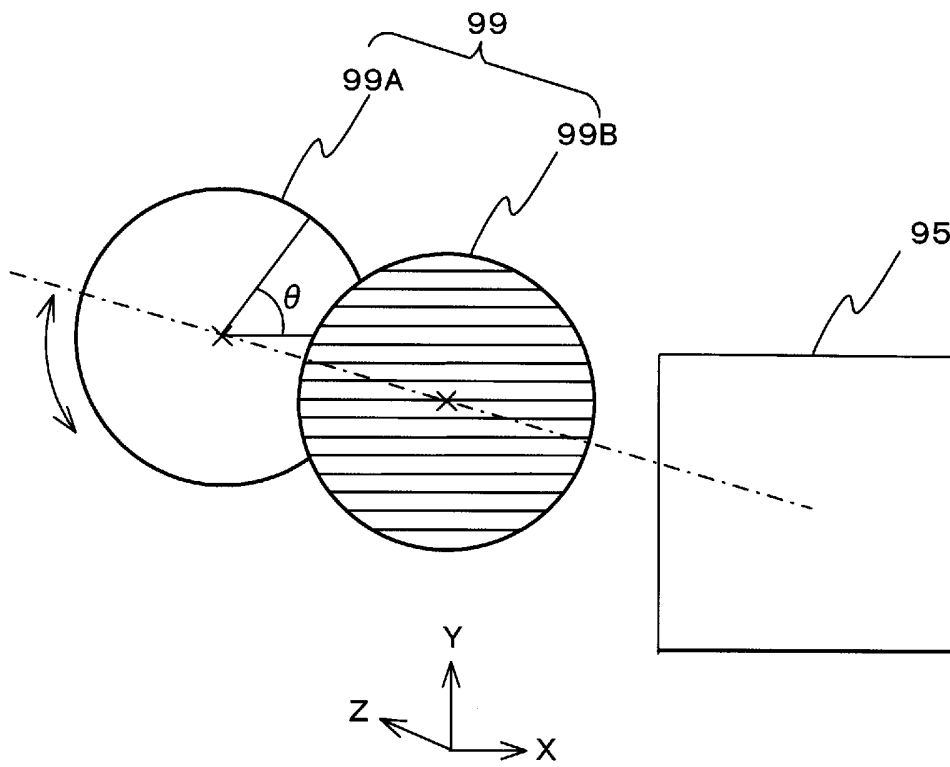
[図5]



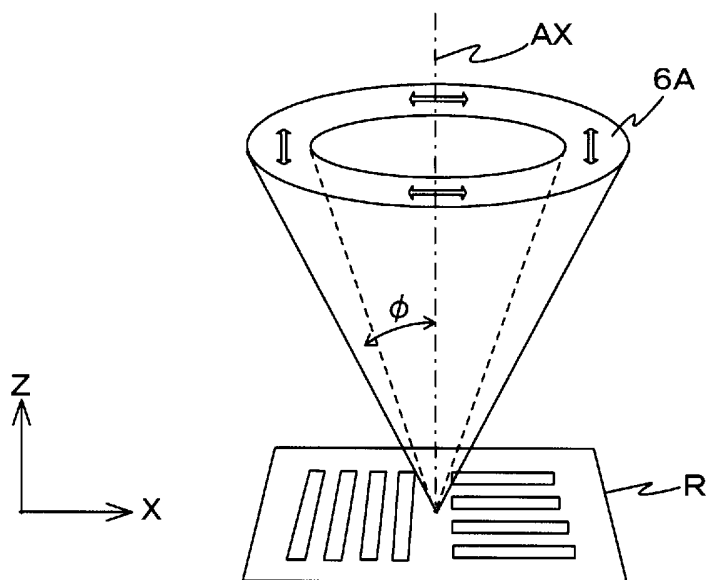
[図6]



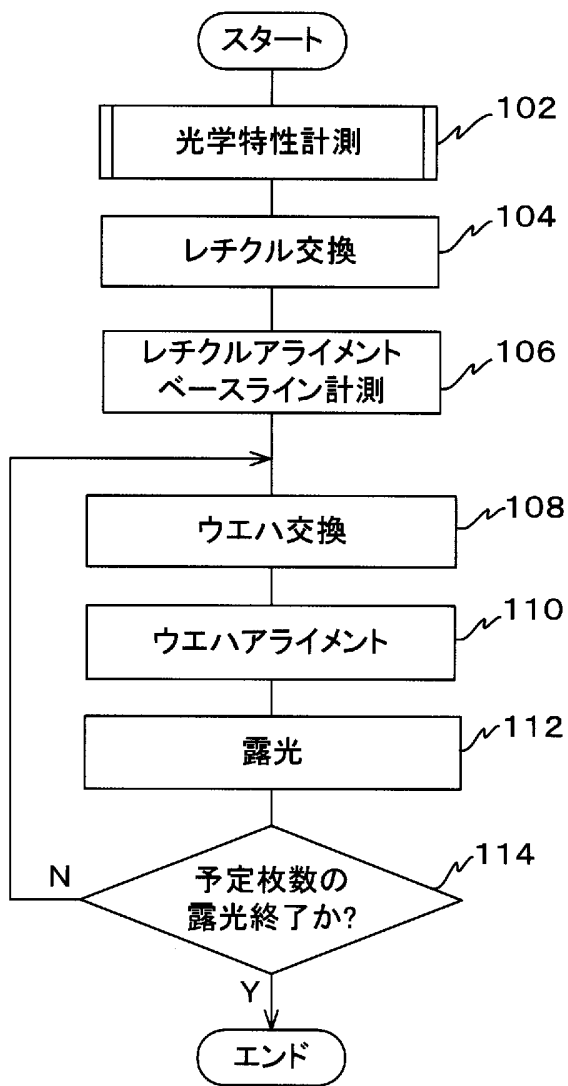
[図7]



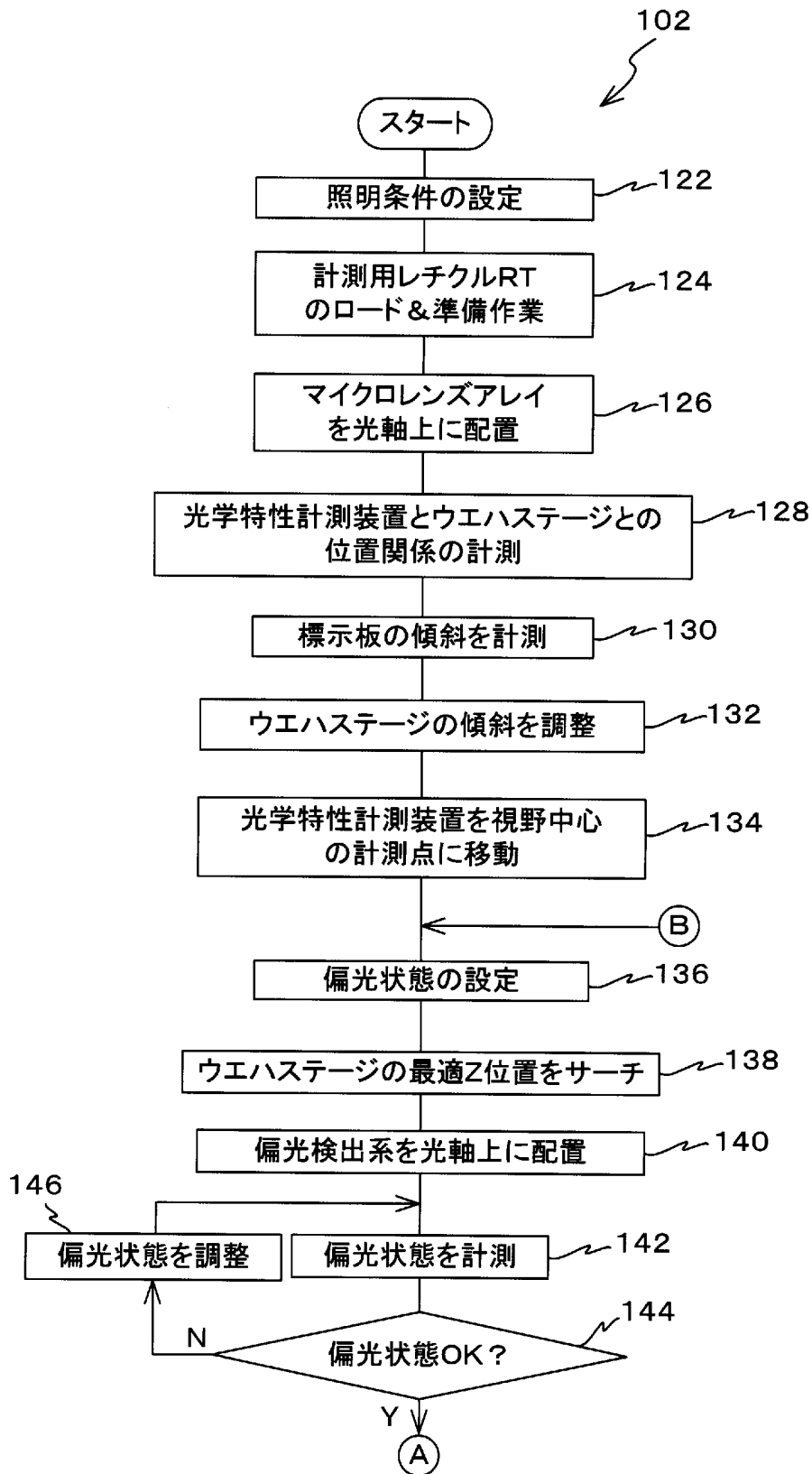
[図8]



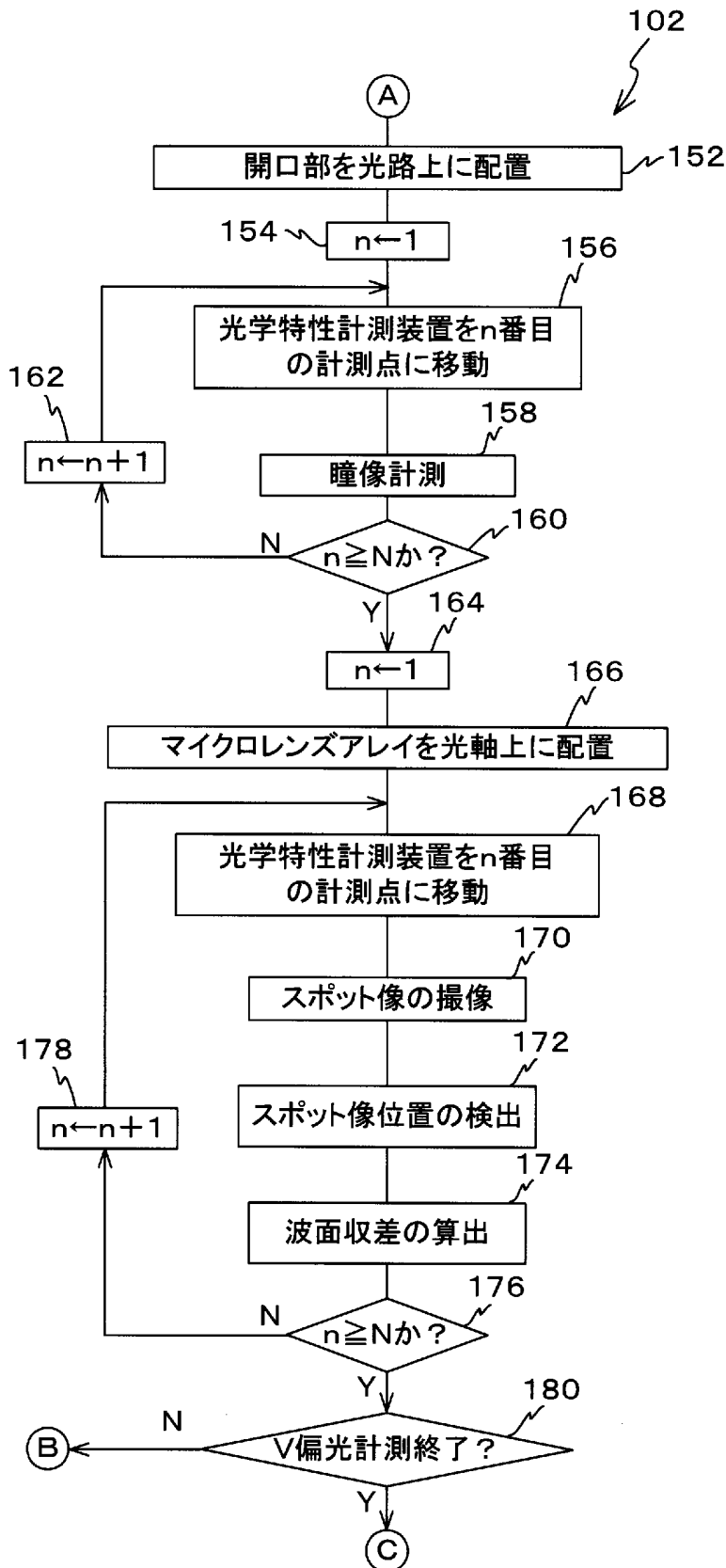
[図9]



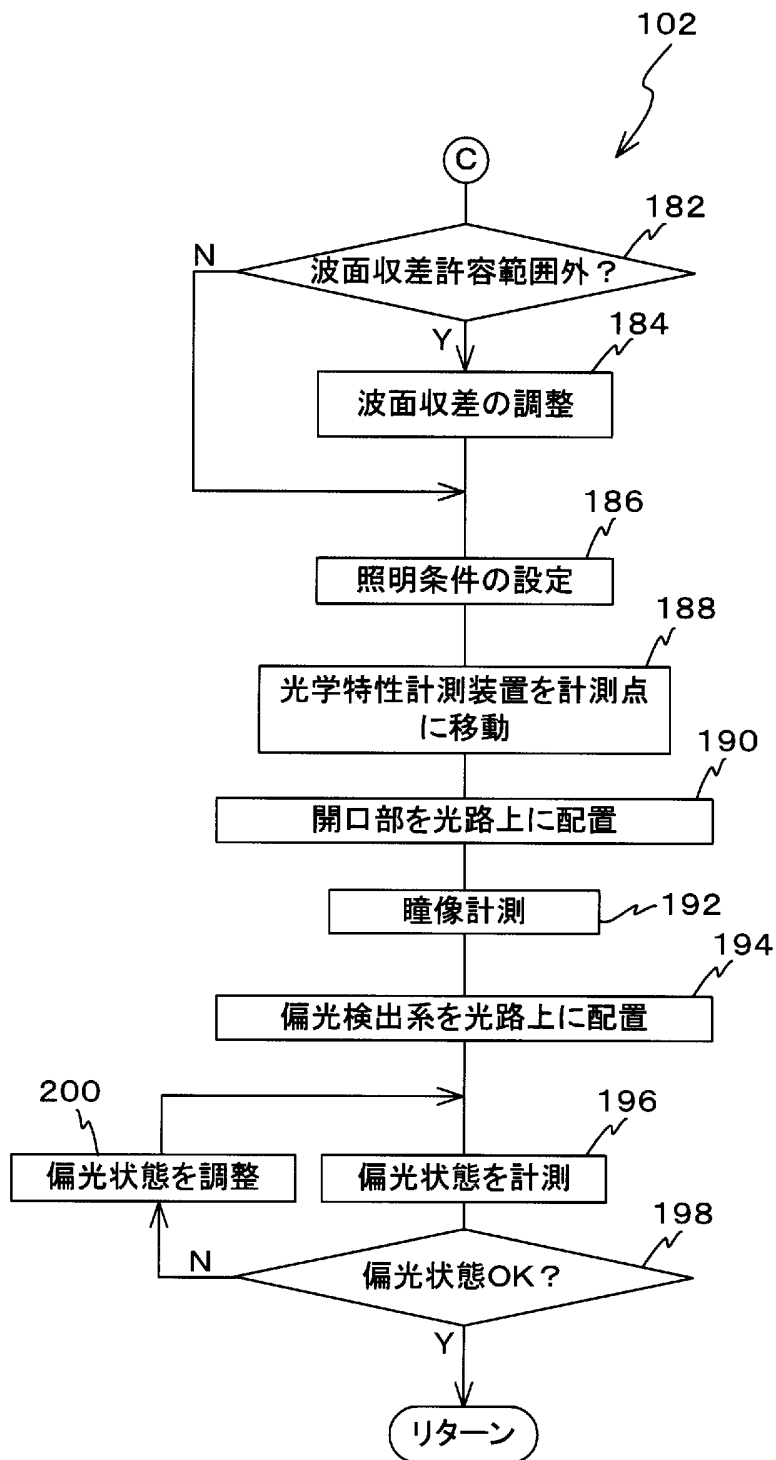
[図10]



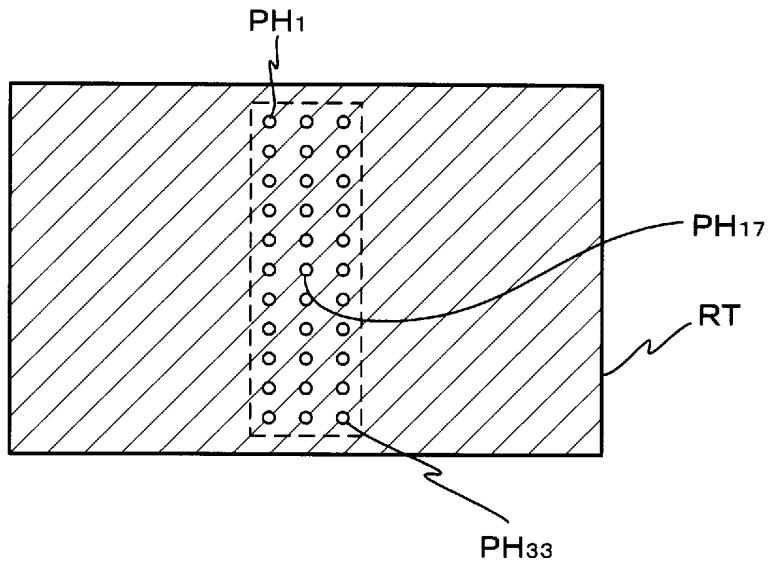
[図11]



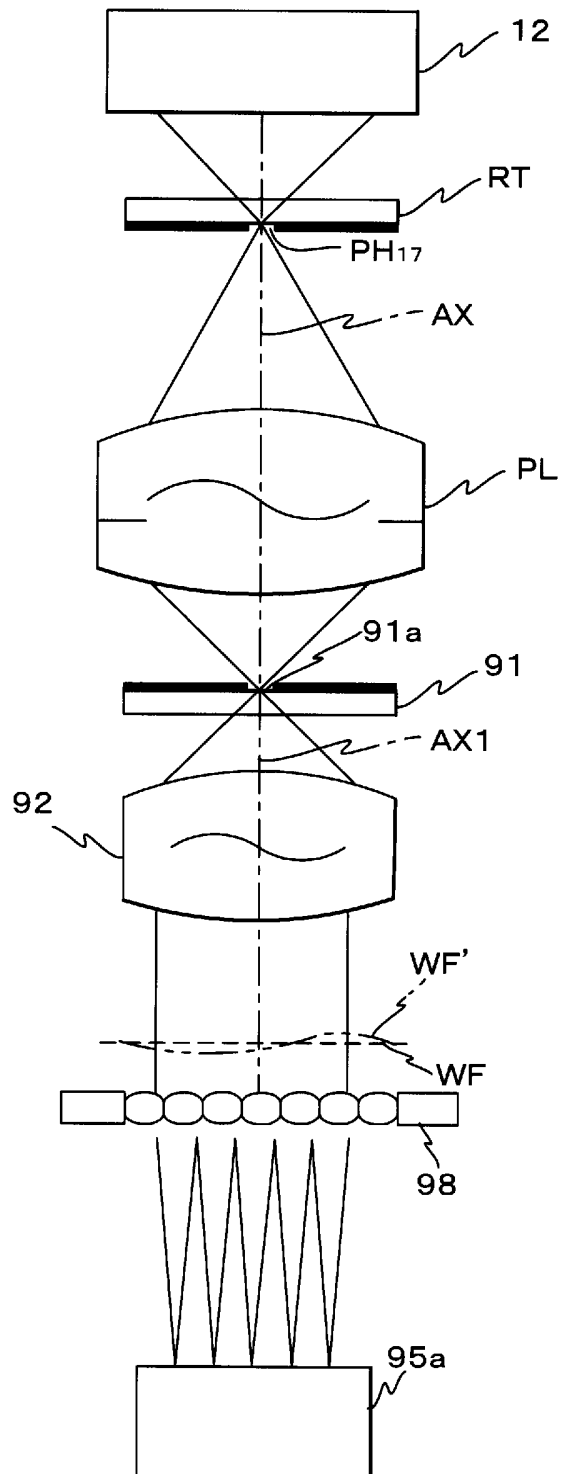
[図12]



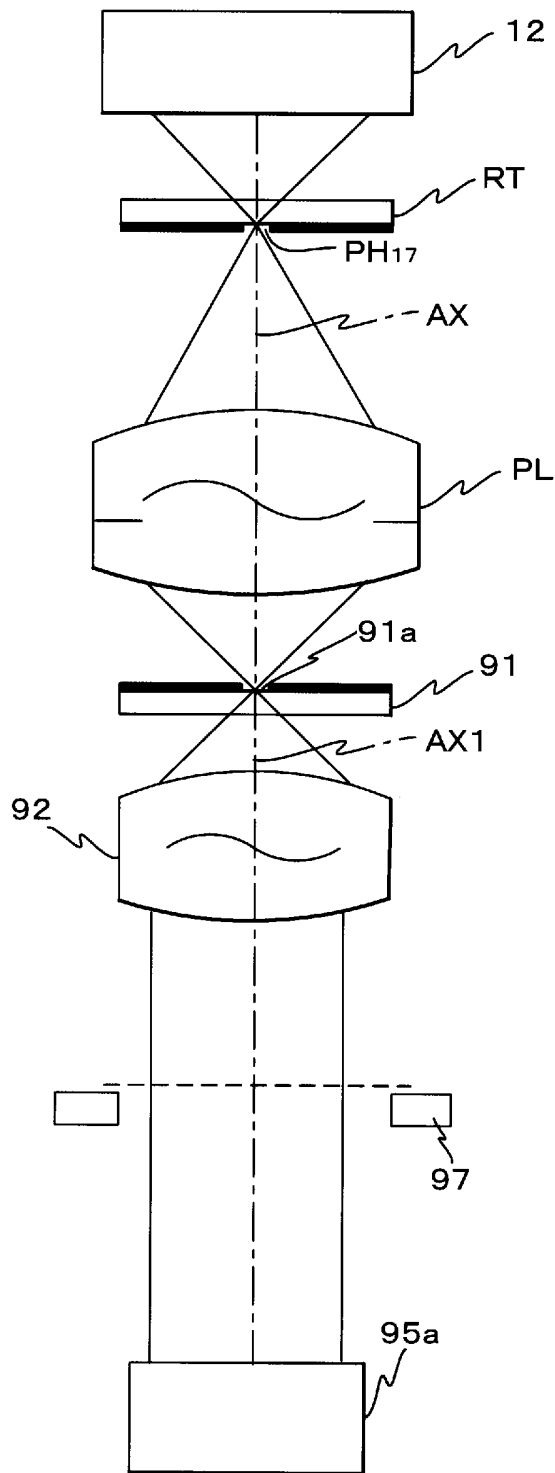
[図13]



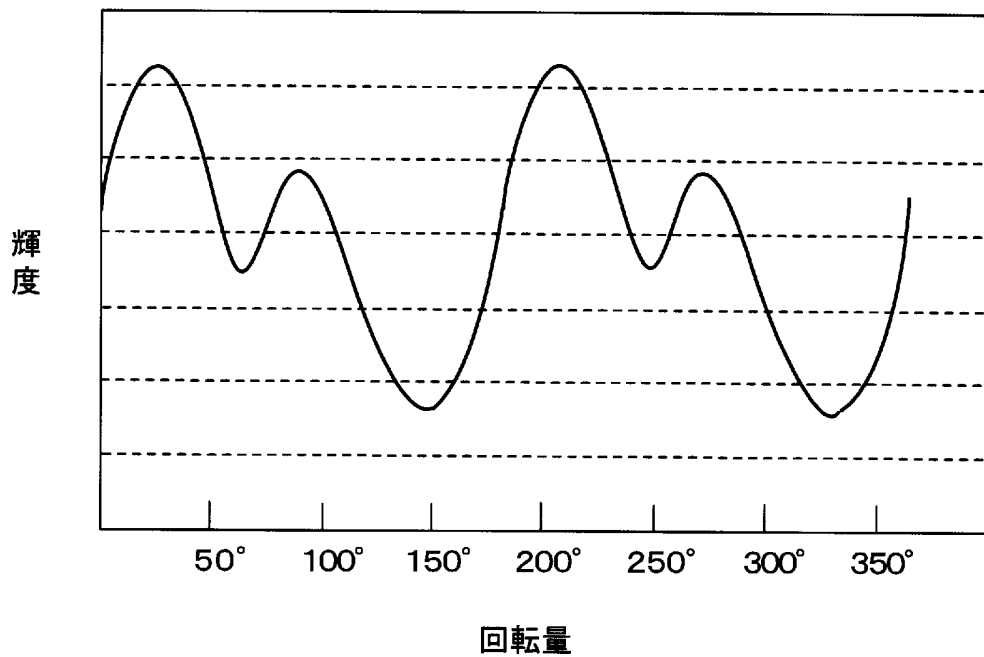
[図14(A)]



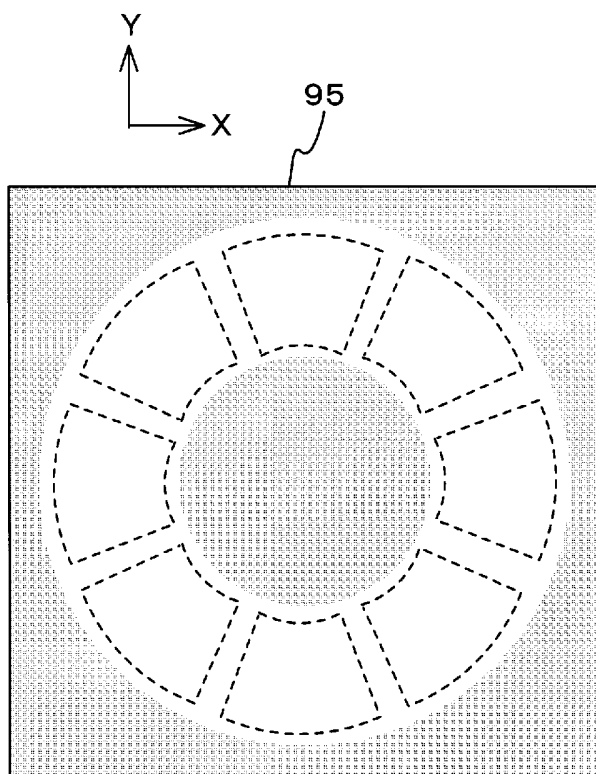
[図14(B)]



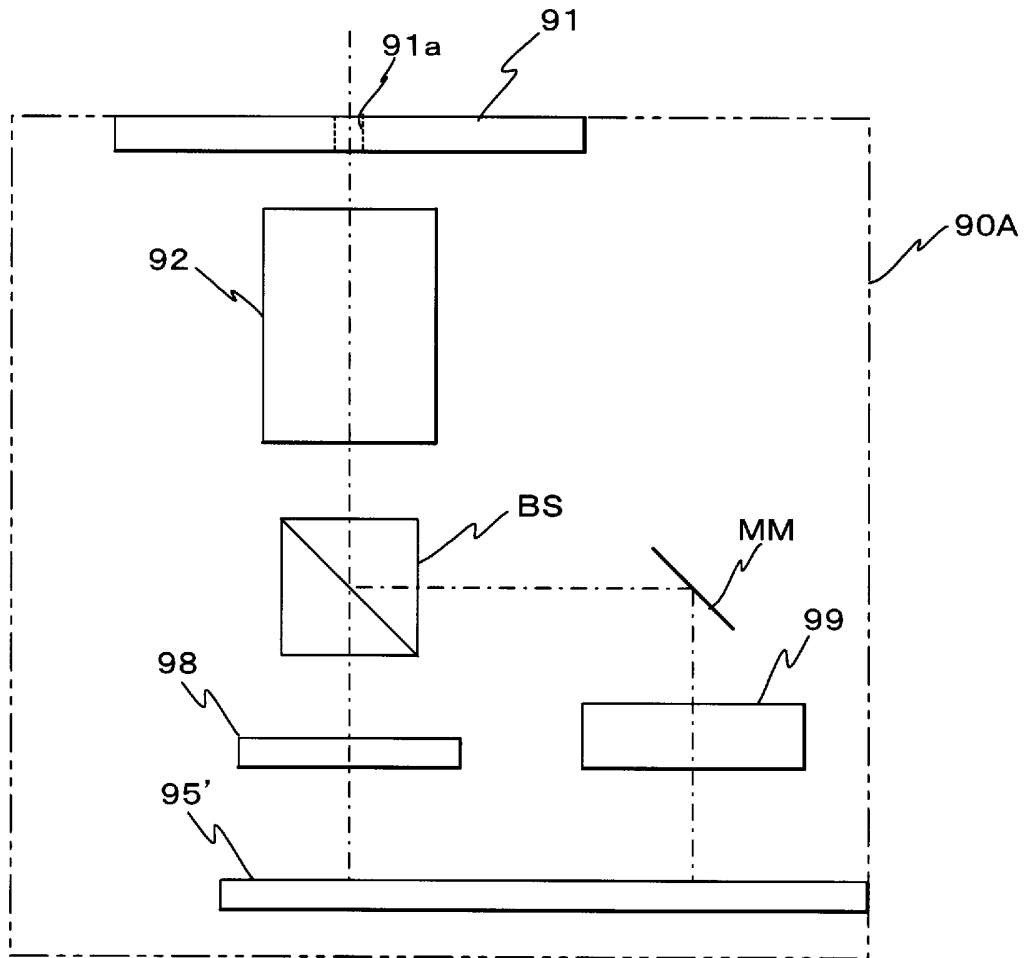
[図15]



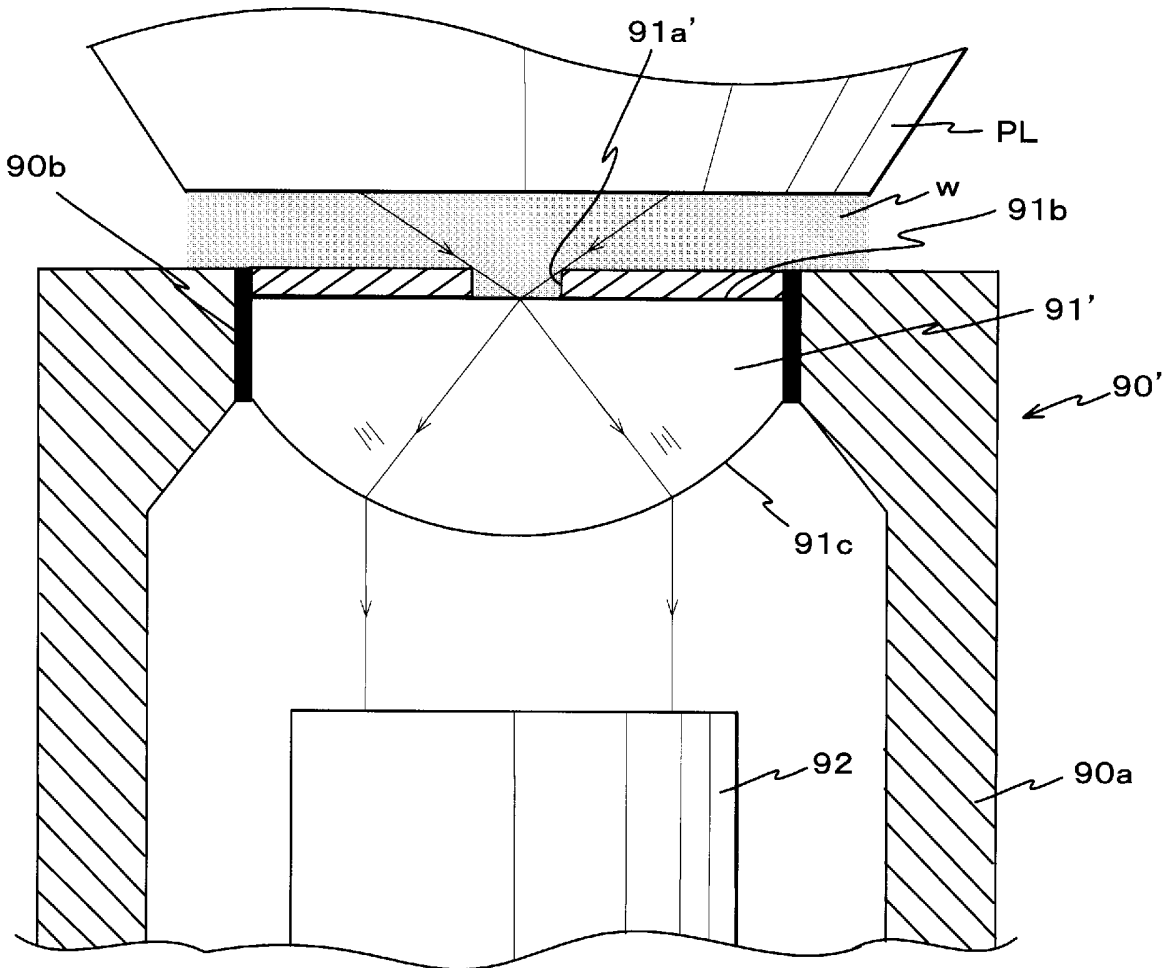
[図16]



[図17]



[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/014585

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/027 (2006.01), G01M11/02 (2006.01), G03F7/20 (2006.01)

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 (2006.01), G01M11/02 (2006.01), G03F7/20 (2006.01)

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	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

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.
X	JP 2003-133207 A (Nikon Corp.), 09 May, 2003 (09.05.03),	1-7, 11, 12, 20, 21
Y	Claims; Par. Nos. [0080] to [0088], [0102], [0118], [0119], [0125], [0126]; Figs. 1, 11 to 13 (Family: none)	8, 13-19
Y	JP 2004-61515 A (Carl-Zeiss SMT AG.), 26 February, 2004 (26.02.04), Claims; Par. Nos. [0024] to [0030], [0040] to [0042]; Figs. 1, 6 & DE 10304822 A1 & US 2004/114150 A1 & US 2004/262500 A1	8, 16-19



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
24 November, 2005 (24.11.05)Date of mailing of the international search report
06 December, 2005 (06.12.05)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/014585

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2004-163313 A (Nikon Corp.), 10 June, 2004 (10.06.04), Claims; Par. Nos. [0040] to [0043], [0103] to [0108], [0137] to [0142], [0157]; Figs. 2, 8, 11 (Family: none)	13-15
A	JP 2004-165483 A (Nikon Corp.), 10 June, 2004 (10.06.04), Full text; all drawings (Family: none)	1-26
A	JP 2004-205500 A (Canon Inc.), 22 July, 2004 (22.07.04), Full text; all drawings & EP 1429128 A1 & US 2004/156051 A1	1-26
A	JP 5-18856 A (Asahi Kogaku Kogyo Kabushiki Kaisha), 26 January, 1993 (26.01.93), Full text; all drawings (Family: none)	1-26

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), G01F11/02 (2006.01), G03F7/20 (2006.01)

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 (2006.01), G01F11/02 (2006.01), G03F7/20 (2006.01)

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	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005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 請求の範囲の番号
X	JP 2003-133207 A (株式会社ニコン) 2003.05.09, 特許請求の範囲, 段落0080-0088, 0102, 0118, 0119, 0125, 0126, 図1, 11-13 (ファミリーなし)	1-7, 11, 12, 20, 21
Y		8, 13-19
Y	JP 2004-61515 A (カール ツァイス エスエムテー アーゲー) 2004.02.26, 特許請求の範囲, 段落0024-0030, 0040-0042, 図1, 6 & DE 10304822 A1 & US 2004/114150 A1 & US 2004/262500 A1	8, 16-19

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 24.11.2005	国際調査報告の発送日 06.12.2005
--------------------------	--------------------------

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) 新井 重雄 電話番号 03-3581-1101 内線 3274	2M	8605
---	--	----	------

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 請求の範囲の番号
Y	JP 2004-163313 A (株式会社ニコン) 2004.06.10, 特許請求の範囲, 段落0040-0043, 0103-0108, 0137-0142, 0157, 図2, 8, 11 (ファミリーなし)	13-15
A	JP 2004-165483 A (株式会社ニコン) 2004.06.10, 全文全図 (ファミリーなし)	1-26
A	JP 2004-205500 A (キヤノン株式会社) 2004.07.22, 全文全図 & EP 1429128 A1 & US 2004/156051 A1	1-26
A	JP 5-18856 A (旭光学株式会社) 1993.01.26, 全文全図 (ファミリーなし)	1-26