

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 12 月 18 日(18.12.2014)



(10) 国際公開番号

WO 2014/199744 A1

- (51) 国際特許分類:
G03F 7/20 (2006.01) G03F 7/24 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/062180
- (22) 国際出願日: 2014 年 5 月 2 日(02.05.2014)
- (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 2013-126150 2013 年 6 月 14 日(14.06.2013) JP
- (71) 出願人: 株式会社ニコン(NIKON CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目
1 2 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 加藤 正紀(KATO, Masaki); 〒1008331 東
京都千代田区霞が関三丁目 2 番 5 号 霞が関ビ
ルディング 酒井国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 酒井 宏明(SAKAI, Hiroaki); 〒1006020 東
京都千代田区霞が関三丁目 2 番 5 号 霞が関ビ
ルディング 酒井国際特許事務所 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, AO, AT, AU, AZ, BA,

BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR,
LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH,
PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

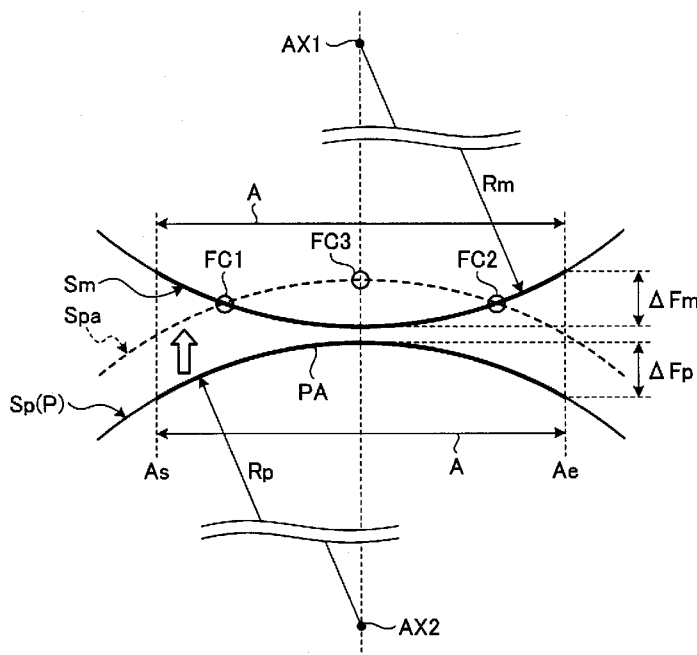
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,
MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロシ
ア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ
(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,
GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,
NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: SUBSTRATE PROCESSING APPARATUS, DEVICE MANUFACTURING METHOD, AND EXPOSURE METHOD

(54) 発明の名称: 基板処理装置、デバイス製造方法及び露光方法



(57) Abstract: The present invention provides a substrate processing apparatus and a device manufacturing method capable of highly productively producing a high-quality substrate. The substrate processing apparatus and device manufacturing method are provided with a first support member for supporting one of a mask and a substrate along a first surface curved in the shape of a cylindrical surface with a prescribed curvature in one of an illumination area and a projection area, a second support member for supporting the other of the mask and the substrate along a prescribed second surface in the other of the illumination area and the projection area, and a movement mechanism for rotating the first support member to move, in a scanning exposure direction, either of the mask and the substrate supported by the first support member. A projection optical system projects, into the projection area, a beam having a best focus position included at two locations on the exposure surface of the substrate in the scanning exposure direction.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2014/199744 A1



高い生産性で高い品質の基板を生産することができる基板処理装置及びデバイス製造方法を提供する。基板処理装置及びデバイス製造方法は、照明領域と投影領域とのうちの一方の領域において所定曲率で円筒面状に湾曲した第1面に沿うように、マスクと基板のうちの一方を支持する第1支持部材と、照明領域と投影領域とのうちの他方の領域において所定の第2面に沿うように、マスクと基板とのうちの他方を支持する第2支持部材と、第1支持部材を回転させ、該第1支持部材が支持するマスクと基板とのいずれかを走査露光方向に移動させる移動機構と、を備える。投影光学系は、基板の露光面において、ベストフォーカス位置が走査露光方向に2箇所含まれる光束を投影領域に投射する。

明 細 書

発明の名称： 基板処理装置、デバイス製造方法及び露光方法

技術分野

[0001] 本発明は、マスクのパターンを基板に投影し、該基板に該パターンを露光する基板処理装置、デバイス製造方法及び露光方法に関する。

背景技術

[0002] 液晶ディスプレイ等の表示デバイスや、半導体等、各種デバイスを製造するデバイス製造システムがある。デバイス製造システムは、露光装置等の基板処理装置を備えている。基板処理装置は、照明領域に配置されたマスク（或いはレチクル）に形成されているパターンの像を、投影領域に配置されている基板等に投影し、基板に当該パターンを露光する。基板処理装置に用いられるマスクは、平面状のものが一般的であるが、基板上に複数のデバイスパターンを連続して走査露光する為に、円筒状にしたものも知られている（特許文献1）。

[0003] また、基板処理装置としては、特許文献2に記載されている投影露光装置がある。特許文献2に記載の投影露光装置は、1次元移動方向に関して感光基板の表面と投影光学系によって投影されたパターン像の最良結像面とが相対的に一定量だけ傾くように感光基板を基板ステージ上に保持する基板ホルダと、走査露光の間は感光基板が傾いた方向に沿って移動するように、基板ステージの1次元方向の移動に連動して基板ホルダを投影光学系の光軸の方向に移動させるホルダ駆動手段とを有する。投影露光装置は、上記構成により、1次元方向の走査露光の位置によって、感光基板の露光面に投射される光束のフォーカス状態を変化させることができる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：国際公開第2008/029917号

特許文献2：特許第2830492号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0005] 特許文献2に記載されているように、フォーカス状態を変化させつつ、露光を行うことで、マスクと基板との相対関係のズレまたは光学系のズレ等により投影光学系が投射する光束と露光面との関係に変化が生じた場合もベストフォーカス位置を含むフォーカス状態で露光を行うことができる。これにより、感光基板（フォトレジスト層）に露光される像コントラストの変化を抑制することができる。
- [0006] しかしながら、特許文献2に記載の投影露光装置は、基板ホルダを用いて投影光学装置（投影光学系）に対して基板を傾斜させる。このため、相対位置の調整（制御）が複雑となる。特に、基板上の複数の露光領域（ショット）毎に、マスクと基板とを相対走査しては基板をステップ移動させるステップアンドスキャン方式においては、基板上の各露光領域の走査露光毎に基板ホルダの傾斜とフォーカス方向への移動とを高速に繰返し制御する必要がある、制御が複雑になると共に、振動の発生を招くことになる。
- [0007] また、走査露光方式の基板処理装置は、走査露光方向における基板上の露光領域の幅が小さいと、感光基板に与えられる露光量が少なくなる。このため、基板上の露光領域に投射される露光光の単位面積当りの照度を大きくしたり、走査露光の速度を遅くしたりする必要がある。逆に、走査露光方向における基板上の露光領域の幅を大きくすると、形成されるパターンの品質（転写忠実度）が低下する場合がある。
- [0008] 本発明の態様は、高い生産性で高い品質の基板を生産することができる基板処理装置、デバイス製造方法及び露光方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0009] 本発明の第1の態様に従えば、照明光の照明領域に配置されるマスクのパターンからの光束を、基板が配置される投影領域に投射する投影光学系を備えた基板処理装置であって、前記照明領域と前記投影領域とのうちの一方の領域において所定曲率で円筒面状に湾曲した第1面に沿うように、前記マス

クと前記基板のうちの一方を支持する第1支持部材と、前記照明領域と前記投影領域とのうちの他方の領域において所定の第2面に沿うように、前記マスクと前記基板とのうちの他方を支持する第2支持部材と、前記第1支持部材を回転させ、該第1支持部材が支持する前記マスクと前記基板とのいずれかを走査露光方向に移動させる移動機構と、を備え、前記投影光学系は、前記基板の露光面において、ベストフォーカス位置が前記走査露光方向に2箇所含まれる光束を前記投影領域に投射する基板処理装置が提供される。

[0010] 本発明の第2の態様に従えば、前記基板処理装置に前記基板を供給することと、第1の態様に記載の基板処理装置を用いて前記基板に前記マスクのパターンを形成することと、を含むデバイス製造方法が提供される。

[0011] 本発明の第3の態様に従えば、照明光の照明領域に配置されるマスクのパターンからの光束を、基板が配置される投影領域に投射する露光方法であって、前記照明領域と前記投影領域とのうちの一方の領域において所定曲率で円筒面状に湾曲した第1面に沿うように、前記マスクと前記基板のうちの一方を支持することと、前記照明領域と前記投影領域とのうちの他方の領域において所定の第2面に沿うように、前記マスクと前記基板とのうちの他方を支持することと、当該第1面で支持している前記マスクと前記基板のいずれかを前記第1面に沿って回転させ、該第1面で支持する前記マスクと前記基板とのいずれかを走査露光方向に移動させることと、前記基板の露光面において、ベストフォーカス位置が前記走査露光方向に2箇所含まれる光束を前記投影領域に投射することと、を含む露光方法が提供される。

発明の効果

[0012] 本発明の態様によれば、基板の露光面の走査露光方向において、ベストフォーカス位置が2箇所含まれる光束を投影領域に投射することで、高い生産性で高い品質の基板を生産することができる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]図1は、第1実施形態のデバイス製造システムの構成を示す図である。

[図2]図2は、第1実施形態の露光装置（基板処理装置）の全体構成を示す図

である。

[図3]図3は、図2に示す露光装置の照明領域及び投影領域の配置を示す図である。

[図4]図4は、図2に示す露光装置の照明光学系及び投影光学系の構成を示す図である。

[図5]図5は、マスクにおける照明光束及び投影光束の振る舞いを誇張して示す図である。

[図6A]図6Aは、マスクのパターンの投影像面と基板の露光面との関係を示す説明図である。

[図6B]図6Bは、露光幅内でのデフォーカス量の変化の様子を示すグラフである。

[図7]図7は、第2実施形態の露光装置（基板処理装置）の全体構成を示す図である。

[図8]図8は、マスクのパターンの投影像面と基板の露光面との関係を示す説明図である。

[図9]図9は、露光座標とデフォーカスとの関係の一例を示すグラフである。

[図10]図10は、デフォーカスと点像強度との関係の一例を示すグラフである。

[図11]図11は、デフォーカス量の変化と強度差との関係の一例を示すグラフである。

[図12]図12は、デフォーカス量と L/S のコントラスト変化との関係の一例を示すグラフである。

[図13]図13は、デフォーカス量と L/S のコントラスト比の変化との関係の一例を示すグラフである。

[図14]図14は、デフォーカス量と L/S のCD及びスライスレベルとの関係の一例を示すグラフである。

[図15]図15は、デフォーカス量と孤立線のコントラスト変化との関係の一例を示すグラフである。

[図16]図16は、デフォーカス量と孤立線のコントラスト比の変化との関係の一例を示すグラフである。

[図17]図17は、デフォーカス量と孤立線のCD及びスライスレベルとの関係の一例を示すグラフである。

[図18]図18は、第3実施形態の露光装置（基板処理装置）の全体構成を示す図である。

[図19]図19は、第4実施形態の露光装置（基板処理装置）の全体構成を示す図である。

[図20]図20は、マスクのパターンの投影像面と基板の露光面との関係を示す説明図である。

[図21]図21は、露光方法を示すフローチャートである。

[図22]図22は、デバイス製造方法を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0014] 本発明を実施するための形態（実施形態）につき、図面を参照しつつ詳細に説明する。以下の実施形態に記載した内容により本発明が限定されるものではない。また、以下に記載した構成要素には、当業者が容易に想定できるもの、実質的に同一のものが含まれる。さらに、以下に記載した構成要素は適宜組み合わせることが可能である。また、本発明の要旨を逸脱しない範囲で構成要素の種々の省略、置換または変更を行うことができる。例えば、以下の実施形態では、デバイスとしてフレキシブル・ディスプレイを製造する場合として説明するがこれに限定されない。デバイスとしては、配線基板、半導体基板等を製造することもできる。

[0015] [第1実施形態]

第1実施形態は、基板に露光処理を施す基板処理装置が露光装置である。また、露光装置は、露光後の基板に各種処理を施してデバイスを製造するデバイス製造システムに組み込まれている。先ず、デバイス製造システムについて説明する。

[0016] <デバイス製造システム>

図1は、第1実施形態のデバイス製造システムの構成を示す図である。図1に示すデバイス製造システム1は、デバイスとしてのフレキシブル・ディスプレイを製造するライン（フレキシブル・ディスプレイ製造ライン）である。フレキシブル・ディスプレイとしては、例えば有機ELディスプレイ等がある。このデバイス製造システム1は、可撓性の基板Pをロール状に巻回した供給用ロールFR1から、該基板Pを送り出し、送り出された基板Pに対して各種処理を連続的に施した後、処理後の基板Pを可撓性のデバイスとして回収用ロールFR2に巻き取る、いわゆるロール・ツー・ロール（Roll to Roll）方式となっている。第1実施形態のデバイス製造システム1では、フィルム状のシートである基板Pが供給用ロールFR1から送り出され、供給用ロールFR1から送り出された基板Pが、順次、n台の処理装置U1、U2、U3、U4、U5、…Unを経て、回収用ロールFR2に巻き取られるまでの例を示している。先ず、デバイス製造システム1の処理対象となる基板Pについて説明する。

[0017] 基板Pは、例えば、樹脂フィルム、ステンレス鋼等の金属または合金からなる箔（フォイル）等が用いられる。樹脂フィルムの材質としては、例えば、ポリエチレン樹脂、ポリプロピレン樹脂、ポリエステル樹脂、エチレンビニル共重合体樹脂、ポリ塩化ビニル樹脂、セルロース樹脂、ポリアミド樹脂、ポリイミド樹脂、ポリカーボネート樹脂、ポリスチレン樹脂、酢酸ビニル樹脂のうち1または2以上を含んでいる。

[0018] 基板Pは、例えば、基板Pに施される各種処理において受ける熱による変形量が実質的に無視できるように、熱膨張係数が顕著に大きくないものを選定することが望ましい。熱膨張係数は、例えば、無機フィラーを樹脂フィルムに混合することによって、プロセス温度等に応じた閾値よりも小さく設定されていてもよい。無機フィラーは、例えば、酸化チタン、酸化亜鉛、アルミナ、酸化ケイ素等でもよい。また、基板Pは、フロート法等で製造された厚さ100 μ m程度の極薄ガラスの単層体であってもよいし、この極薄ガラスに上記の樹脂フィルム、箔等を貼り合わせた積層体であってもよい。

[0019] このように構成された基板Pは、ロール状に巻回されることで供給用ロールFR1となり、この供給用ロールFR1が、デバイス製造システム1に装着される。供給用ロールFR1が装着されたデバイス製造システム1は、1個のデバイスを製造するための各種の処理を、供給用ロールFR1から送り出される基板Pに対して繰り返し実行する。このため、処理後の基板Pは、複数のデバイスが連なった状態となる。つまり、供給用ロールFR1から送り出される基板Pは、多面取り用の基板となっている。なお、基板Pは、予め所定の前処理によって、その表面を改質して活性化したもの、或いは、表面に精密パターニングの為の微細な隔壁構造（凹凸構造）をインプリント法（マイクロスタンプ）等で形成したものでも良い。

[0020] 処理後の基板Pは、ロール状に巻回されることで回収用ロールFR2として回収される。回収用ロールFR2は、図示しないダイシング装置に装着される。回収用ロールFR2が装着されたダイシング装置は、処理後の基板Pを、デバイスごとに分割（ダイシング）することで、複数個のデバイスにする。基板Pの寸法は、例えば、幅方向（短尺となる方向）の寸法が10cm～2m程度であり、長さ方向（長尺となる方向）の寸法が10m以上である。なお、基板Pの寸法は、上記した寸法に限定されない。

[0021] 次に、図1を参照し、デバイス製造システム1について説明する。図1では、X方向、Y方向及びZ方向が直交する直交座標系となっている。X方向は、水平面内において供給用ロールFR1及び回収用ロールFR2を結ぶ方向であり、図1における左右方向である。Y方向は、水平面内においてX方向に直交する方向であり、図1における前後方向である。Y方向は、供給用ロールFR1及び回収用ロールFR2の軸方向となっている。Z方向は、鉛直方向であり、図1における上下方向である。

[0022] デバイス製造システム1は、基板Pを供給する基板供給装置2と、基板供給装置2によって供給された基板Pに対して各種処理を施す処理装置U1～Unと、処理装置U1～Unによって処理が施された基板Pを回収する基板回収装置4と、デバイス製造システム1の各装置を制御する上位制御装置5

とを備える。

[0023] 基板供給装置 2 には、供給用ロール F R 1 が回転可能に装着される。基板供給装置 2 は、装着された供給用ロール F R 1 から基板 P を送り出す駆動ローラ R 1 と、基板 P の幅方向（Y 方向）における位置を調整するエッジポジションコントローラ E P C 1 とを有する。駆動ローラ R 1 は、基板 P の表裏両面を挟持しながら回転し、基板 P を供給用ロール F R 1 から回収用ロール F R 2 へ向かう搬送方向に送り出すことで、基板 P を処理装置 U 1 ～U n に供給する。このとき、エッジポジションコントローラ E P C 1 は、基板 P の幅方向の端部（エッジ）における位置が、目標位置に対して±十数 μm ～数十 μm 程度の範囲に収まるように、基板 P を幅方向に移動させて、基板 P の幅方向における位置を修正する。

[0024] 基板回収装置 4 には、回収用ロール F R 2 が回転可能に装着される。基板回収装置 4 は、処理後の基板 P を回収用ロール F R 2 側に引き寄せる駆動ローラ R 2 と、基板 P の幅方向（Y 方向）における位置を調整するエッジポジションコントローラ E P C 2 とを有する。基板回収装置 4 は、駆動ローラ R 2 により基板 P の表裏両面を挟持しながら回転し、基板 P を搬送方向に引き寄せると共に、回収用ロール F R 2 を回転させることで、基板 P を巻き上げる。このとき、エッジポジションコントローラ E P C 2 は、エッジポジションコントローラ E P C 1 と同様に構成され、基板 P の幅方向の端部（エッジ）が幅方向においてばらつかないように、基板 P の幅方向における位置を修正する。

[0025] 処理装置 U 1 は、基板供給装置 2 から供給された基板 P の表面に感光性機能液を塗布する塗布装置である。感光性機能液としては、例えば、フォトリジスト、感光性シランカップリング材（親撥液性改質材）、感光性メッキ還元材、UV 硬化樹脂液等が用いられる。処理装置 U 1 は、基板 P の搬送方向の上流側から順に、塗布機構 G p 1 と乾燥機構 G p 2 とが設けられている。塗布機構 G p 1 は、基板 P が巻き付けられる圧胴ローラ D R 1 と、圧胴ローラ D R 1 に対向する塗布ローラ D R 2 とを有する。塗布機構 G p 1 は、供給

された基板Pを圧胴ローラDR1に巻き付けた状態で、圧胴ローラDR1及び塗布ローラDR2により基板Pを挟持する。そして、塗布機構Gp1は、圧胴ローラDR1及び塗布ローラDR2を回転させることで、基板Pを搬送方向に移動させながら、塗布ローラDR2により感光性機能液を塗布する。乾燥機構Gp2は、熱風またはドライエアー等の乾燥用エアーを吹き付け、感光性機能液に含まれる溶質（溶剤または水）を除去し、感光性機能液が塗布された基板Pを乾燥させることで、基板P上に感光性機能層を形成する。

[0026] 処理装置U2は、基板Pの表面に形成された感光性機能層を安定にすべく、処理装置U1から搬送された基板Pを所定温度（例えば、数10～120℃程度）まで加熱する加熱装置である。処理装置U2は、基板Pの搬送方向の上流側から順に、加熱チャンバHA1と冷却チャンバHA2とが設けられている。加熱チャンバHA1は、その内部に複数のローラ及び複数のエア・ターンバーが設けられており、複数のローラ及び複数のエア・ターンバーは、基板Pの搬送経路を構成している。複数のローラは、基板Pの裏面に転接して設けられ、複数のエア・ターンバーは、基板Pの表面側に非接触状態で設けられる。複数のローラ及び複数のエア・ターンバーは、基板Pの搬送経路を長くすべく、蛇行状の搬送経路となる配置になっている。加熱チャンバHA1内を通る基板Pは、蛇行状の搬送経路に沿って搬送されながら所定温度まで加熱される。冷却チャンバHA2は、加熱チャンバHA1で加熱された基板Pの温度が、後工程（処理装置U3）の環境温度と揃うようにすべく、基板Pを環境温度まで冷却する。冷却チャンバHA2は、その内部に複数のローラが設けられ、複数のローラは、加熱チャンバHA1と同様に、基板Pの搬送経路を長くすべく、蛇行状の搬送経路となる配置になっている。冷却チャンバHA2内を通る基板Pは、蛇行状の搬送経路に沿って搬送されながら冷却される。冷却チャンバHA2の搬送方向における下流側には、駆動ローラR3が設けられ、駆動ローラR3は、冷却チャンバHA2を通過した基板Pを挟持しながら回転することで、基板Pを処理装置U3へ向けて供給する。尚、加熱チャンバHA1による基板Pの加熱は、基板PがPET（ポ

リエチレン・テレフタレート）やPEN（ポリエチレン・ナフタレート）等の樹脂フィルムの場合、そのガラス転移温度を超えないように設定するのが良い。

[0027] 処理装置（基板処理装置）U3は、処理装置U2から供給された、表面に感光性機能層が形成された基板（感光基板）Pに対して、ディスプレイ用の回路または配線等のパターンを投影露光する露光装置である。詳細は後述するが、処理装置U3は、反射型のマスクMに照明光束を照明し、照明光束がマスクMにより反射されることで得られる投影光束を基板Pに投影露光する。処理装置U3は、処理装置U2から供給された基板Pを搬送方向の下流側に送る駆動ローラR4と、基板Pの幅方向（Y方向）における位置を調整するエッジポジションコントローラEPC3とを有する。駆動ローラR4は、基板Pの表裏両面を挟持しながら回転し、基板Pを搬送方向の下流側に送り出すことで、基板Pを露光位置で支持する基板支持ドラム（回転ドラムと呼ばれることもある）へ向けて供給する。

[0028] エッジポジションコントローラEPC3は、エッジポジションコントローラEPC1と同様に構成され、露光位置（基板支持ドラム）における基板Pの幅方向が目標位置となるように、基板Pの幅方向における位置を修正する。また、処理装置U3は、露光後の基板Pにたるみを与えた状態で、基板Pを搬送方向の下流側へ送る2組の駆動ローラR5、R6を有する。駆動ローラR5は先の駆動ローラR4と協働して、基板Pの搬送方向に所定のテンションを付与する。2組の駆動ローラR5、R6は、基板Pの搬送方向に所定の間隔を空けて配置されている。駆動ローラR5は、搬送される基板Pの上流側を挟持して回転し、駆動ローラR6は、搬送される基板Pの下流側を挟持して回転することで、基板Pを処理装置U4へ向けて供給する。このとき、基板Pは、たるみが与えられているため、駆動ローラR6よりも搬送方向の下流側において生ずる搬送速度の変動を吸収でき、搬送速度の変動による基板Pへの露光処理の影響を縁切りすることができる。また、処理装置U3内には、マスクMのマスクパターンの一部分の像と基板Pとを相対的に位置

合せ（アライメント）する為に、基板Pに予め形成されたアライメントマーク等を検出するアライメント顕微鏡AM1、AM2が設けられている。

[0029] 処理装置U4は、処理装置U3から搬送された露光後の基板Pに対して、湿式による現像処理、無電解メッキ処理等を行なう湿式処理装置である。処理装置U4は、その内部に、鉛直方向（Z方向）に階層化された3つの処理槽BT1、BT2、BT3と、基板Pを搬送する複数のローラと、を有する。複数のローラは、3つの処理槽BT1、BT2、BT3の内部を、基板Pが順に通過する搬送経路となるように配置される。処理槽BT3の搬送方向における下流側には、駆動ローラR7が設けられ、駆動ローラR7は、処理槽BT3を通過した基板Pを挟持しながら回転することで、基板Pを処理装置U5へ向けて供給する。

[0030] 図示は省略するが、処理装置U5は、処理装置U4から搬送された基板Pを乾燥させる乾燥装置である。処理装置U5は、処理装置U4において湿式処理された基板Pに付着する液滴やミストを除去すると共に、基板Pの水分含有量を、所定の水分含有量に調整する。処理装置U5により乾燥された基板Pは、幾つかの処理装置を経て、処理装置Unに搬送される。そして、処理装置Unで処理された後、基板Pは、基板回収装置4の回収用ロールFR2に巻き上げられる。

[0031] 上位制御装置5は、基板供給装置2、基板回収装置4及び複数の処理装置U1～Unを統括制御する。上位制御装置5は、基板供給装置2及び基板回収装置4を制御して、基板Pを基板供給装置2から基板回収装置4へ向けて搬送させる。また、上位制御装置5は、基板Pの搬送に同期させながら、複数の処理装置U1～Unを制御して、基板Pに対する各種処理を実行させる。

[0032] <露光装置（基板処理装置）>

次に、第1実施形態の処理装置U3としての露光装置（基板処理装置）の構成について、図2から図4を参照して説明する。図2は、第1実施形態の露光装置（基板処理装置）の全体構成を示す図である。図3は、図2に示す

露光装置の照明領域及び投影領域の配置を示す図である。図4は、図2に示す露光装置の照明光学系及び投影光学系の構成を示す図である。以下、処理装置U3を露光装置U3という。

[0033] 図2に示す露光装置U3は、いわゆる走査露光装置であり、基板Pを搬送方向に搬送しながら、円筒状のマスクMの外周面に形成されたマスクパターンの像を、基板Pの表面に投影露光する。なお、図2では、X方向、Y方向及びZ方向が直交する直交座標系となっており、図1と同様の直交座標系となっている。

[0034] 先ず、露光装置U3に用いられるマスクMについて説明する。マスクMは、例えば金属製の円筒体を用いた反射型のマスクとなっている。マスクMは、Y方向に延びる第1軸AX1を中心とする曲率半径Rmとなる外周面（円周面）を有する円筒体に形成され、径方向に一定の肉厚を有している。マスクMの円周面は、所定のマスクパターンが形成された面P1となっている。マスクMの面P1は、所定方向に光束を高い効率で反射する高反射部と所定方向に光束を反射しないまたは低い効率で反射する反射抑制部とを含む。マスクパターンは、高反射部及び反射抑制部により形成されている。ここで、反射抑制部は、所定方向に反射する光が少なくなればよい。このため、反射抑制部は、光を吸収しても、透過しても、所定方向以外に反射（例えば乱反射）してもよい。ここで、マスクMは、反射抑制部を、光を吸収する材料や、光を透過する材料で構成することができる。露光装置U3は、上記構成のマスクMとして、金属の円筒体で作成したマスクを用いることができる。このため、露光装置U3は、安価なマスクを用いて露光を行うことができる。

[0035] なお、マスクMは、1個の表示デバイスに対応するパネル用パターンの全体または一部が形成されていてもよいし、複数個の表示デバイスに対応するパネル用パターンが形成されていてもよい。また、マスクMは、パネル用パターンが第1軸AX1の周りの周方向に繰り返し複数個形成されていてもよいし、小型のパネル用パターンが第1軸AX1に平行な方向に繰り返し複数形成されてもよい。さらに、マスクMは、第1の表示デバイスのパネル用パ

ターンと、第1の表示デバイスとサイズ等が異なる第2の表示デバイスのパネル用パターンとが形成されていてもよい。また、マスクMは、第1軸AX1を中心とする曲率半径R_mとなる円周面を有していればよく、円筒体の形状に限定されない。例えば、マスクMは、円周面を有する円弧状の板材であってもよい。また、マスクMは、薄板状であってもよく、薄板状のマスクMを湾曲させて、円周面に倣うように円筒部材に貼り付てもよい。

[0036] 次に、図2に示す露光装置U3について説明する。露光装置U3は、上記した駆動ローラR4～R6、エッジポジションコントローラEPC3及びアライメント顕微鏡AM1、AM2の他に、マスク保持機構11と、基板支持機構12と、照明光学系ILと、投影光学系PLと、下位制御装置16と、を有する。露光装置U3は、光源装置13から射出された照明光を照明光学系ILと、投影光学系PLと、で案内することで、マスク保持機構11で保持したマスクMのパターンの光束を基板支持機構12で保持した基板Pに投射する。

[0037] 下位制御装置16は、露光装置U3の各部を制御し、各部に処理を実行させる。下位制御装置16は、デバイス製造システム1の上位制御装置5の一部又は全部であってもよい。また、下位制御装置16は、上位制御装置5に制御され、上位制御装置5とは別の装置であってもよい。下位制御装置16は、例えば、コンピュータを含む。

[0038] マスク保持機構11は、マスクMを保持するマスク保持ドラム（マスク保持部材）21と、マスク保持ドラム21を回転させる第1駆動部22とを有している。マスク保持ドラム21は、マスクMの第1軸AX1が回転中心となるようにマスクMを保持する。第1駆動部22は、下位制御装置16に接続され、第1軸AX1を回転中心にマスク保持ドラム21を回転させる。

[0039] なお、マスク保持機構11は、円筒体のマスクMをマスク保持ドラム21で保持したが、この構成に限らない。マスク保持機構11は、マスク保持ドラム21の外周面に倣って薄板状のマスクMを巻き付けて保持してもよい。また、マスク保持機構11は、円弧状の板材となるマスクMをマスク保持ド

ラム 21 の外周面において保持してもよい。

[0040] 基板支持機構 12 は、基板 P を円筒状の外周面で支持して回転可能な基板支持ドラム 25 と、基板支持ドラム 25 を回転させる第 2 駆動部 26 と、一対のエア・ターンバー A T B 1、A T B 2 と、一対のガイドローラ 27、28 とを有している。基板支持ドラム 25 は、Y 方向に延びる第 2 軸 A X 2 を中心とする曲率半径 R p となる外周面（円周面）を有する円筒形状に形成されている。ここで、第 1 軸 A X 1 と第 2 軸 A X 2 とは互いに平行になっており、第 1 軸 A X 1 及び第 2 軸 A X 2 を通る面を中心面 C L としている。基板支持ドラム 25 の円周面の一部は、基板 P を支持する支持面 P 2 となっている。つまり、基板支持ドラム 25 は、その支持面 P 2 に基板 P が巻き付けられることで、基板 P を支持する。第 2 駆動部 26 は、下位制御装置 16 に接続され、第 2 軸 A X 2 を回転中心に基板支持ドラム 25 を回転させる。

[0041] 一対のエア・ターンバー A T B 1、A T B 2 は、基板支持ドラム 25 を挟んで、基板 P の搬送方向の上流側及び下流側にそれぞれ設けられている。一対のエア・ターンバー A T B 1、A T B 2 は、基板 P の表面側に設けられ、鉛直方向（Z 方向）において基板支持ドラム 25 の支持面 P 2 よりも下方側に配置されている。一対のガイドローラ 27、28 は、一対のエア・ターンバー A T B 1、A T B 2 を挟んで、基板 P の搬送方向の上流側及び下流側にそれぞれ設けられている。一対のガイドローラ 27、28 は、その一方のガイドローラ 27 が駆動ローラ R 4 から搬送された基板 P をエア・ターンバー A T B 1 に案内し、その他方のガイドローラ 28 がエア・ターンバー A T B 2 から搬送された基板 P を駆動ローラ R 5 に案内する。

[0042] 従って、基板支持機構 12 は、駆動ローラ R 4 から搬送された基板 P を、ガイドローラ 27 によりエア・ターンバー A T B 1 に案内し、エア・ターンバー A T B 1 を通過した基板 P を、基板支持ドラム 25 に導入する。基板支持機構 12 は、第 2 駆動部 26 により基板支持ドラム 25 を回転させることで、基板支持ドラム 25 に導入した基板 P を、基板支持ドラム 25 の支持面 P 2 で支持しながら、エア・ターンバー A T B 2 へ向けて搬送する。基板支

持機構 12 は、エア・ターンバー A T B 2 に搬送された基板 P を、エア・ターンバー A T B 2 によりガイドローラ 28 に案内し、ガイドローラ 28 を通過した基板 P を、駆動ローラ R 5 に案内する。

[0043] このとき、第 1 駆動部 22 及び第 2 駆動部 26 に接続された下位制御装置 16 は、マスク保持ドラム 21 と基板支持ドラム 25 とを所定の回転速度比で同期回転させることによって、マスク M の面 P1 に形成されたマスクパターンの像が、基板支持ドラム 25 の支持面 P2 に巻き付けられた基板 P の表面（円周面に倣って湾曲した面）に連続的に繰り返し投影露光される。

[0044] 光源装置 13 は、マスク M に照明される照明光束 E L 1 を出射する。光源装置 13 は、光源 31 と導光部材 32 とを有する。光源 31 は、所定の波長の光を射出する光源である。光源 31 は、例えば水銀ランプ等のランプ光源、又はレーザーダイオード、発光ダイオード（LED）等である。光源 31 が射出する照明光は、例えばランプ光源から射出される輝線（g 線、h 線、i 線）、KrF エキシマレーザ光（波長 248 nm）等の遠紫外光（DUV 光）、ArF エキシマレーザ光（波長 193 nm）等である。ここで、光源 31 は、i 線（365 nm の波長）以下の波長を含む照明光束 E L 1 を射出することが好ましい。光源 31 は、i 線以下の波長となる照明光束 E L 1 として、YAG レーザ（第 3 高調波レーザ）から射出されるレーザ光（355 nm の波長）、YAG レーザ（第 4 高調波レーザ）から射出されるレーザ光（266 nm の波長）、または KrF エキシマレーザから射出されるレーザ光（248 nm の波長）等を用いることができる。

[0045] 導光部材 32 は、光源 31 から出射された照明光束 E L 1 を照明光学系 I L に導く。導光部材 32 は、光ファイバ、またはミラーを用いたリレーモジュール等で構成される。また、導光部材 32 は、照明光学系 I L が複数設けられている場合、光源 31 からの照明光束 E L 1 を複数に分離し、複数の照明光束 E L 1 を複数の照明光学系 I L に導く。導光部材 32 は、光源 31 から射出された照明光束 E L 1 を所定の偏光状態の光として偏光ビームスプリッタ PBS に入射させる。ここで、本実施形態の偏光ビームスプリッタ PB

Sは、S偏光の直線偏光となる光束を反射し、P偏光の直線偏光となる光束を透過する。このため、光源装置13は、偏光ビームスプリッタPBSに入射する照明光束EL1が直線偏光（S偏光）の光束となる照明光束EL1を出射する。

[0046] 光源装置13は、偏光ビームスプリッタPBSに波長及び位相が揃った偏光レーザを出射する。例えば、光源装置13は、光源31から射出される光束が偏光された光である場合、導光部材32として、偏波面保存ファイバを用い、光源装置13から出力されたレーザ光の偏光状態を維持したまま導光する。また、例えば、光源31から出力された光束を光ファイバで案内し、光ファイバから出力された光を偏光板で偏光させてもよい。つまり光源装置13は、ランダム偏光の光束が案内されている場合、ランダム偏光の光束を偏光板で偏光してもよいし、偏光ビームスプリッタPBSを用いてP偏向とS偏向の各光束に分岐させ、その偏光ビームスプリッタPBSを透過した光を一方の系統の照明光学系ILに入射させ、その偏光ビームスプリッタPBSで反射した光を別の系統の照明光学系ILに入射させる光束として用いてもよい。また光源装置13は、レンズ等を用いたリレー光学系により、光源31から出力された光束を案内してもよい。

[0047] ここで、図3に示すように、第1実施形態の露光装置U3は、いわゆるマルチレンズ方式を想定した露光装置である。なお、図3には、マスク保持ドラム21に保持されたマスクM上の照明領域IRを-Z側から見た平面図（図3の左図）と、基板支持ドラム25に支持された基板P上の投影領域PAを+Z側から見た平面図（図3の右図）とが図示されている。図3の符号Xsは、マスク保持ドラム21及び基板支持ドラム25の移動方向（回転方向）を示す。マルチレンズ方式の露光装置U3は、マスクM上の複数（第1実施形態では例えば6つ）の照明領域IR1～IR6に照明光束EL1をそれぞれ照明し、各照明光束EL1が各照明領域IR1～IR6に反射されることで得られる複数の投影光束EL2を、基板P上の複数（第1実施形態では例えば6つ）の投影領域PA1～PA6に投影露光する。

[0048] 先ず、照明光学系 I L により照明される複数の照明領域 I R 1 ~ I R 6 について説明する。図 3 に示すように、複数の照明領域 I R 1 ~ I R 6 は、中心面 C L を挟んで、回転方向の上流側のマスク M 上に第 1 照明領域 I R 1、第 3 照明領域 I R 3 及び第 5 照明領域 I R 5 が配置され、回転方向の下流側のマスク M 上に第 2 照明領域 I R 2、第 4 照明領域 I R 4 及び第 6 照明領域 I R 6 が配置される。各照明領域 I R 1 ~ I R 6 は、マスク M の軸方向（Y 方向）に延びる平行な短辺及び長辺を有する細長い台形状の領域となっている。このとき、台形状の各照明領域 I R 1 ~ I R 6 は、その短辺が中心面 C L 側に位置し、その長辺が外側に位置する領域となっている。第 1 照明領域 I R 1、第 3 照明領域 I R 3 及び第 5 照明領域 I R 5 は、軸方向に所定の間隔を空けて配置されている。また、第 2 照明領域 I R 2、第 4 照明領域 I R 4 及び第 6 照明領域 I R 6 は、軸方向に所定の間隔を空けて配置されている。このとき、第 2 照明領域 I R 2 は、軸方向において、第 1 照明領域 I R 1 と第 3 照明領域 I R 3 との間に配置される。同様に、第 3 照明領域 I R 3 は、軸方向において、第 2 照明領域 I R 2 と第 4 照明領域 I R 4 との間に配置される。第 4 照明領域 I R 4 は、軸方向において、第 3 照明領域 I R 3 と第 5 照明領域 I R 5 との間に配置される。第 5 照明領域 I R 5 は、軸方向において、第 4 照明領域 I R 4 と第 6 照明領域 I R 6 との間に配置される。各照明領域 I R 1 ~ I R 6 は、マスク M の周方向からみて、隣り合う台形状の照明領域の斜辺部の三角部が重なるように（オーバーラップするように）配置されている。なお、第 1 実施形態において、各照明領域 I R 1 ~ I R 6 は、台形状の領域としたが、長方形の領域でもあってよい。

[0049] また、マスク M は、マスクパターンが形成されるパターン形成領域 A 3 と、マスクパターンが形成されないパターン非形成領域 A 4 とを有する。パターン非形成領域 A 4 は、照明光束 E L 1 を吸収する反射し難い領域であり、パターン形成領域 A 3 を枠状に囲んで配置されている。第 1 ~ 第 6 照明領域 I R 1 ~ I R 6 は、パターン形成領域 A 3 の Y 方向の全幅をカバーするように、配置されている。

- [0050] 照明光学系 IL は、複数の照明領域 $IR1 \sim IR6$ に応じて複数（第1実施形態では例えば6つ）設けられている。複数の照明光学系（分割照明光学系） $IL1 \sim IL6$ には、光源装置13からの照明光束 $EL1$ がそれぞれ入射する。各照明光学系 $IL1 \sim IL6$ は、光源装置13から入射された各照明光束 $EL1$ を、各照明領域 $IR1 \sim IR6$ にそれぞれ導く。つまり、第1照明光学系 $IL1$ は、照明光束 $EL1$ を第1照明領域 $IR1$ に導き、同様に、第2～第6照明光学系 $IL2 \sim IL6$ は、照明光束 $EL1$ を第2～第6照明領域 $IR2 \sim IR6$ に導く。複数の照明光学系 $IL1 \sim IL6$ は、中心面 CL を挟んで、第1、第3、第5照明領域 $IR1$ 、 $IR3$ 、 $IR5$ が配置される側（図2の左側）に、第1照明光学系 $IL1$ 、第3照明光学系 $IL3$ 及び第5照明光学系 $IL5$ が配置される。第1照明光学系 $IL1$ 、第3照明光学系 $IL3$ 及び第5照明光学系 $IL5$ は、 Y 方向に所定の間隔を空けて配置される。また、複数の照明光学系 $IL1 \sim IL6$ は、中心面 CL を挟んで、第2、第4、第6照明領域 $IR2$ 、 $IR4$ 、 $IR6$ が配置される側（図2の右側）に、第2照明光学系 $IL2$ 、第4照明光学系 $IL4$ 及び第6照明光学系 $IL6$ が配置される。第2照明光学系 $IL2$ 、第4照明光学系 $IL4$ 及び第6照明光学系 $IL6$ は、 Y 方向に所定の間隔を空けて配置される。このとき、第2照明光学系 $IL2$ は、軸方向において、第1照明光学系 $IL1$ と第3照明光学系 $IL3$ との間に配置される。同様に、第3照明光学系 $IL3$ 、第4照明光学系 $IL4$ 、第5照明光学系 $IL5$ は、軸方向において、第2照明光学系 $IL2$ と第4照明光学系 $IL4$ との間、第3照明光学系 $IL3$ と第5照明光学系 $IL5$ との間、第4照明光学系 $IL4$ と第6照明光学系 $IL6$ との間に配置される。また、第1照明光学系 $IL1$ 、第3照明光学系 $IL3$ 及び第5照明光学系 $IL5$ と、第2照明光学系 $IL2$ 、第4照明光学系 $IL4$ 及び第6照明光学系 $IL6$ とは、 Y 方向からみて対称に配置されている。
- [0051] 次に、図4を参照して、各照明光学系 $IL1 \sim IL6$ の詳細な構成について説明する。なお、各照明光学系 $IL1 \sim IL6$ は、同様の構成となっているため、第1照明光学系 $IL1$ （以下、単に照明光学系 IL という）を例に

説明する。

[0052] 照明光学系 I L は、照明領域 I R（第 1 照明領域 I R 1）を均一な照度で照明すべく、光源装置 1 3 からの照明光束 E L 1 を多数の点光源が面状に集合した面光源像に変換するケーラー照明法を適用している。また、照明光学系 I L は、偏光ビームスプリッタ P B S を用いた落射照明系となっている。照明光学系 I L は、光源装置 1 3 からの照明光束 E L 1 の入射側から順に、照明光学モジュール I L M と、偏光ビームスプリッタ P B S と、 $1/4$ 波長板 4 1 とを有する。

[0053] 図 4 に示すように、照明光学モジュール I L M は、照明光束 E L 1 の入射側から順に、コリメータレンズ 5 1 と、フライアイレンズ 5 2 と、複数のコンデンサーレンズ 5 3 と、シリンドリカルレンズ 5 4 と、照明視野絞り 5 5 と、複数のリレーレンズ 5 6 とを含んでおり、第 1 光軸 B X 1 上に設けられている。コリメータレンズ 5 1 は、光源装置 1 3 の導光部材 3 2 の出射側に設けられている。コリメータレンズ 5 1 の光軸は、第 1 光軸 B X 1 上に配置される。コリメータレンズ 5 1 は、フライアイレンズ 5 2 の入射側の面全体を照射する。フライアイレンズ 5 2 は、コリメータレンズ 5 1 の出射側に設けられている。フライアイレンズ 5 2 の出射側の面の中心は、第 1 光軸 B X 1 上に配置される。フライアイレンズ 5 2 は、コリメータレンズ 5 1 からの照明光束 E L 1 を多数の点光源に分割し、各点光源からの光を重畳させて後述のコンデンサーレンズ 5 3 に入射させる。

[0054] このとき、点光源像が生成されるフライアイレンズ 5 2 の出射側の面は、フライアイレンズ 5 2 から照明視野絞り 5 5 を介して後述する投影光学系 P L の第 1 凹面鏡 7 2 に至る各種レンズによって、第 1 凹面鏡 7 2 の反射面が位置する瞳面と光学的に共役となるように配置される。コンデンサーレンズ 5 3 は、フライアイレンズ 5 2 の出射側に設けられ、その光軸は、第 1 光軸 B X 1 上に配置される。コンデンサーレンズ 5 3 は、フライアイレンズ 5 2 の各点光源からの光（照明光束 E L 1）を、シリンドリカルレンズ 5 4 を介して照明視野絞り 5 5 上で重畳するように照射する。シリンドリカルレンズ

54が無い場合、照明視野絞り55上の各点に到達する照明光束EL1の主光線は、いずれも第1光軸BX1と平行となる。しかしながら、シリンDRICALレンズ54の作用によって、照明視野絞り55を照射する照明光束EL1の各主光線は、図4中のY方向では互いに平行（第1光軸BX1とも平行）なテレセントリックな状態となり、XZ面内では、像高位置に応じて第1光軸BX1に対する傾きが順次異なる非テレセントリックな状態になる。

[0055] シリンDRICALレンズ54は、入射側が平面となり出射側が凸円筒面となる平凸シリンDRICALレンズであり、照明視野絞り55の入射側に隣接して設けられる。シリンDRICALレンズ54の光軸は、第1光軸BX1上に配置され、シリンDRICALレンズ54の出射側の凸円筒面の母線は図4中のY軸と平行になるように設けられる。これによって、シリンDRICALレンズ54を通った直後の照明光束EL1の各主光線は、Y方向に関しては互いに第1光軸BX1と平行となり、XZ面内においては第1光軸BX1上のある点（厳密には、第1光軸BX1と直交するY方向に延びる線）に向けて収れんする。

[0056] 照明視野絞り55の開口部は、照明領域IRと同様の形状となる台形状（矩形）に形成されており、照明視野絞り55の開口部の中心は、第1光軸BX1上に配置される。このとき、照明視野絞り55は、照明視野絞り55からマスクMの円筒状の面P1の間のリレーレンズ（結像系）56、偏光ビームスプリッタPBS、1/4波長板41等によって、マスクM上の照明領域IRと光学的に共役な面に配置される。リレーレンズ56は、照明視野絞り55の出射側に設けられている。リレーレンズ56の光軸は、第1光軸BX1上に配置される。リレーレンズ56は、照明視野絞り55の開口部を通った照明光束EL1を、偏光ビームスプリッタPBSと1/4波長板41とを介してマスクMの円筒状の面P1（照明領域IR）に照射する。

[0057] 偏光ビームスプリッタPBSは、照明光学モジュールILMと中心面CLとの間に配置されている。偏光ビームスプリッタPBSは、波面分割面でS偏光の直線偏光となる光束を反射し、P偏光の直線偏光となる光束を透過す

る。ここで、偏光ビームスプリッタPBSに入射する照明光束EL1は、S偏光の直線偏光となる光束であり、偏光ビームスプリッタPBSに入射するマスクMからの反射光（投影光束EL2）は、1/4波長板41によってP偏光の直線偏光となる光束である。

[0058] これにより、偏光ビームスプリッタPBSは、照明光学モジュールILMから波面分割面に入射された照明光束EL1を反射する一方で、マスクMで反射され波面分割面に入射された投影光束EL2を透過する。偏光ビームスプリッタPBSは、波面分割面に入射された照明光束EL1の全てを反射することが好ましいが、波面分割面に入射された照明光束EL1の大部分を反射し、一部を波面分割面で透過または吸収してもよい。同様に、偏光ビームスプリッタPBSは、波面分割面に入射された投影光束EL2の全てを透過することが好ましいが、波面分割面に入射された投影光束EL2の大部分を透過し、一部を反射または吸収してもよい。

[0059] 1/4波長板41は、偏光ビームスプリッタPBSとマスクMとの間に配置され、偏光ビームスプリッタPBSで反射された照明光束EL1を直線偏光（S偏光）から円偏光に変換する。円偏光された照明光束EL1は、マスクMに照射される。1/4波長板41は、マスクMで反射された円偏光の投影光束EL2を直線偏光（P偏光）に変換する。

[0060] ここで、照明光学系ILは、マスクMの面P1上の照明領域IRで反射される投影光束EL2の主光線が、Y方向とXZ面内のいずれにおいても、テレセントリックな状態となるように、マスクMの照明領域IRに照明光束EL1を照明する。その状態を、図5を参照して説明する。

[0061] 図5は、マスクM上の照明領域IRに照射される照明光束EL1と、照明領域IRで反射された投影光束EL2との振る舞いを、XZ面（第1軸AX1と垂直な面）内で誇張して示した図である。図5に示すように、上記した照明光学系ILは、マスクMの照明領域IRで反射される投影光束EL2の主光線がテレセントリック（平行系）となるように、マスクMの照明領域IRに照射される照明光束EL1の主光線を、XZ面では意図的に非テレセン

トリックな状態にし、Y方向に関してはテレセントリックな状態にする。

[0062] 照明光束E L 1のそのような特性は、図4中に示したシリンドリカルレンズ54によって与えられる。具体的には、マスクMの面P 1上の照明領域I Rの周方向の中央の点Q 1を通して第1軸A X 1に向かう線と、マスク面Mの面P 1の半径R mの1/2の円(R m/2)との交点Q 2を設定したとき、照明領域I Rを通る照明光束E L 1の各主光線が、X Z面では交点Q 2に向かうように、シリンドリカルレンズ54の凸円筒面の曲率を設定する。このようにすると、照明領域I R内で反射した投影光束E L 2の各主光線は、X Z面内では、第1軸A X 1、点Q 1、交点Q 2を通る直線と平行（テレセントリック）な状態となる。もちろん、マスクMの面P 1のY方向に関する曲率は無限大とみなせるので、投影光束E L 2の各主光線はY方向に関してテレセントリックな状態となっている。

[0063] 次に、投影光学系P Lにより投影露光される複数の投影領域（露光領域）P A 1～P A 6について説明する。図3に示すように、基板P上の複数の投影領域P A 1～P A 6は、マスクM上の複数の照明領域I R 1～I R 6と対応させて配置されている。つまり、基板P上の複数の投影領域P A 1～P A 6は、中心面C Lを挟んで、搬送方向の上流側の基板P上に第1投影領域P A 1、第3投影領域P A 3及び第5投影領域P A 5が配置され、搬送方向の下流側の基板P上に第2投影領域P A 2、第4投影領域P A 4及び第6投影領域P A 6が配置される。各投影領域P A 1～P A 6は、基板Pの幅方向（Y方向）に延びる短辺及び長辺を有する細長い台形状の領域となっている。このとき、台形状の各投影領域P A 1～P A 6は、その短辺が中心面C L側に位置し、その長辺が外側に位置する領域となっている。第1投影領域P A 1、第3投影領域P A 3及び第5投影領域P A 5は、幅方向に所定の間隔を空けて配置されている。また、第2投影領域P A 2、第4投影領域P A 4及び第6投影領域P A 6は、幅方向に所定の間隔を空けて配置されている。このとき、第2投影領域P A 2は、軸方向において、第1投影領域P A 1と第3投影領域P A 3との間に配置される。同様に、第3投影領域P A 3は、軸

方向において、第2投影領域PA2と第4投影領域PA4との間に配置される。第4投影領域PA4は、軸方向において、第3投影領域PA3と第5投影領域PA5との間に配置される。第5投影領域PA5は、軸方向において、第4投影領域PA4と第6投影領域PA6との間に配置される。各投影領域PA1～PA6は、各照明領域IR1～IR6と同様に、基板Pの搬送方向からみて、隣り合う台形状の投影領域PAの斜辺部の三角部が重なるように（オーバーラップするように）配置されている。このとき、投影領域PAは、隣り合う投影領域PAの重複する領域での露光量が、重複しない領域での露光量と実質的に同じになるような形状になっている。そして、第1～第6投影領域PA1～PA6は、基板P上に露光される露光領域A7のY方向の全幅をカバーするように、配置されている。

[0064] ここで、図2において、XZ面内で見るとき、マスクM上の奇数番の照明領域IR1（及びIR3，IR5）の中心点から偶数番の照明領域IR2（及びIR4，IR6）の中心点までの周長距離は、基板支持ドラム25の支持面P2に倣った基板P上の奇数番の投影領域PA1（及びPA3，PA5）の中心点から偶数番の投影領域PA2（及びPA4，PA6）の中心点までの周長距離と、実質的に等しく設定されている。これは、各投影光学系PL1～PL6の投影倍率を等倍（×1）としたからである。

[0065] 投影光学系PLは、複数の投影領域PA1～PA6に応じて複数（第1実施形態では例えば6つ）設けられている。複数の投影光学系（分割投影光学系）PL1～PL6には、複数の照明領域IR1～IR6から反射された複数の投影光束EL2がそれぞれ入射する。各投影光学系PL1～PL6は、マスクMで反射された各投影光束EL2を、各投影領域PA1～PA6にそれぞれ導く。つまり、第1投影光学系PL1は、第1照明領域IR1からの投影光束EL2を第1投影領域PA1に導き、同様に、第2～第6投影光学系PL2～PL6は、第2～第6照明領域IR2～IR6からの各投影光束EL2を第2～第6投影領域PA2～PA6に導く。複数の投影光学系PL1～PL6は、中心面CLを挟んで、第1、第3、第5投影領域PA1、P

A 3、P A 5 が配置される側（図 2 の左側）に、第 1 投影光学系 P L 1、第 3 投影光学系 P L 3 及び第 5 投影光学系 P L 5 が配置される。第 1 投影光学系 P L 1、第 3 投影光学系 P L 3 及び第 5 投影光学系 P L 5 は、Y 方向に所定の間隔を空けて配置される。また、複数の投影光学系 P L 1 ～ P L 6 は、中心面 C L を挟んで、第 2、第 4、第 6 投影領域 P A 2、P A 4、P A 6 が配置される側（図 2 の右側）に、第 2 投影光学系 P L 2、第 4 投影光学系 P L 4 及び第 6 投影光学系 P L 6 が配置される。第 2 投影光学系 P L 2、第 4 投影光学系 P L 4 及び第 6 投影光学系 P L 6 は、Y 方向に所定の間隔を空けて配置される。このとき、第 2 投影光学系 P L 2 は、軸方向において、第 1 投影光学系 P L 1 と第 3 投影光学系 P L 3 との間に配置される。同様に、第 3 投影光学系 P L 3、第 4 投影光学系 P L 4、第 5 投影光学系 P L 5 は、軸方向において、第 2 投影光学系 P L 2 と第 4 投影光学系 P L 4 との間、第 3 投影光学系 P L 3 と第 5 投影光学系 P L 5 との間、第 4 投影光学系 P L 4 と第 6 投影光学系 P L 6 との間に配置される。また、第 1 投影光学系 P L 1、第 3 投影光学系 P L 3 及び第 5 投影光学系 P L 5 と、第 2 投影光学系 P L 2、第 4 投影光学系 P L 4 及び第 6 投影光学系 P L 6 とは、Y 方向からみて対称に配置されている。

[0066] 次に、図 4 を参照して、各投影光学系 P L 1 ～ P L 6 の詳細な構成について説明する。なお、各投影光学系 P L 1 ～ P L 6 は、同様の構成となっているため、第 1 投影光学系 P L 1（以下、単に投影光学系 P L という）を例に説明する。

[0067] 投影光学系 P L は、マスク M 上の照明領域 I R（第 1 照明領域 I R 1）におけるマスクパターンの像を、基板 P 上の投影領域 P A に投影する。投影光学系 P L は、マスク M からの投影光束 E L 2 の入射側から順に、上記の 1 / 4 波長板 4 1 と、上記の偏光ビームスプリッタ P B S と、投影光学モジュール P L M とを有する。

[0068] 1 / 4 波長板 4 1 及び偏光ビームスプリッタ P B S は、照明光学系 I L と兼用となっている。換言すれば、照明光学系 I L 及び投影光学系 P L は、1

／4波長板41及び偏光ビームスプリッタPBSを共有している。

[0069] 照明領域IRで反射された投影光束EL2は、1／4波長板41により円偏光から直線偏光（P偏光）に変換された後、偏光ビームスプリッタPBSを透過し、テレセントリックな結像光束となって投影光学系PL（投影光学モジュールPLM）に入射する。

[0070] 投影光学モジュールPLMは、照明光学モジュールILMに対応して設けられている。つまり、第1投影光学系PL1の投影光学モジュールPLMは、第1照明光学系IL1の照明光学モジュールILMによって照明される第1照明領域IR1のマスクパターンの像を、基板P上の第1投影領域PA1に投影する。同様に、第2～第6投影光学系PL2～PL6の投影光学モジュールPLMは、第2～第6照明光学系IL2～IL6の照明光学モジュールILMによって照明される第2～第6照明領域IR2～IR6のマスクパターンの像を、基板P上の第2～第6投影領域PA2～PA6に投影する。

[0071] 図4に示すように、投影光学モジュールPLMは、照明領域IRにおけるマスクパターンの像を中間像面P7に結像する第1光学系61と、第1光学系61により結像した中間像の少なくとも一部を基板Pの投影領域PAに再結像する第2光学系62と、中間像が形成される中間像面P7に配置された投影視野絞り63とを備える。また、投影光学モジュールPLMは、フォーカス補正光学部材64と、像シフト用光学部材65と、倍率補正用光学部材66と、ローテーション補正機構67と、偏光調整機構（偏光調整手段）68とを備える。

[0072] 第1光学系61及び第2光学系62は、例えばダイソン系を変形したテレセントリックな反射屈折光学系である。第1光学系61は、その光軸（以下、第2光軸BX2という）が中心面CLに対して実質的に直交する。第1光学系61は、第1偏向部材70と、第1レンズ群71と、第1凹面鏡72とを備える。第1偏向部材70は、第1反射面P3と第2反射面P4とを有する三角プリズムである。第1反射面P3は、偏光ビームスプリッタPBSからの投影光束EL2を反射させ、反射させた投影光束EL2を第1レンズ群

7 1 を通って第 1 凹面鏡 7 2 に入射させる面となっている。第 2 反射面 P 4 は、第 1 凹面鏡 7 2 で反射された投影光束 E L 2 が第 1 レンズ群 7 1 を通って入射し、入射した投影光束 E L 2 を投影視野絞り 6 3 へ向けて反射する面となっている。第 1 レンズ群 7 1 は、各種レンズを含み、各種レンズの光軸は、第 2 光軸 B X 2 上に配置されている。第 1 凹面鏡 7 2 は、フライアイレンズ 5 2 により生成された多数の点光源が、フライアイレンズ 5 2 から照明視野絞り 5 5 を介して第 1 凹面鏡 7 2 に至る各種レンズによって結像する瞳面に配置されている。

[0073] 偏光ビームスプリッタ P B S からの投影光束 E L 2 は、第 1 偏向部材 7 0 の第 1 反射面 P 3 で反射され、第 1 レンズ群 7 1 の上半分の視野領域を通して第 1 凹面鏡 7 2 に入射する。第 1 凹面鏡 7 2 に入射した投影光束 E L 2 は、第 1 凹面鏡 7 2 で反射され、第 1 レンズ群 7 1 の下半分の視野領域を通して第 1 偏向部材 7 0 の第 2 反射面 P 4 に入射する。第 2 反射面 P 4 に入射した投影光束 E L 2 は、第 2 反射面 P 4 で反射され、フォーカス補正光学部材 6 4 及び像シフト用光学部材 6 5 を通過し、投影視野絞り 6 3 に入射する。

[0074] 投影視野絞り 6 3 は、投影領域 P A の形状を規定する開口を有する。すなわち、投影視野絞り 6 3 の開口の形状によって投影領域 P A の形状を規定することができる。従って、図 4 に示した照明光学系 I L 内の照明視野絞り 5 5 の開口形状を、投影領域 P A の形状（台形）と相似形にできる場合は、投影視野絞り 6 3 を省略することができる。また、照明視野絞り 5 5 の開口形状を、投影領域 P A を包含するような長方形とした場合は、台形状の投影領域 P A を規定する投影視野絞り 6 3 が必要となる。

[0075] 第 2 光学系 6 2 は、第 1 光学系 6 1 と同様の構成であり、中間像面 P 7 を挟んで第 1 光学系 6 1 と対称に設けられている。第 2 光学系 6 2 は、その光軸（以下、第 3 光軸 B X 3 という）が中心面 C L に対して実質的に直交し、第 2 光軸 B X 2 と平行になっている。第 2 光学系 6 2 は、第 2 偏向部材 8 0 と、第 2 レンズ群 8 1 と、第 2 凹面鏡 8 2 とを備える。第 2 偏向部材 8 0 は、第 3 反射面 P 5 と第 4 反射面 P 6 とを有する。第 3 反射面 P 5 は、投影視

野絞り 63 からの投影光束 E L 2 を反射させ、反射させた投影光束 E L 2 を第 2 レンズ群 81 を通って第 2 凹面鏡 82 に入射させる面となっている。第 4 反射面 P 6 は、第 2 凹面鏡 82 で反射された投影光束 E L 2 が第 2 レンズ群 81 を通って入射し、入射した投影光束 E L 2 を投影領域 P A へ向けて反射する面となっている。第 2 レンズ群 81 は、各種レンズを含み、各種レンズの光軸は、第 3 光軸 B X 3 上に配置されている。第 2 凹面鏡 82 は、第 1 凹面鏡 72 において結像した多数の点光源像が、第 1 凹面鏡 72 から投影視野絞り 63 を介して第 2 凹面鏡 82 に至る各種レンズによって結像する瞳面に配置されている。

[0076] 投影視野絞り 63 からの投影光束 E L 2 は、第 2 偏向部材 80 の第 3 反射面 P 5 で反射され、第 2 レンズ群 81 の上半分の視野領域を通して第 2 凹面鏡 82 に入射する。第 2 凹面鏡 82 に入射した投影光束 E L 2 は、第 2 凹面鏡 82 で反射され、第 2 レンズ群 81 の下半分の視野領域を通して第 2 偏向部材 80 の第 4 反射面 P 6 に入射する。第 4 反射面 P 6 に入射した投影光束 E L 2 は、第 4 反射面 P 6 で反射され、倍率補正用光学部材 66 を通過し、投影領域 P A に投射される。これにより、照明領域 I R におけるマスクパターンの像は、投影領域 P A に等倍 ($\times 1$) で投影される。

[0077] フォーカス補正光学部材 64 は、第 1 偏向部材 70 と投影視野絞り 63 との間に配置されている。フォーカス補正光学部材 64 は、基板 P 上に投影されるマスクパターンの像のフォーカス状態を調整する。フォーカス補正光学部材 64 は、例えば、2 枚のクサビ状のプリズムを逆向き（図 4 では X 方向について逆向き）にして、全体として透明な平行平板になるように重ね合わせたものである。この 1 対のプリズムを互いに対向する面間の間隔を変えずに斜面方向にスライドさせることにより、平行平板としての厚みを可変にする。これによって第 1 光学系 61 の実効的な光路長を微調整し、中間像面 P 7 及び投影領域 P A に形成されるマスクパターンの像のピント状態が微調整される。

[0078] 像シフト用光学部材 65 は、第 1 偏向部材 70 と投影視野絞り 63 との間

に配置されている。像シフト用光学部材 65 は、基板 P 上に投影されるマスクパターンの像を像面内において微少移動可能に調整する。像シフト用光学部材 65 は、図 4 の XZ 面内で傾斜可能な透明な平行平板ガラスと、図 4 の YZ 面内で傾斜可能な透明な平行平板ガラスとで構成される。その 2 枚の平行平板ガラスの各傾斜量を調整することで、中間像面 P7 及び投影領域 PA に形成されるマスクパターンの像を X 方向や Y 方向に微少シフトさせることができる。

[0079] 倍率補正用光学部材 66 は、第 2 偏向部材 80 と基板 P との間に配置されている。倍率補正用光学部材 66 は、例えば、凹レンズ、凸レンズ、凹レンズの 3 枚を所定間隔で同軸に配置し、前後の凹レンズは固定して、間の凸レンズを光軸（主光線）方向に移動させるように構成したものである。これによって、投影領域 PA に形成されるマスクパターンの像は、テレセントリックな結像状態を維持しつつ、等方的に微少量だけ拡大または縮小される。なお、倍率補正用光学部材 66 を構成する 3 枚のレンズ群の光軸は、投影光束 EL2 の主光線と平行になるように XZ 面内では傾けられている。

[0080] ローテーション補正機構 67 は、例えば、アクチュエータ（図示略）によって、第 1 偏向部材 70 を第 2 光軸 BX2 と垂直で Z 軸に平行な軸周りに微少回転させるものである。このローテーション補正機構 67 は、第 1 偏向部材 70 を回転させることによって、中間像面 P7 に形成されるマスクパターンの像を、その中間像面 P7 内で微少回転させることができる。

[0081] 偏光調整機構 68 は、例えば、アクチュエータ（図示略）によって、 $1/4$ 波長板 41 を、板面に直交する軸周りに回転させて、偏光方向を調整するものである。偏光調整機構 68 は、 $1/4$ 波長板 41 を回転させることによって、投影領域 PA に投射される投影光束 EL2 の照度を微調整することができる。

[0082] このように構成された投影光学系 PL において、マスク M からの投影光束 EL2 は、その各主光線が照明領域 IR 内のマスク M の面 P1 からテレセントリックな状態で出射し、 $1/4$ 波長板 41 及び偏光ビームスプリッタ PB

S を通って第 1 光学系 6 1 に入射する。第 1 光学系 6 1 に入射した投影光束 E L 2 は、第 1 光学系 6 1 の第 1 偏向部材 7 0 の第 1 反射面（平面鏡）P 3 で反射され、第 1 レンズ群 7 1 を通って第 1 凹面鏡 7 2 で反射される。第 1 凹面鏡 7 2 で反射された投影光束 E L 2 は、再び第 1 レンズ群 7 1 を通って第 1 偏向部材 7 0 の第 2 反射面（平面鏡）P 4 で反射されて、フォーカス補正光学部材 6 4 及び像シフト用光学部材 6 5 を透過して、投影視野絞り 6 3 に入射する。投影視野絞り 6 3 を通った投影光束 E L 2 は、第 2 光学系 6 2 の第 2 偏向部材 8 0 の第 3 反射面（平面鏡）P 5 で反射され、第 2 レンズ群 8 1 を通って第 2 凹面鏡 8 2 で反射される。第 2 凹面鏡 8 2 で反射された投影光束 E L 2 は、再び第 2 レンズ群 8 1 を通って第 2 偏向部材 8 0 の第 4 反射面（平面鏡）P 6 で反射されて、倍率補正用光学部材 6 6 に入射する。倍率補正用光学部材 6 6 から出射した投影光束 E L 2 は、基板 P 上の投影領域 P A に入射し、照明領域 I R 内に現れるマスクパターンの像が投影領域 P A に等倍（ $\times 1$ ）で投影される。

[0083] <マスクのパターンの投影像面と基板の露光面との関係>

次に、第 1 実施形態の露光装置 U 3 におけるマスクのパターンの投影像面と基板の露光面との関係について、図 6 A、及び図 6 B を参照して説明する。図 6 A は、マスクのパターンの投影像面と基板の露光面との関係を示す説明図である。図 6 B は、投影領域内に投影されるパターン像のフォーカス位置（デフォーカス量）の変化を概略的に示す説明図である。

[0084] 露光装置 U 3 は、投影光学系 P L によって投影光束 E L 2 が結像されることで、マスク M のパターンの投影像面 S m が形成される。投影像面 S m は、マスク M のパターンが結像される位置であり、ベストフォーカスとなる位置である。ここで、マスク M は、上述したように曲率半径 R m の曲面（Z X 平面において曲線）で配置されている。これにより投影像面 S m も曲率半径 R m の曲面となる。また、露光装置 U 3 は、基板 P の表面が露光面 S p となる。ここで、露光面 S p とは、基板 P の表面である。基板 P は、上述したように円筒形状の基板支持ドラム 2 5 に保持されている。これにより、露光面 S

pは、曲率半径 R_p の曲面（ZX平面において曲線）となる。また、投影像面 S_m と露光面 S_p は、走査露光方向に直交する方向が曲面の軸となる。

[0085] このため、図6Aに示すように投影像面 S_m と露光面 S_p は、走査露光方向（基板支持ドラム25の外周面の周方向）に対して曲がった面となる。従って、投影像面 S_m は、投影領域PAの走査露光方向における露光幅Aの両端位置と中心位置とで、投影光束 E_L2 の主光線の方に最大 ΔF_m の面位置差を伴って湾曲し、露光面 S_p は、投影領域PAの走査露光方向における露光幅Aの両端位置と中心位置とで、投影光束 E_L2 の主光線の方に最大 ΔF_p の面位置差を伴って湾曲している。ここで、露光装置U3は、図6Aのように、投影像面 S_m に対して、実際の露光時に位置する露光面 S_p （基板Pの表面）が実露光面 S_{pa} となるように、マスクMの第1軸 A_{X1} と基板支持ドラム25の第2軸 A_{X2} とが露光装置本体に軸支される。

[0086] 実露光面 S_{pa} は、走査露光方向において、投影像面 S_m と異なる2つの位置FC1、FC2で交わる。なお、露光装置U3は、投影光学系PLの各光学部材の位置を調整したり、マスク保持機構11及び基板支持機構12のいずれか一方によりマスクMと基板Pとの間隔を微調整したり、或いはフォーカス補正光学部材64を調整することで、投影像面 S_m に対する実露光面 S_{pa} の法線方向（フォーカス調整方向）の位置を変化させることができる。

[0087] 投影像面 S_m と実露光面 S_{pa} は、投影領域PAの走査露光方向の露光幅A内において、異なる2つの位置FC1、FC2の各々で交わるように設定される。従って、露光幅A内の位置FC1と位置FC2の各々では、マスクMのパターン像が基板Pの表面にベストフォーカス状態で投影露光される。また、露光幅A内の位置FC1と位置FC2との間の領域では、投影されるパターン像のベストフォーカス面（投影像面 S_m ）が実露光面 S_{pa} よりも後方に位置する後ピント状態となり、位置FC1と位置FC2との間よりも外側の領域では、投影されるパターン像のベストフォーカス面（投影像面 S_m ）が実露光面 S_{pa} よりも前方に位置する前ピント状態となっている。

[0088] 即ち、実露光面 S_{pa} に沿って基板 P の表面が、露光幅 A の一方の端部 A_s から他方の端部 A_e に向かう場合、基板 P 上のパターン像は、露光開始時の端部 A_s の位置では所定のデフォーカス量を伴って露光され、その後、時間と共にデフォーカス量が減少し、位置 $FC1$ ではベストフォーカス（デフォーカス量がゼロ）で露光される。位置 $FC1$ でのベストフォーカス状態を過ぎると、デフォーカス量は逆方向に増加し、露光幅 A の中心位置 $FC3$ で最大のデフォーカス量となる。露光幅 A の中心位置 $FC3$ を変曲点として、その後はデフォーカス量が減少し、位置 $FC2$ で再びベストフォーカス状態でパターン像が基板 P 上に露光される。位置 $FC2$ でのベストフォーカス状態を過ぎると、デフォーカス量が再び増加し、他方の端部 A_e でパターン像の露光が終わる。このように、位置 $FC1$ と位置 $FC2$ の間の領域と、位置 $FC1$ と位置 $FC2$ の間よりも外側の領域とでは、デフォーカスの方向、即ち、デフォーカスの符号が異なる。

[0089] 以上のように、基板 P が投影領域 PA の露光幅 A の端部 A_s から端部 A_e に渡って一定の周速度で移動している間、基板 P 上に投影されるパターン像中の各点は、図 6 B に示すように、前ピント状態（位置 A_s ）で露光が開始され、ベストフォーカス状態（位置 $FC1$ ）、後ピント状態（位置 $FC3$ ）、ベストフォーカス状態（位置 $FC2$ ）、前ピント状態（位置 A_e ）の順で連続的に変化しながら基板 P 上に露光される。図 6 B の縦軸のフォーカス位置（又はデフォーカス量）のゼロは、投影像面 S_m の位置と実露光面 S_{pa} の位置との差分（ $S_m - S_{pa}$ ）がゼロとなるベストフォーカス状態である。尚、図 6 B の横軸は、露光幅 A の直線的な位置を表すが、基板支持ドラム 25 の外周面の周長方向の位置としても良い。

[0090] 露光幅 A の端部 A_s 、 A_e での前ピント状態（正方向）でのデフォーカス量、中心位置 $FC3$ での後ピント状態（負方向）でのデフォーカス量は、投影光学系 PL の結像性能（解像力、焦点深度）、投影領域 PA の露光幅 A 、投影すべきマスクパターンの最小寸法、マスク M の面 $P1$ （投影像面 S_m ）の曲率半径 R_m 、基板支持ドラム 25 の外周面（基板 P 上の露光面 S_{pa} ）

の曲率半径 R_p によって好適な範囲が決まる。具体的な数値例は後述するが、このように、露光幅 A に渡る走査露光の間に、フォーカス状態を連続的に変えることにより、マスクパターン中の、特に単独の細い線や離散的なコンタクトホール（ビアホール）等の孤立パターンの見かけ上の焦点深度を拡大することができる。

[0091] また、本実施形態では、マスク M の面 P_1 と基板 P の表面を円筒形状にすることで、マスクパターンが基板 P 側に投影される走査露光方向の投影像面と、露光される基板の露光面とに円筒形状差をつけることができる。そのため、露光装置 U_3 は、マスク M と基板支持ドラム 25 の回転運動だけで、投影領域 PA 内の走査露光方向の位置に応じて、フォーカス状態を連続的に変化させることができ、さらに、実質的なフォーカスに対する像コントラスト変化を抑制することができる。また、本実施形態では、投影領域 PA 内で、走査露光方向の2箇所でもベストフォーカスとなるように露光幅 A を設定するので、露光幅 A 内での平均的なデフォーカス量を小さくしつつ、露光幅 A を大きくすることができる。これにより、投影光束 EL_2 の照度を小さくした場合、或いは、走査露光方向のマスク M や基板 P の走査速度を早くした場合も、適正な露光量を確保することができ、これにより、高い生産効率で基板を処理することができる。また、露光幅に対して平均的なデフォーカス量を小さくできるため、品質も維持することができる。

[0092] 本実施形態では、露光幅 A の座標位置（周長位置）に応じてフォーカス位置が異なって露光され、結果的に、露光幅 A に渡って異なるフォーカス状態で基板 P 上に投影されたパターン像の積算された像が、基板 P の露光面上に形成される最終的な像強度分布になる。ここで、積算された像に関して説明するが、簡単のため、まずは、点像強度分布でその概念を説明する。概ね点像強度分布は、そのコントラストと相関関係にある。光軸方向（フォーカス変化方向）に z だけデフォーカスした位置での点像強度分布 $I(z)$ は次式となる。ここで、 λ を照明光束 EL_1 の波長、 NA を投影光学系 PL の基板側の開口数、 I_0 を理想のベストフォーカス位置での強度分布とし、

$$\Delta D z = (\pi / 2 / \lambda) \times N A^2 \times z、$$

とすると、点像強度分布 $I(z)$ は、

$$I(z) = [\sin(\Delta D z) / (\Delta D z)]^2 \times I_0$$

となる。

[0093] このような点像強度分布 $I(z)$ を用いると、露光幅 A 分の積算値（または平均値）を求め、更に、実際の中心位置（図 6 A 中の中心位置 $FC3$ ）でのデフォーカス量を横軸に取って、各デフォーカス量毎の強度分布をシミュレーションとして求めることができる。これに基づいて、露光装置 $U3$ がフォーカス状態（投影像面 S_m と実露光面 S_{pa} の位置関係）を調整することで、露光の際に得られるパターン像の強度分布（像コントラスト）を最適な状態に調整することができる。

[0094] また、一般に投影光学系 PL の解像力 R と焦点深度 DOF は、次式のように表される。

$$R = k_1 \cdot \lambda / NA \quad (0 < k_1 \leq 1)$$

$$DOF = k_2 \cdot \lambda / NA^2 \quad (0 < k_2 \leq 1)$$

ここで、 k_1 、 k_2 は、露光条件や感光材料（フォトレジスト等）、或いは露光後の現像処理や成膜処理によっても変わり得る係数であるが、解像力 R の k_1 ファクターは、おおよそ $0.4 \leq k_1 \leq 0.8$ の範囲であり、焦点深度 DOF の k_2 ファクターは、おおよそ $k_2 \div 1$ と表すことができる。

[0095] そのような投影光学系 PL の焦点深度 DOF の定義に基づき、本実施形態では、近似的に以下の関係式を満たすように調整しておくことが好ましい。

[数1]

$$DOF / 2 < (\Delta R_m + \Delta R_p) \leq 3 \cdot DOF$$

[0096] ここで、 ΔR_m 、 ΔR_p は、投影像面 S_m （マスク M の面 P_1 ）の曲率半径 R_m 、基板 P の表面（実露光面 S_{pa} ）の曲率半径 R_p 、及び露光幅 A に基づいて、それぞれ以下の式で求められる。

[数2]

$$\Delta R_m = R_m - \sqrt{R_m^2 - (A/2)^2}$$

[数3]

$$\Delta R_p = R_p - \sqrt{R_p^2 - (A/2)^2}$$

[0097] この式から明らかなように、 ΔR_m と ΔR_p は、各々、図6Aで示した ΔF_m 、 ΔF_p を表す。また、上記の関係式1は、さらには、 $DOF < (\Delta R_m + \Delta R_p)$ を満たすことが好ましい。本実施形態の露光装置U3では、上記の関係式1を満足するように露光幅A、曲率半径 R_m 、 R_p が決定されるが、上記の関係式1を満たすことによって、基板P上に形成される表示パネル用の各種パターンの品質（線幅精度、位置精度、重ね精度等）を維持しつつ、生産性を高めることができる。この点については、第2実施形態で詳細に説明する。

[0098] また、本実施形態では、露光幅A内でのデフォーカス量の変化範囲、すなわち、図6Bに示した端部As、Aeでの正方向のデフォーカス量と、露光幅Aの中心位置FC3での負方向のデフォーカス量との差を ΔDA としたとき、投影光学系PLの焦点深度DOFとの関係から、 $0.5 \leq (\Delta DA / DOF) \leq 3$ の関係を満たすように設定することも好ましく、さらには、 $1 \leq (\Delta DA / DOF)$ を満たすことが好ましい。この関係を満たすように露光装置U3を設定することにより、基板P上に形成される表示パネル用の各種パターンの品質（線幅精度、位置精度、重ね精度等）を維持しつつ、生産性を高めることができる。この点についても、第2実施形態で詳細に説明する。

[0099] また、露光装置U3は、本実施形態の図6Bのように、マスクMのパターンの投影像面Smと、基板Pの実露光面Spaとの走査露光方向に関する差が、投影領域PAの露光幅Aの中心位置FC3を軸として線対称（図6Bでは左右対称）に変化するように設定されることが好ましい。

[0100] また、本実施形態では、図6Bに示すように、投影領域PAの露光幅A内で、デフォーカス量が正となる端部Asから位置FC1までの区間と位置FC2から端部Aeまでの区間とにおいて、正方向のデフォーカス量を積分した値（絶対値）と、デフォーカス量が負となる位置FC1から位置FC2までの区間において、負方向のデフォーカス量を積分した値（絶対値）とを比較し、両者がほぼ等しくなるように、投影像面Smと実露光面Spaの位置関係を設定しても良い。

[0101] 本実施形態の露光装置U3は、複数の投影光学モジュールPLMを走査露光方向に少なくとも2列で配置し、走査露光方向と直交するY方向においては、隣接する投影光学モジュールPLMの投影領域PAの端部（三角形部分）同士をオーバーラップさせて、マスクMのパターンをY方向に継いで露光するようにした。これにより、Y方向に隣接する2つの投影領域PA間の継ぎ部（オーバーラップ領域）でのパターン像のコントラストや、露光量が異なることによる帯状のムラの発生が抑制される。本実施形態では、それに加えて、実露光面Spa（基板Pの表面）上の投影領域PA内の走査露光方向に関して、ベストフォーカス位置が2箇所（位置FC1、FC2）できるように、投影像面Smと実露光面Spaとの位置関係を設定したので、走査露光中に投影像面Smと実露光面Spaとの位置関係が多少変動する動的なデフォーカスで生じる像コントラストの変化を小さくすることができる。その為、隣接する投影領域PA間のオーバーラップ領域で発生する像コントラストの差も小さくすることができ、継ぎ部が目立たない高品質なフレキシブル表示パネルを製造することができる。

[0102] 本実施形態のように、複数の投影光学モジュールPLMの各投影領域PAを、走査露光方向（X方向）と直交するY方向に並べる際、各投影領域PAの走査露光方向の幅に渡って基板P上での照度（露光光の強度）を積算した積算値は、走査露光方向に直交するY方向のどの位置においても略一定となることが好ましい。なお、Y方向に隣接する2つの投影領域PAの端部が一部重なる部分（三角形のオーバーラップ領域）でも、一方の三角形の領域で

の積算値と他方の三角形の領域での積算値との合計が、オーバーラップしない領域での積算値と同じになるように設定される。これによって、走査露光方向に直交する方向において露光量が増加することを抑制することができる。

[0103] また、露光装置U3は、投影像面S_m及び露光面S_p（実露光面S_{p a}）を円筒面とすることで、本実施形態のように複数の投影光学モジュールP L Mを走査露光方向に複数配置（奇数番と偶数番の2列を配置）しても、それぞれの投影光学モジュールP L Mで投影像面S_mと露光面S_p（実露光面S_{p a}）との関係が、どれも同じになる為、それらの関係を共に調整することができる。通常のマルチレンズ方式の投影露光装置のように、投影像面及び露光面が平面である場合、例えば、奇数番の投影光学モジュールの投影領域において、焦点深度を広げるべく投影像面に対して露光面（平面基板の表面）を傾斜させると、偶数番の投影光学モジュールの投影領域では、許容し難い大きなデフォーカスが発生してしまう。これに対して、本実施形態のように、投影像面S_m及び露光面S_p（実露光面S_{p a}）を円筒面とすることで、走査露光方向に並んだ2列の投影光学モジュールP L Mの各投影領域P Aでのフォーカス調整は、円筒状のマスクMの回転中心の第1軸A X 1と基板支持ドラム25の回転中心の第1軸A X 1とのZ方向の間隔、或いは個々の投影光学モジュールP L M内の倍率補正用光学部材66の調整で簡単に実現可能である。これにより、簡単な装置構成で、デフォーカスに対する像コントラスト変化を抑制することができる。像コントラストの変化を抑制しつつ、走査露光領域における露光幅を大きく出来るため、生産効率も向上させることができる。

[0104] [第2実施形態]

次に、図7参照して、第2実施形態の露光装置U3 aについて説明する。なお、重複する記載を避けるべく、第1実施形態と異なる部分についてのみ説明し、第1実施形態と同様の構成要素については、第1実施形態と同じ符号を付して説明する。図7は、第2実施形態の露光装置（基板処理装置）の

全体構成を示す図である。第1実施形態の露光装置U3は、円筒状の基板支持ドラム25で、投影領域PAを通過する基板Pを保持する構成であったが、第2実施形態の露光装置U3aは、基板Pを平面状に支持して移動可能な基板支持機構12aに保持する構成となっている。

[0105] 第2実施形態の露光装置U3aにおいて、基板支持機構12aは、平面状に基板Pを保持する基板ステージ102と、基板ステージ102を中心面CLと直交する面内でX方向に沿って走査移動させる移動装置（図示略）とを備える。従って、基板Pはフレキシブルな薄いシート（PET、PEN等の樹脂フィルム、極薄の曲がるガラスシート、薄い金属製のフォイル等）の他に、ほとんど曲がらない枚葉のガラス基板であっても良い。

[0106] 図7の基板Pの支持面P2は実質的にXY面と平行な平面（曲率半径 ∞ ）であるので、マスクMから反射され、各投影光学モジュールPLMを通過し、基板Pに投射される投影光束EL2の主光線は、XY面と垂直になる。

[0107] また、第2実施形態においても、先の図2と同様に、XZ面内で見たととき、円筒状のマスクM上の照明領域IR1（及びIR3、IR5）の中心点から照明領域IR2（及びIR4、IR6）の中心点までの周長は、支持面P2に倣った基板P上の投影領域PA1（及びPA3、PA5）の中心点から第2投影領域PA2（及びPA4、PA6）の中心点までのX方向の直線距離と、実質的に等しく設定されている。

[0108] 図7の露光装置U3aにおいても、下位制御装置16が、基板支持機構12aの移動装置（走査露光用のリニアモータや微動用のアクチュエータ等）を制御し、マスク保持ドラム21の回転と同期して基板ステージ102を駆動する。

[0109] 次に、第2実施形態の露光装置U3aにおけるマスクのパターンの投影像面と基板の露光面との関係について、図8を参照して説明する。図8は、マスクのパターンの投影像面と基板の露光面との関係を示す説明図である。

[0110] 露光装置U3aは、投影光学系PLによって投影光束EL2が結像されることで、マスクMのパターンの投影像面Sm1を形成する。投影像面Sm1

は、マスクMの円筒状のマスクパターン面がベストフォーカス状態で結像される面であり、円筒面となる。ここで、マスクM上の照明領域I Rは、上述したように曲率半径 R_{m1} の曲面（XZ面内では円弧）の一部であるから、投影像面 S_{m1} も曲率半径 R_{m1} の曲面（XZ面内では円弧）の一部となる。また、マスクパターンの像が投影される基板Pの平面状の表面が露光面 S_{p1} （曲率半径 ∞ ）となる。このため、図8に示すように、奇数番の投影領域PAの投影像面 S_{m1} （左側）と偶数番の投影領域PAの投影像面 S_{m1} （右側）は、いずれも走査露光方向（X方向）に関して円筒状に湾曲し、先の図6Aで示したのと同様に、投影領域PAの走査露光方向における露光幅A内において、両端のフォーカス位置と露光幅Aの中心でのフォーカス位置との差分である面位置差（フォーカス変化幅） ΔF_m を持つ。ここで、走査露光時に、基板Pの表面は実露光面 S_{pa1} に配置されるものとする。露光面 S_{p1} 及び実露光面 S_{pa1} は、平面であるため、投影領域PAの走査露光方向における露光幅A内では、Z方向の面位置の変化量が0となる。実露光面 S_{pa1} は、投影像面 S_{m1} 上で走査露光方向に離れた異なる2つの位置FC1、FC2で交わるように設定される。すなわち、露光装置U3aは、投影光学系PL内の倍率補正用光学部材66等を調整したり、マスク保持機構11（第1軸AX1）及び基板ステージ102のいずれか一方をZ方向に微動させたりすることで、投影像面 S_{m1} と実露光面 S_{pa1} の相対位置関係を所定の状態に設定する。

[0111] 2つの位置FC1、FC2の各々は、その位置において、投影像面 S_{m1} 内のマスクパターン像をベストフォーカス状態で露光する位置である。

[0112] これにより、本実施形態においても、円筒状のマスクMの回転運動により、走査露光方向の露光幅A内で、フォーカス状態を所定の範囲内で連続的に変化させる走査露光ができ、さらに、実質的なフォーカス変動に対する像コントラスト変化を抑制することができる。このように、露光面 S_{p1} （実露光面 S_{pa1} ）が平面であっても、投影像面 S_{m1} を走査露光方向に湾曲した円筒面状にすることにより、基板Pを傾けることなく、基板P上に露光さ

れるマスクパターン像の焦点深度を見かけ上で拡大する効果が得られると共に、像コントラストの変化を抑制することができる。このような作用効果は、通常の平面マスクからのパターン像を円筒面状に支持される基板の表面（露光面）に投影露光する場合でも同様に得られる。

[0113] ところで、本実施形態の場合、図8に示した面位置差（フォーカス変化幅） ΔF_m は、先の式2の ΔR_m と同じであるので、

[数4]

$$\Delta R_m = R_m - \sqrt{R_m^2 - (A/2)^2}$$

で求められる。そこで、この式2をベースとして、図7の露光装置U3aにおける投影状態や結像特性等の各種シミュレーションを行ってみると、図9～図17のような結果が得られる。

[0114] なお、そのシミュレーションに際して、円筒状のマスクMの面P1（投影像面S_{m1}）の半径R_mを250mm（直径φで500mm）、露光用の照明光束EL1の波長λをi線（365nm）、投影光学系PLを開口数NAが0.0875の等倍の理想投影系とし、露光面S_{p1}（実露光面S_{pa1}）は曲率半径が∞の平面とした。プロセスに依存する焦点深度DOFのk2ファクターを1.0とすると、そのような投影光学系PLの焦点深度DOFは、 λ/NA^2 より、幅で約48μm（ベストフォーカス面に対してほぼ±24μmの範囲）となる。尚、以下のシミュレーションでは、便宜上、焦点深度DOFを幅で40μm（ベストフォーカス面に対してほぼ±20μmの範囲）とする場合もある。

[0115] さて、図9は、そのような投影光学系PLによる露光幅A内でのデフォーカス特性C_mを示し、横軸は露光幅Aの中心位置を原点としたX方向の座標を表し、縦軸はベストフォーカス位置を原点（ゼロ点）とした投影像面S_{m1}のデフォーカス量を表す。この図9のグラフは、先の式2において、露光幅Aを20mmとし、その幅Aの座標位置を-10mmから+10mmの間で変化させて得られる面位置差 ΔR_m をプロットしたものでもある。図9の

グラフのように、マスクMの面P 1（投影像面S m 1）が走査露光方向に円筒面状に湾曲することに起因して、露光幅A内でのデフォーカス特性C mは、円弧状に変化する。

[0116] 図10は、図9に示したデフォーカス特性C mにおいて、その点像強度が焦点深度D O Fの幅の変化に対して、どのように変化するかをシミュレーションしたグラフであり、横軸は、基板Pの表面やマスクパターン面の面精度の誤差、投影光学系P Lの像面方向の収差等により発生し得るフォーカス方向のボケ量（デフォーカス特性C mに対する基板Pの表面のフォーカス方向のズレ）を表し、縦軸は点像強度の値を表す。図10においては、図9中のデフォーカス特性C mの下で、焦点深度D O Fが $0 \times D O F$ の場合に算出される点像強度分布のうち、露光幅Aの中心（原点）での点像強度を1.0として規格化してある。図11は、露光幅A内で円弧状に変化する図9のデフォーカス特性C mの変化量と強度差（強度変化量）との関係の一例をシミュレーションしたグラフである。図12は、装置が設定したベストフォーカス時と装置で発生するデフォーカスを $24 \mu m$ とした時の、露光幅A内で円弧状に変化するデフォーカス特性C mと、ラインアンドスペース（L/S、L & S）パターンのコントラスト変化との関係の一例をシミュレーションしたグラフである。図13は、同様に露光幅A内で円弧状に変化するデフォーカス特性C mとL/Sパターンのコントラスト比の変化との関係の他の例をシミュレーションしたグラフである。図14は、露光幅A内で円弧状に変化するデフォーカス特性C mとL/SパターンのC D値（クリチカル・ディメンジョン）及びスライスレベルとの関係の一例をシミュレーションしたグラフである。図15は、露光幅A内で円弧状に変化するデフォーカス特性C mと孤立線（I S Oパターン）のコントラスト変化との関係の一例をシミュレーションしたグラフである。図16は、露光幅A内で円弧状に変化するデフォーカス特性C mと孤立線のコントラスト比の変化との関係の他の例をシミュレーションしたグラフである。図17は、露光幅内Aで円弧状に変化するデフォーカス特性C mと孤立線のC D値及びスライスレベルとの関係の一例を

シミュレーションしたグラフである。

[0117] まず、上記条件の下で、露光幅A内で円弧状に変化するデフォーカス特性 C_m を、焦点深度DOF単位で振った場合に生じるデフォーカス量に対する点像強度分布 $I(z)$ を、図10のように求める。点像強度分布は先に説明した式、

$$I(z) = [\sin(\Delta D z) / (\Delta D z)]^2 \times I_0,$$

$$\Delta D z = (\pi / 2 / \lambda) \times N A^2 \times z$$

にて求められる。

[0118] 次に、仮にデフォーカス量の平均をベストフォーカスとなるように基板を調整した場合の点像強度分布を露光幅A内で円弧上に変化するデフォーカス幅を種々の値、例えば、0, $1 \times DOF$, $2 DOF$, $3 \times DOF$, $4 \times DOF$ とした場合について、算出する。また、露光幅A内で円弧上に変化するデフォーカス幅が種々の場合について、当該デフォーカス量及びそのスリット幅を基準として、その位置からデフォーカスさせた場合の点像強度分布を算出する。このようにして、算出した露光幅Aで一義的に決まる各露光幅A内で円弧上に変化するデフォーカス幅時の点像強度分布とデフォーカスの関係をまとめた。具体的には、露光装置U3aで露光幅内で円弧上に変化するデフォーカス幅を、0, $0.5 \times DOF$, $1 \times DOF$, $1.5 \times DOF$, $2 \times DOF$, $2.5 \times DOF$, $3 \times DOF$, $3.5 \times DOF$, $4 \times DOF$ とした場合のそれぞれについて、点像強度分布と露光時に想定されるフォーカス誤差、デフォーカスの関係を算出した。

[0119] 次に、仮にデフォーカス量の平均をベストフォーカスとなるように基板Pを調整した場合の点像強度分布を、露光幅A内で円弧状に変化するデフォーカス特性 C_m を種々の値、例えば、 $0 \times DOF$, $1 \times DOF$, $2 \times DOF$, $3 \times DOF$, $4 \times DOF$ とした場合について、算出する。また、露光幅A内で円弧状に変化するデフォーカス特性 C_m が種々の場合について、当該デフォーカス量及びそのスリット幅を基準として、その位置からデフォーカスさせた場合の点像強度分布を算出する。このようにして、算出した露光幅Aで

一義的に決まる各デフォーカス特性 C_m 時の点像強度分布とデフォーカスの関係をまとめた。具体的には、露光装置U3aとしてシミュレーション上で設定される図9のようなデフォーカス特性 C_m を、 $0 \times DOF$, $0.5 \times DOF$, $1 \times DOF$, $1.5 \times DOF$, $2 \times DOF$, $2.5 \times DOF$, $3 \times DOF$, $3.5 \times DOF$, $4 \times DOF$ とした場合のそれぞれについて、点像強度分布と、露光時に想定されるフォーカス誤差（設定される投影像面 S_{m1} と基板Pの表面との設定すべき位置関係からのズレ）の関係を算出した。これが、図10のグラフに相当する。

[0120] 図10において、横軸をデフォーカス量 $[\mu m]$ とし、縦軸を規格化した点像強度値とした。なお、露光装置U3aは、円筒状のマスクパターン面、即ち、投影像面 S_{m1} の回転運動を行って、投影光束 E_{L2} を基板P上に投射するので、露光時に想定されるフォーカス誤差が2次的な変化をする。そのため、デフォーカスのプラス側とマイナス側で点像の振る舞いが若干異なる。本実施形態では、デフォーカスが $+40 \mu m$ となる位置の像強度と $-40 \mu m$ となる位置の像強度とが対称の強度となる位置をベストフォーカスとしている。図10のグラフに示すように、回転による振り幅が大きくなるにしたがって、つまり、露光領域内で、図9のようなデフォーカス特性 C_m に沿ってデフォーカス幅が大きくなるにしたがって、ベストフォーカス時の点像強度が低くなり、デフォーカス時の点像強度の変化も小さくなっている。

[0121] 次に、露光幅A内で円弧状に変化するデフォーカス特性 C_m を変えた場合の各々についての点像強度変化、すなわち点像強度の最大値と最小値との差を算出し、さらに露光幅A内でデフォーカス特性 C_m が $0.5 DOF$ だけ異なる2つの点における点像強度変化の差を算出した。その算出結果を図11に示す。図11の縦軸は、2つの点像強度変化の差分量を表し、横軸は、 $0.5 DOF$ 毎にデフォーカス特性 C_m を変化させたときに差分量を求める対象を表す。すなわち、図11の横軸において、例えば、一番左の点像強度差（約 0.02 ）は、デフォーカス特性 C_m を $0 \times DOF$ 変化させたときと、 $0.5 \times DOF$ 変化させたときとの差分である。この図11のシミュレーシ

ョン結果によると、点像強度変化の差は、デフォーカス特性 C_m が $0.5 \times DOF$ 分変化した状態から $1 \times DOF$ 分変化した状態へ遷移するときと、デフォーカス特性 C_m が $2.5 \times DOF$ 分変化した状態から $3 \times DOF$ 分変化した状態に遷移するときに、総じて差が大きい。つまり、 $0.5 \times DOF$ から $3 \times DOF$ の範囲は、デフォーカス量の変化に対して点像強度変化が緩やかになる効果が高いことになる。したがって、デフォーカス特性 C_m に沿ったデフォーカス量は、焦点深度 DOF の 0.5 倍から 3 倍までの振り幅になるように設定するのが、効果が高いことがわかる。

[0122] なお、図10に示すグラフにおいて、基板Pの表面に感光層としてフォトレジストが一定の厚さで塗布されている場合、そのフォトレジスト上に像として形成される点像強度の値は、使用するレジスト等により異なるが、実験によると解像力の k_1 ファクターが 0.5 程度の場合、点像強度が概ね 0.6 以上となれば、像として形成することができる。

ここで、露光装置として見込むフォーカス誤差を、焦点深度 DOF の定義式 λ / NA^2 までのデフォーカス幅（本実施形態では、 $\pm 24 \mu m$ ）とすると、露光領域内でのデフォーカスの振り幅であるデフォーカス幅を $2.5 \times DOF$ とすることで、像強度の変化が少なく、良好にマスクパターンの像を形成することができる。

[0123] 次に、投影すべきマスクパターンを L/S （ラインアンドスペース）パターンとした場合について各種演算を行った。ここで、以下では、デフォーカスの考慮対象を焦点深度の定義式の範囲、つまり、本実施形態では、 $\pm 24 \mu m$ とする。 L/S （ラインアンドスペース）パターンは、線幅 $2.5 \mu m$ の線状パターンの複数本が、線幅方向に $2.5 \mu m$ 間隔で格子状に配列されたパターンとした。さらに、結像状態は、照明条件によっても異なるため、本実施形態では、照明光学系 IL による照明条件である照明開口数 σ を 0.7 とした。

[0124] まず、図9に示したデフォーカス特性 C_m を種々に変化させた場合、即ち上記と同様に、 $0 \times DOF$ 、 $0.5 \times DOF$ 、 $1 \times DOF$ 、 $1.5 \times DOF$

、 $2 \times \text{DOF}$ 、 $2.5 \times \text{DOF}$ 、 $3 \times \text{DOF}$ 、 $3.5 \times \text{DOF}$ 、 $4 \times \text{DOF}$ と、 0.5 DOF 単位で変化させた場合について、ベストフォーカス状態のL/Sパターン像の光強度分布と、 $\text{DOF}/2$ のデフォーカス状態、つまり $+24 \mu\text{m}$ または $-24 \mu\text{m}$ でデフォーカスした状態のL/Sパターン像の光強度分布を算出した。

[0125] その算出結果に基づいて、ベストフォーカス状態と、 $\text{DOF}/2$ のデフォーカス状態との各々でコントラストの変化を算出し、それをプロットしたものが図12である。図12の横軸は、露光幅A内で円弧状に変化するデフォーカス特性Cmのデフォーカス幅を表し、縦軸はコントラストを表し、ベストフォーカス状態のコントラスト変化を $0 \mu\text{m}$ (Best F)、デフォーカス状態のコントラスト変化を $\pm 24 \mu\text{m Def}$ とした。また、図12に示す結果に基づいて、ベストフォーカス状態のコントラスト [$0 \mu\text{m}$ (Best F)] と $\text{DOF}/2$ デフォーカス状態のコントラスト [$\pm 24 \mu\text{m Def}$] との比、つまり [$0 \mu\text{m}$ (Best F)] / [$\pm 24 \mu\text{m Def}$] を算出した結果を、図13に示す。図13は、横軸を露光幅A内で円弧状に変化するデフォーカス特性Cmのデフォーカス幅とし、縦軸をコントラストとした。

[0126] また、各露光幅A内で円弧状に変化するデフォーカス特性Cmのデフォーカス幅におけるCD (Critical Dimension) 値 [μm] と、フォトレジストを想定したスライスレベル (像の光強度) を算出した。なお、CD値は、デフォーカスが $\pm 24 \mu\text{m}$ の場合、スライスレベルは、ベストフォーカスの場合として算出した。その算出結果を図14に示す。図14の横軸は、露光幅A内での円弧状に変化するデフォーカス特性Cm上のデフォーカス幅を表し、縦軸の左側はCD値を表し、右側はスライスレベルの相対光強度を表す。

[0127] 図14に示すように、投影すべき像がL/Sパターンの場合、露光領域内におけるデフォーカスの振り幅の変化に対して、線幅の変化 (CD値の変化) は少ない、先の図12に示したように、コントラストは大きく変化する。しかしながら、図13に示したように、デフォーカスの振り幅が大きくなるにつれて、ベストフォーカス状態でのコントラストと $\pm 24 \mu\text{m}$ デフォーカ

ス状態でのコントラストの比は、1に近づくことが判る。このように、円筒面状の投影像面 S_{m1} の周方向に沿って露光幅 A を設定した走査露光方式においては、露光幅 A 内で円弧状に変化するデフォーカス特性 C_m によるデフォーカス幅を大きくすることで、コントラスト比を1に近づけて、ベストフォーカス状態の像コントラストとデフォーカス状態の像コントラストとの差を小さくすることができる。これにより、円筒状のマスク M （円筒状の投影像面 S_{m1} ）の場合は、回転運動のみによって、ベストフォーカス時のコントラストとデフォーカス時のコントラストの変化を小さく抑えて、露光されるパターンの線幅の変化を抑制しつつ、投影像面 S_{m1} と基板 P の表面とのフォーカス方向（円筒面の径方向）の変動マージンを大きくした走査露光が可能となる。

[0128] 次に、マスクのパターンを孤立線パターンとした場合について各種演算を行った。ここで、以下でも、デフォーカスの考慮対象を焦点深度 DOF の定義式の範囲、つまり、本実施形態では、 $\pm 24 \mu m$ とする。孤立線のパターンは、線幅 $2.5 \mu m$ の線状パターンとした。さらに、結像状態は、照明条件によっても異なるため、照明条件としての照明開口数 σ を 0.7 とした。

[0129] 先にシュミレーションした L/S パターンの場合と同様に、まず、図9に示したデフォーカス特性 C_m を種々に変化させた場合、即ち上記と同様に、 $0 \times DOF$ 、 $0.5 \times DOF$ 、 $1 \times DOF$ 、 $1.5 \times DOF$ 、 $2 \times DOF$ 、 $2.5 \times DOF$ 、 $3 \times DOF$ 、 $3.5 \times DOF$ 、 $4 \times DOF$ と、 $0.5 DOF$ 単位で変化させた場合について、ベストフォーカス状態の孤立線パターン像の光強度分布と、 $DOF/2$ のデフォーカス状態、つまり $+24 \mu m$ または $-24 \mu m$ でデフォーカスした状態の孤立線パターン像の光強度分布を算出した。その算出結果に基づいて、図15に示すような $0.5 DOF$ 毎のデフォーカス幅の変化に対する像コントラストの変化特性が求められる。

[0130] 図15の横軸は、露光幅 A 内で円弧状に変化するデフォーカス特性 C_m のデフォーカス幅を表し、縦軸は孤立線パターン像のコントラストを表す。また、図15に示す結果に基づいて、先の図13と同様にして、ベストフォー

カス状態のコントラスト $[0 \mu\text{m} (\text{Best F})]$ と $\text{DOF} / 2$ デフォーカス状態のコントラスト $[\pm 24 \mu\text{m Def}]$ との比、つまり $[0 \mu\text{m} (\text{Best F})] / [\pm 24 \mu\text{m Def}]$ を算出した結果を、図 16 に示す。図 16 は、横軸を露光幅 A 内で円弧状に変化するデフォーカス特性 C m のデフォーカス幅とし、縦軸をコントラスト比とした。

[0131] また、各露光幅 A 内で円弧状に変化するデフォーカス特性 C m のデフォーカス幅における CD (Critical Dimension) 値 $[\mu\text{m}]$ と、フォトレジストを想定したスライスレベル（像の光強度）を算出した。なお、CD 値は、デフォーカスが $\pm 24 \mu\text{m}$ の場合、スライスレベルは、ベストフォーカスの場合として算出した。その算出結果を図 17 に示す。図 17 の横軸は、露光幅 A 内での円弧状に変化するデフォーカス特性 C m 上のデフォーカス幅を表し、縦軸の左側は CD 値を表し、右側はスライスレベルの相対光強度を表す。図 17 に示すように、パターンが孤立線の場合、露光領域内におけるデフォーカスの振り幅の変化に対するコントラストの変化は、L / S パターンの場合よりも小さい。これに対して、パターンが孤立線の場合、デフォーカス量の変化に対して線幅（CD 値）の変化が大きいことがわかる。

[0132] したがって、露光幅 A 内で円弧状に変化するデフォーカス特性 C m によるデフォーカス幅を、例えば $2.5 \times \text{DOF}$ 、或いは $3.0 \times \text{DOF}$ と大きくすることで、設定したフォーカス位置に変動が生じてても、基板 P に露光されるパターンの線幅変化を抑制することが可能となる。すなわち、露光時に種々の理由によって、予め設定される投影像面 S m 1 と基板 P の表面とのフォーカス方向の相対位置関係が変動しても、そのフォーカス変動に対する線幅の変化を抑制することができ、基板 P 上に順次製造される表示パネルや電子デバイスの品質を良好に保つことができる。また、ベストフォーカス時の線幅 $2.5 \mu\text{m}$ の孤立線が、 $2.5 \mu\text{m}$ となるスライスレベルは、露光幅 A 内で円弧状に変化するデフォーカス特性 C m によるデフォーカス幅を大きくするにつれて大きな値となることがわかり、結果的にデフォーカスに対して線幅の変化も小さくなる。

[0133] また、先の図14と図17とを用いて、パターンの違いによるスライスレベルの違いを比較すると、露光幅A内で円弧上に変化するデフォーカス特性 C_m によるデフォーカス幅を、 $2.25 \times DOF$ とすると、L/Sパターンと孤立線パターンの両者に対するスライスレベル（光強度）がほぼ一致する。したがって、デフォーカス特性 C_m によるデフォーカス幅を、 $2.25 \times DOF$ の範囲とすることで、L/Sパターンと孤立線パターンが混在するマスクパターンの場合でも、高い品質の基板が製造できる。これにより、L/Sパターンと孤立線パターンとでスライスレベルが一致しない場合に必要とされている、マスクパターンの線幅修正（OPC、線幅オフセット）等を考慮することなく、両者を共存させることができる。また、線幅修正（OPC、オフセット）のために、マスクの作り直しが発生したり、調整のためにマスクを複数枚製造する必要がなくなったりするため、製造の手間とコストを低減することができる。また、線幅にオフセットを設定し、マスクパターンの一部分の線幅を変えることにより、その部分で逆に焦点深度が狭くなる等の不都合が生じることを抑制することもできる。

[0134] [第3実施形態]

次に、図18を参照して、第3実施形態の露光装置U3bについて説明する。なお、重複する記載を避けるべく、第2実施形態と異なる部分についてのみ説明し、第2実施形態と同様の構成要素については、第2実施形態と同じ符号を付して説明する。図18は、第3実施形態の露光装置（基板処理装置）の全体構成を示す図である。第2実施形態の露光装置U3aは、マスクを反射した光が投影光束となる反射型マスクを用いる構成であったが、第3実施形態の露光装置U3bは、マスクを透過した光が投影光束となる透過型マスクを用いる構成となっている。

[0135] 第3実施形態の露光装置U3bにおいて、マスク保持機構11aは、マスクMAを保持するマスク保持ドラム21aと、マスク保持ドラム21aを支持するガイドローラ93と、マスク保持ドラム21aを駆動する駆動ローラ94と、駆動部96と、を備える。

[0136] マスク保持ドラム 21a は、マスク MA 上の照明領域 I R が配置されるマスク面を形成する。本実施形態において、マスク面は、線分（母線）をこの線分に平行な軸（円筒形状の中心軸）周りに回転した面（以下、円筒面という）を含む。円筒面は、例えば、円筒の外周面、円柱の外周面等である。マスク保持ドラム 21a は、例えばガラスや石英等で構成され、一定の肉厚を有する円筒状であり、その外周面（円筒面）がマスク面を形成する。すなわち、本実施形態において、マスク MA 上の照明領域 I R は、中心線から一定の曲率半径 R_m を持つ円筒面状に湾曲している。マスク保持ドラム 21a のうち、マスク保持ドラム 21a の径方向から見てマスク MA のパターンと重なる部分、例えばマスク保持ドラム 21a の Y 軸方向の両端側以外の中央部分は、照明光束 E_L1 に対して透光性を有する。

[0137] マスク MA は、例えば平坦性の良い短冊状の極薄ガラス板（例えば厚さ $100 \sim 500 \mu m$ ）の一方の面にクロム等の遮光層でパターンを形成した透過型の平面状シートマスクとして作成され、それをマスク保持ドラム 21a の外周面に倣って湾曲させ、この外周面に巻き付けた（貼り付けた）状態で使用される。マスク MA は、パターンが形成されていないパターン非形成領域を有し、パターン非形成領域においてマスク保持ドラム 21a に取付けられている。マスク MA は、マスク保持ドラム 21a に対してリリース可能である。マスク MA は、第 1 実施形態のマスク M と同様に、透明円筒母材によるマスク保持ドラム 21a に巻き付ける代わりに、透明円筒母材によるマスク保持ドラム 21a の外周面に直接クロム等の遮光層によるマスクパターンを描画形成して一体化してもよい。この場合も、マスク保持ドラム 21a がマスクの支持部材として機能する。

[0138] ガイドローラ 93 及び駆動ローラ 94 は、マスク保持ドラム 21a の中心軸に対して平行な Y 軸方向に延びている。ガイドローラ 93 及び駆動ローラ 94 は、中心軸と平行な軸周りに回転可能に設けられている。ガイドローラ 93 及び駆動ローラ 94 は、それぞれ、軸方向の端部の外径が他の部分の外形よりも大きくなっており、この端部がマスク保持ドラム 21a に外接して

いる。このように、ガイドローラ 93 及び駆動ローラ 94 は、マスク保持ドラム 21 a に保持されているマスク MA に接触しないように、設けられている。駆動ローラ 94 は、駆動部 96 と接続されている。駆動ローラ 94 は、駆動部 96 から供給されるトルクをマスク保持ドラム 21 a に伝えることによって、マスク保持ドラム 21 a を中心軸周りに回転させる。

[0139] なお、マスク保持機構 11 a は、1つのガイドローラ 93 を備えているが数は限定されず、2 以上でもよい。同様にマスク保持機構 11 a は、1つの駆動ローラ 94 を備えているが数は限定されず、2 以上でもよい。ガイドローラ 93 と駆動ローラ 94 のうち少なくとも 1 つは、マスク保持ドラム 21 a の内側に配置されており、マスク保持ドラム 21 a と内接していてもよい。また、マスク保持ドラム 21 a のうち、マスク保持ドラム 21 a の径方向から見てマスク MA のパターンと重ならない部分（Y 軸方向の両端側）は、照明光束 EL1 に対して透光性を有していてもよいし、透光性を有していなくてもよい。また、ガイドローラ 93 及び駆動ローラ 94 の一方又は双方は、例えば円錐台状であって、その中心軸（回転軸）が中心軸に対して非平行であってもよい。

[0140] 本実施形態の光源装置 13 a は、光源（図示略）及び照明光学系 IL a を備える。照明光学系 IL a は、複数の投影光学系 PL1～PL6 の各々に対応して Y 軸方向に並んだ複数（例えば 6 つ）の照明光学系 IL a1～IL a6 を備える。光源は、上述した各種光源装置 13 a と同様に各種光源を用いることができる。光源から射出された照明光は、照度分布が均一化されて、例えば光ファイバ等の導光部材を介して、複数の照明光学系 IL a1～IL a6 に振り分けられる。

[0141] 複数の照明光学系 IL a1～IL a6 のそれぞれは、レンズ等の複数の光学部材を含む。複数の照明光学系 IL a1～IL a6 のそれぞれは、例えばインテグレート光学系、ロッドレンズ、フライアイレンズ等を含み、均一な照度分布の照明光束 EL1 によって照明領域 IR を照明する。本実施形態において、複数の照明光学系 IL a1～IL a6 は、マスク保持ドラム 21 a

の内側に配置されている。複数の照明光学系 $IL1 \sim IL6$ のそれぞれは、マスク保持ドラム $21a$ の内側からマスク保持ドラム $21a$ を通して、マスク保持ドラム $21a$ の外周面に保持されているマスク MA 上の各照明領域を照明する。

[0142] 光源装置 $13a$ は、照明光学系 $ILa1 \sim ILa6$ によって光源から射出された光を案内し、案内された照明光束 $EL1$ をマスク保持ドラム $21a$ 内部からマスク MA に照射する。光源装置 13 は、マスク保持機構 $11a$ に保持されたマスク MA の一部（照明領域 IR ）を、照明光束 $EL1$ によって均一な明るさで照明する。なお、光源は、マスク保持ドラム $21a$ の内側に配置されていてもよいし、マスク保持ドラム $21a$ の外側に配置されていてもよい。また、光源は、露光装置 $U3b$ と別の装置（外部装置）であってもよい。

[0143] 露光装置 $U3b$ は、マスクとして透過型マスクを用いた場合も、露光装置 $U3$ 、 $U3a$ と同様に、投影像面と露光面との関係が上述したように露光面にベストフォーカス状態となる位置が2箇所ある関係とすることで、上記と同様の効果を得ることができる。

[0144] [第4実施形態]

次に、図19を参照して、第4実施形態の露光装置 $U3c$ について説明する。なお、重複する記載を避けるべく、第1実施形態と異なる部分についてのみ説明し、第1実施形態と同様の構成要素については、第1実施形態と同じ符号を付して説明する。図19は、第4実施形態の露光装置（基板処理装置）の全体構成を示す図である。第1実施形態の露光装置 $U3$ は、円筒状の反射型のマスク M を、回転可能なマスク保持ドラム 21 に保持する構成であったが、第4実施形態の露光装置 $U3c$ は、平板状の反射型マスク MB を、移動可能なマスク保持機構 $11b$ に保持する構成となっている。

[0145] 第4実施形態の露光装置 $U3c$ において、マスク保持機構 $11b$ は、平面状のマスク MB を保持するマスクステージ 110 と、マスクステージ 110 を中心面 CL と直交する面内で X 方向に沿って走査移動させる移動装置（図

示略)とを備える。

[0146] 図19のマスクMBの面P1は実質的にXY面と平行な平面であるので、マスクMBから反射された投影光束EL2の主光線は、XY面と垂直になる。このため、マスクMB上の各照明領域IR1～IR6を照明する照明光学系IL1～IL6からの照明光束EL1の主光線もXY面に対して垂直になるように配置される。

[0147] マスクMBに照明される照明光束EL1の主光線がXY面と垂直になる場合、偏光ビームスプリッタPBSは、1/4波長板41に入射する照明光束EL1の主光線の入射角 θ_1 がブリュースター角 θ_B となり、1/4波長板41で反射した照明光束EL1の主光線がXY面と垂直になるように配置される。この偏光ビームスプリッタPBSの配置の変更に伴って、照明光学モジュールILMの配置も適宜変更される。

[0148] また、マスクMBから反射される投影光束EL2の主光線がXY面と垂直になる場合、投影光学モジュールPLMの第1光学系61に含まれる第1偏向部材70の第1反射面P3は、偏光ビームスプリッタPBSからの投影光束EL2を反射させ、反射させた投影光束EL2を第1レンズ群71を通して第1凹面鏡72に入射させる角度にされる。具体的に、第1偏向部材70の第1反射面P3は、第2光軸BX2(XY面)に対して実質的に45°に設定される。

[0149] また、第4実施形態においても、先の図2と同様に、XZ面内で見たととき、マスクMB上の照明領域IR1(及びIR3, IR5)の中心点から照明領域IR2(及びIR4, IR6)の中心点までの周長は、支持面P2に倣った基板P上の投影領域PA1(及びPA3, PA5)の中心点から第2投影領域PA2(及びPA4, PA6)の中心点までの周長と、実質的に等しく設定されている。

[0150] 図19の露光装置U3cにおいても、下位制御装置16が、マスク保持機構11bの移動装置(走査露光用のリニアモータや微動用のアクチュエータ等)を制御し、基板支持ドラム25の回転と同期してマスクステージ110

を駆動する。図19の露光装置U3cでは、マスクMBの+X方向への同期移動で走査露光を行なった後、-X方向の初期位置にマスクMBを戻す動作（巻戻し）が必要となる。そのため、基板支持ドラム25を一定速度で連続回転させて基板Pを等速で送り続ける場合、マスクMBの巻戻し動作の間、基板P上にはパターン露光が行なわれず、基板Pの搬送方向に関してパネル用パターンが飛び飛びに（離間して）形成されることになる。しかしながら、実用上、走査露光時の基板Pの速度（ここでは周速）とマスクMBの速度は50～100mm/sと想定されていることから、マスクMBの巻戻しの際にマスクステージ110を、例えば500mm/sの最高速で駆動すれば、基板P上に形成されるパネル用パターン間の搬送方向に関する余白を狭くすることができる。

[0151] 次に、第4実施形態の露光装置U3cにおけるマスクのパターンの投影像面と基板の露光面との関係について、図20を参照して説明する。図20は、マスクのパターンの投影像面と基板の露光面との関係を示す説明図である。

[0152] 露光装置U3cは、投影光学系PLによって投影光束EL2が結像されることで、マスクMBのパターンの投影像面Sm2が形成される。投影像面Sm2は、マスクMBのパターンが結像される位置であり、ベストフォーカスとなる位置である。ここで、マスクMBは、上述したように平面で配置されている。これにより投影像面Sm2も平面（ZX平面において直線）となる。また、露光装置U3cは、基板Pの表面が露光面Spとなる。ここで、露光面Spとは、基板Pの表面である。基板Pは、上述したように円筒形状の基板支持ドラム25に保持されている。これにより、露光面Spは、曲率半径Rpの曲面（ZX平面において曲線）となる。また、露光面Spは、走査露光方向に直交する方向が曲面の軸となる。このため、図20に示すように露光面Spは、走査露光方向に対して曲がった曲線となる。露光面Spは、投影領域PAの走査露光方向における露光幅Aにおける位置の変化量が Δp となる。投影像面Sm2は、平面である。このため投影像面Sm2は、投影

領域 $P A$ の走査露光方向における露光幅 A における位置の変化量が 0 となる。ここで、露光装置 $U 3 c$ は、投影像面 $S m 2$ に対する露光面 $S p$ の位置を実露光面 $S p a$ とする。実露光面 $S p a$ は、走査露光方向において、投影像面 $S m 2$ と異なる 2 つの位置 $P a 2$ 、 $P b 2$ で交わる。なお、露光装置 $U 3 c$ は、投影光学系 $P L$ の各光学部材の位置を調整したり、マスク保持機構 $1 1 b$ 及び基板支持機構 $1 2$ のいずれか一方によりマスク $M B$ と基板 P との間隔を調整したりすることで、投影像面 $S m 2$ に対する露光面の位置を変化させることができる。

[0153] 露光装置 $U 3 c$ は、投影像面 $S m 2$ と実露光面 $S p a$ とが、異なる 2 つの位置 $P a 2$ 、 $P b 2$ で交わることで、露光幅 A 内において、実露光面 $S p a$ 上の位置 $P a 2$ でフォーカス状態がベストフォーカスとなり、実露光面 $S p a$ 上の位置 $P b 2$ でフォーカス状態がベストフォーカスとなる。

[0154] 露光装置 $U 3 c$ は、マスク $M b$ の表面を平面とし、基板 P の表面を円筒形状としても露光装置 $U 3$ 、 $U 3 a$ 、 $U 3 b$ と同様に、マスクパターンが基板 P 側に投影される走査露光方向の投影像面 $S m 2$ と、露光される基板 P の露光面 $S p$ とに円筒形状差をつけることができる。さらに、露光装置 $U 3 c$ は、投影像面 $S m 2$ と実露光面 $S p a$ とが、異なる 2 つの位置 $P a 2$ 、 $P b 2$ で交わり、異なる 2 つの位置で露光面のフォーカス状態がベストフォーカスとなる。

[0155] これにより、露光装置 $U 3 c$ も、マスク保持ドラム $2 1$ の回転運動により、走査露光方向の露光幅 A 内で、フォーカス状態を連続的に変化させることができ、さらに、実質的なフォーカスに対する像コントラスト変化を抑制することができる。また、露光装置 $U 3 c$ は、露光装置 $U 3$ と同様の各種効果を得ることができる。このように、投影像面と露光面（基板 P の表面）との一方のみを曲面とした場合でも、投影像面と露光面との両方を曲面とした場合と同様の効果を得ることができる。

[0156] ここで、露光装置 $U 3 c$ は、露光幅 A 内で円弧上に変化するデフォーカス幅 Δ を、上述した式の基板 P の走査露光方向の投影像面 $S m 2$ の円筒半径 r_1

を0とした下記式で求めることができる。

$$\Delta = r_2 - \left((r_2^2) - (A/2)^2 \right)^{1/2}$$

ここで、露光装置U3cにおいては、マスクパターンの投影像面Sm2の曲率半径が ∞ であることから、露光幅A内で円弧状に変化するデフォーカス特性Cmは、先の式3のみで求められる。すなわち、露光装置U3cの場合のデフォーカス特性Cm(=ΔRp)は、

[数5]

$$\Delta R_p = R_p - \sqrt{R_p^2 - (A/2)^2}$$

で求められる。

[0157] なお、本実施形態の露光装置は、マスク保持機構と基板支持機構のうち、曲面で保持する方が第1支持部材となり、曲面または平面で支持する方が第2支持部材となる。

[0158] <露光方法>

次に、図21を参照して、露光方法について説明する。図21は、露光方法を示すフローチャートである。

[0159] 図21に示す露光方法では、まず、基板支持機構で支持面P2に基板Pを支持し(ステップS101)、マスク保持機構で面P1にマスクMを支持する(ステップS102)。これにより、マスクMと基板Pとが対面した状態となる。なお、ステップS101とステップS102の順番は逆でもよい。また、面P1、支持面P2のいずれか一方が第1面となり、他方が第2面となる。第1面は、所定曲率で円筒面状に湾曲した形状である。

[0160] ついで、露光面に対するフォーカス位置を調整する(ステップS103)。具体的には、基板Pの表面に設定される投影領域PAの露光幅Aにおいて、ベストフォーカス位置が走査露光方向に2箇所含まれる位置に、フォーカス位置を設定する。

[0161] フォーカス位置の調整が完了したら、基板PとマスクMとの走査露光方向の相対移動(回動)を開始させる(ステップS104)。つまり、基板支持

機構及びマスク保持機構の少なくとも一方によって、基板PとマスクMの少なくとも一方を走査露光方向に移動させる動作を開始する。

[0162] 相対移動を開始させたら、投影領域PA内への投影光束の投射を開始させる（ステップS105）。つまり、照明光の照明領域IRに配置されるマスクのパターンからの光束を、基板Pが配置される投影領域PAに投射する。これにより、図21に示す露光方法は、基板Pの露光面において、ベストフォーカス位置が走査露光方向に2箇所含まれる光束を投影領域に投射する。

[0163] 露光方法は、以上のようにして、フォーカス位置を調整した光束を投射させることで、基板の露光面において、ベストフォーカス位置が走査露光方向に2箇所含まれる光束を投影領域に投射することができる。これにより、上述した各種効果を得ることができる。なお、本実施形態では、フォーカス位置を調整する場合として説明したが、装置の設定によって、ベストフォーカス位置が走査露光方向に2箇所含まれる位置がフォーカス位置となるようにしてもよい。

[0164] <デバイス製造方法>

次に、図22を参照して、デバイス製造方法について説明する。図22は、デバイス製造システムによるデバイス製造方法を示すフローチャートである。

[0165] 図22に示すデバイス製造方法では、まず、例えば有機EL等の自発光素子による表示パネルの機能・性能設計を行い、必要な回路パターンや配線パターンをCAD等で設計する（ステップS201）。次いで、CAD等で設計された各種レイヤー毎のパターンに基づいて、必要なレイヤー分のマスクMを製作する（ステップS202）。また、表示パネルの基材となる可撓性の基板P（樹脂フィルム、金属箔膜、プラスチック等）が巻かれた供給用ロールFR1を準備しておく（ステップS203）。なお、このステップS203にて用意しておくロール状の基板Pは、必要に応じてその表面を改質したもの、下地層（例えばインプリント方式による微小凹凸）を事前形成したもの、光感応性の機能膜や透明膜（絶縁材料）を予めラミネートしたもの、

でも良い。

[0166] 次いで、基板P上に表示パネルデバイスを構成する電極や配線、絶縁膜、TFT（薄膜半導体）等によって構成されるバックプレーン層を形成すると共に、そのバックプレーンに積層されるように、有機EL等の自発光素子による発光層（表示画素部）が形成される（ステップS204）。このステップS204には、先の各実施形態で説明した露光装置U3、U3a、U3b、U3cのいずれかを用いた露光処理を行う。露光処理には、フォトレジスト層を露光する従来のフォトリソグラフィ工程も含まれるが、フォトレジストの代わりに感光性シランカップリング材を塗布した基板Pをパターン露光して表面に親撥水性によるパターンを形成したり、無電解メッキの為に光感応性の触媒層をパターン露光する工程も含まれる。従来のフォトリソグラフィ工程ではフォトレジストの現像工程が行われ、無電解メッキ法では金属膜のパターン（配線、電極等）を形成する湿式工程、或いは、銀ナノ粒子を含有した導電性インク等によってパターンを描画する印刷工程、等が実施される。

[0167] 次いで、ロール方式で長尺の基板P上に連続的に製造される表示パネルデバイス毎に、基板Pをダイシングしたり、各表示パネルデバイスの表面に、保護フィルム（対環境バリア層）やカラーフィルターシート等を貼り合せたりして、デバイスを組み立てる（ステップS205）。次いで、表示パネルデバイスが正常に機能するか、所望の性能や特性を満たしているかの検査工程が行なわれる（ステップS206）。以上のようにして、表示パネル（フレキシブル・ディスプレイ）を製造することができる。

符号の説明

- [0168]
- 1 デバイス製造システム
 - 2 基板供給装置
 - 4 基板回収装置
 - 5 上位制御装置
 - 11 マスク保持機構

- 1 2 基板支持機構
- 1 3 光源装置
- 1 6 下位制御装置
- 2 1 マスク保持ドラム
- 2 5 基板支持ドラム
- 3 1 光源
- 3 2 導光部材
- 4 1 1 / 4 波長板
- 5 1 コリメータレンズ
- 5 2 フライアイレンズ
- 5 3 コンデンサーレンズ
- 5 4 シリンドリカルレンズ
- 5 5 照明視野絞り
- 5 6 リレーレンズ
- 6 1 第 1 光学系
- 6 2 第 2 光学系
- 6 3 投影視野絞り
- 6 4 フォーカス補正光学部材
- 6 5 像シフト用光学部材
- 6 6 倍率補正用光学部材
- 6 7 ローテーション補正機構
- 6 8 偏光調整機構
- 7 0 第 1 偏向部材
- 7 1 第 1 レンズ群
- 7 2 第 1 凹面鏡
- 8 0 第 2 偏向部材
- 8 1 第 2 レンズ群
- 8 2 第 2 凹面鏡

1 1 0 マスクステージ

P 基板

F R 1 供給用ロール

F R 2 回収用ロール

U 1 ~ U n 処理装置

U 3 露光装置（基板処理装置）

M マスク

M A マスク

A X 1 第1軸

A X 2 第2軸

P 1 マスク面

P 2 支持面

P 7 中間像面

E L 1 照明光束

E L 2 投影光束

R m 曲率半径

R p 曲率半径

C L 中心面

P B S 偏光ビームスプリッタ

I R 1 ~ I R 6 照明領域

I L 1 ~ I L 6 照明光学系

I L M 照明光学モジュール

P A 1 ~ P A 6 投影領域

P L M 投影光学モジュール

請求の範囲

- [請求項1] 照明光の照明領域に配置されるマスクのパターンからの光束を、基板が配置される投影領域に投射する投影光学系を備えた基板処理装置であって、
- 前記照明領域と前記投影領域とのうちの一方の領域において所定曲率で円筒面状に湾曲した第1面に沿うように、前記マスクと前記基板のうちの一方を支持する第1支持部材と、
- 前記照明領域と前記投影領域とのうちの他方の領域において所定の第2面に沿うように、前記マスクと前記基板とのうちの他方を支持する第2支持部材と、
- 前記第1支持部材を回転させ、該第1支持部材が支持する前記マスクと前記基板とのいずれかを走査露光方向に移動させる移動機構と、
- を備え、
- 前記投影光学系は、前記基板の露光面において、ベストフォーカス位置が前記走査露光方向に2箇所含まれる光束を前記投影領域に投射する基板処理装置。
- [請求項2] 前記投影光学系は、前記マスクのパターンの投影像面と、前記基板の露光面との前記走査露光方向における距離の差が実質的に前記第1支持部材の形状と前記第2支持部材の形状の差に比例する前記光束を投射する請求項1に記載の基板処理装置。
- [請求項3] 前記投影光学系は、前記投影領域の前記走査露光方向の midpoint におけるデフォーカス量を Δ とし、焦点深度をDOFとした場合、 $0.5 < \Delta / \text{DOF} \leq 3$ を満たす請求項1または2に記載の基板処理装置。
- [請求項4] 前記投影光学系は、 $1 \leq \Delta / \text{DOF}$ を満たす請求項3に記載の基板処理装置。
- [請求項5] 前記投影光学系は、複数の分割投影光学系を有し、
- 前記分割投影光学系は、前記走査露光方向に直交する方向に列状に配置され、それぞれが対応する前記投影領域に前記光束を投射する請

求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の基板処理装置。

[請求項6] 前記投影光学系は、複数の前記分割投影光学系が、前記走査露光方向に少なくとも 2 列で配置され、前記走査露光方向に直交する方向において、隣接する前記分割投影光学系の前記投影領域の端部同士が重なる請求項 5 に記載の基板処理装置。

[請求項7] 前記投影光学系は、複数の前記分割投影光学系の各投影領域の前記走査露光方向の幅を積算した場合、当該積算値が前記走査露光方向に直交する方向において略一定となる請求項 6 に記載の基板処理装置。

[請求項8] 前記第 1 支持部材は、前記マスクを支持し、
前記第 2 支持部材は、前記基板を支持する請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の基板処理装置。

[請求項9] 前記第 1 支持部材は、前記基板を支持し、
前記第 2 支持部材は、前記マスクを支持する請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の基板処理装置。

[請求項10] 前記第 2 面は、所定曲率で円筒面状に湾曲している請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の基板処理装置。

[請求項11] 前記投影光学系は、前記走査露光方向における前記投影領域の幅を A 、前記マスクのパターンの投影像面の円筒半径を r_1 、前記基板の走査露光方向の露光面の円筒半径を r_2 、前記投影光学系の開口数を NA 、露光波長を λ とすると、 $0.5 \times (\lambda / NA^2) < r_1 - ((r_1^2) - (A/2)^2)^{1/2} + r_2 - ((r_2^2) - (A/2)^2)^{1/2} \leq 3 \times \lambda / NA^2$ を満たす請求項 10 に記載の基板処理装置。

[請求項12] 前記投影光学系は、 $(\lambda / NA^2) < r_1 - ((r_1^2) - (A/2)^2)^{1/2} + r_2 - ((r_2^2) - (A/2)^2)^{1/2}$ を満たす請求項 11 に記載の基板処理装置。

[請求項13] 前記投影光学系は、前記マスクのパターンの走査露光方向の投影像面と、前記基板の走査露光方向の露光面との差が、前記走査露光方向における前記投影領域の幅の略中心を軸として線対称に変化する請求

項 1 から 1 2 のいずれか一項に記載の基板処理装置。

[請求項14]

前記基板処理装置に前記基板を供給することと、

請求項 1 から 1 3 のいずれか一項に記載の基板処理装置を用いて前記基板に前記マスクのパターンを形成することと、
を含むデバイス製造方法。

[請求項15]

照明光の照明領域に配置されるマスクのパターンからの光束を、基板が配置される投影領域に投射する露光方法であって、

前記照明領域と前記投影領域とのうちの一方の領域において所定曲率で円筒面状に湾曲した第 1 面に沿うように、前記マスクと前記基板のうちの一方を支持することと、

前記照明領域と前記投影領域とのうちの他方の領域において所定の第 2 面に沿うように、前記マスクと前記基板とのうちの他方を支持することと、

当該第 1 面で支持している前記マスクと前記基板のいずれかを前記第 1 面に沿って回転させ、該第 1 面で支持する前記マスクと前記基板とのいずれかを走査露光方向に移動させることと、

前記基板の露光面において、ベストフォーカス位置が前記走査露光方向に 2 箇所含まれる光束を前記投影領域に投射することと、を含む露光方法。

[請求項16]

照明領域に配置されるマスクのパターンからの光束を、投影光学系を介して基板の被露光面が配置される投影領域に投射する露光方法であって、

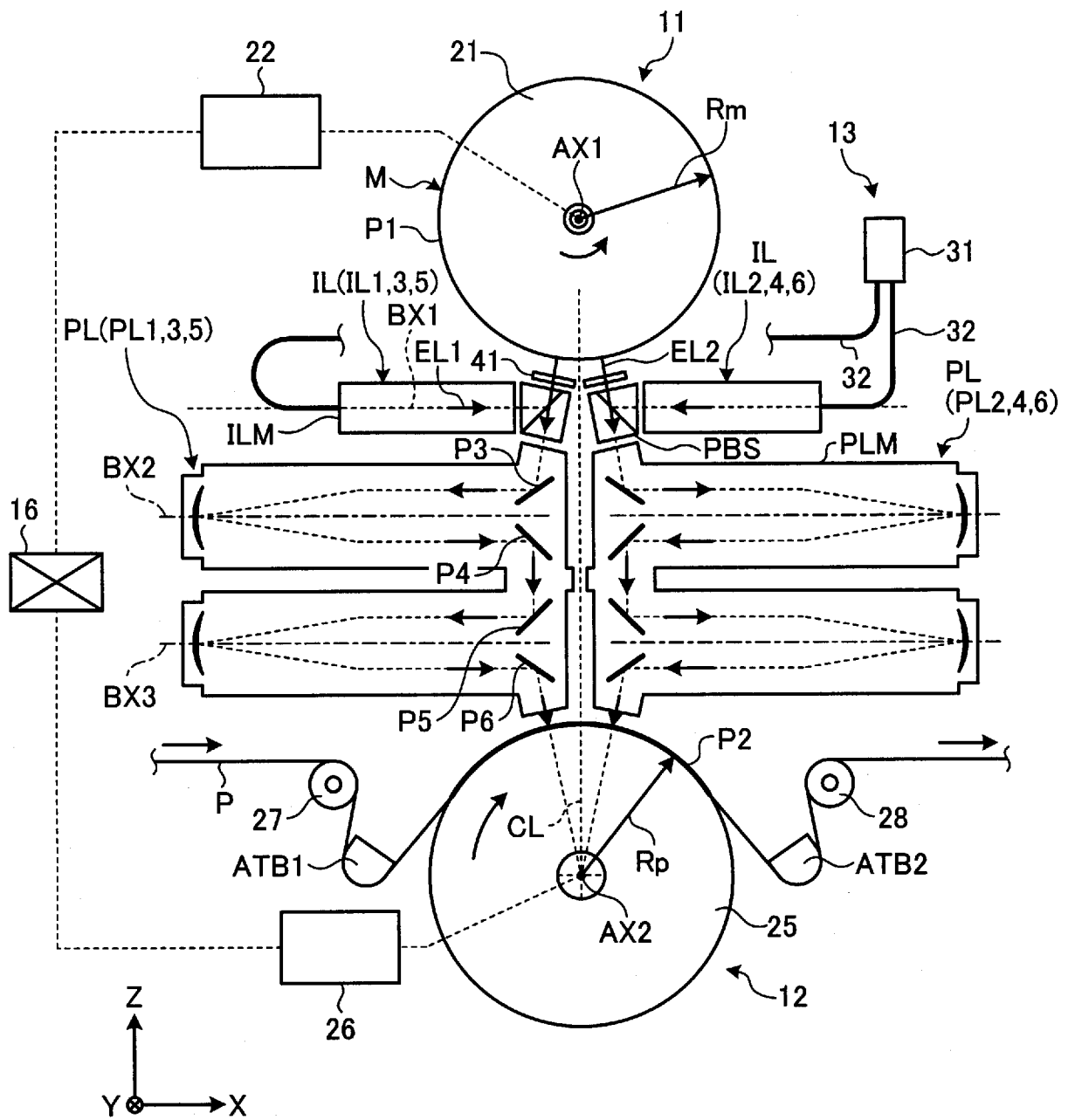
前記照明領域と前記投影領域とのうちの一方の領域において所定曲率で円筒面状に湾曲した第 1 面に沿うように、前記マスクと前記基板のうちの一方を支持することと、

前記照明領域と前記投影領域とのうちの他方の領域において所定の第 2 面に沿うように、前記マスクと前記基板とのうちの他方を支持することと、

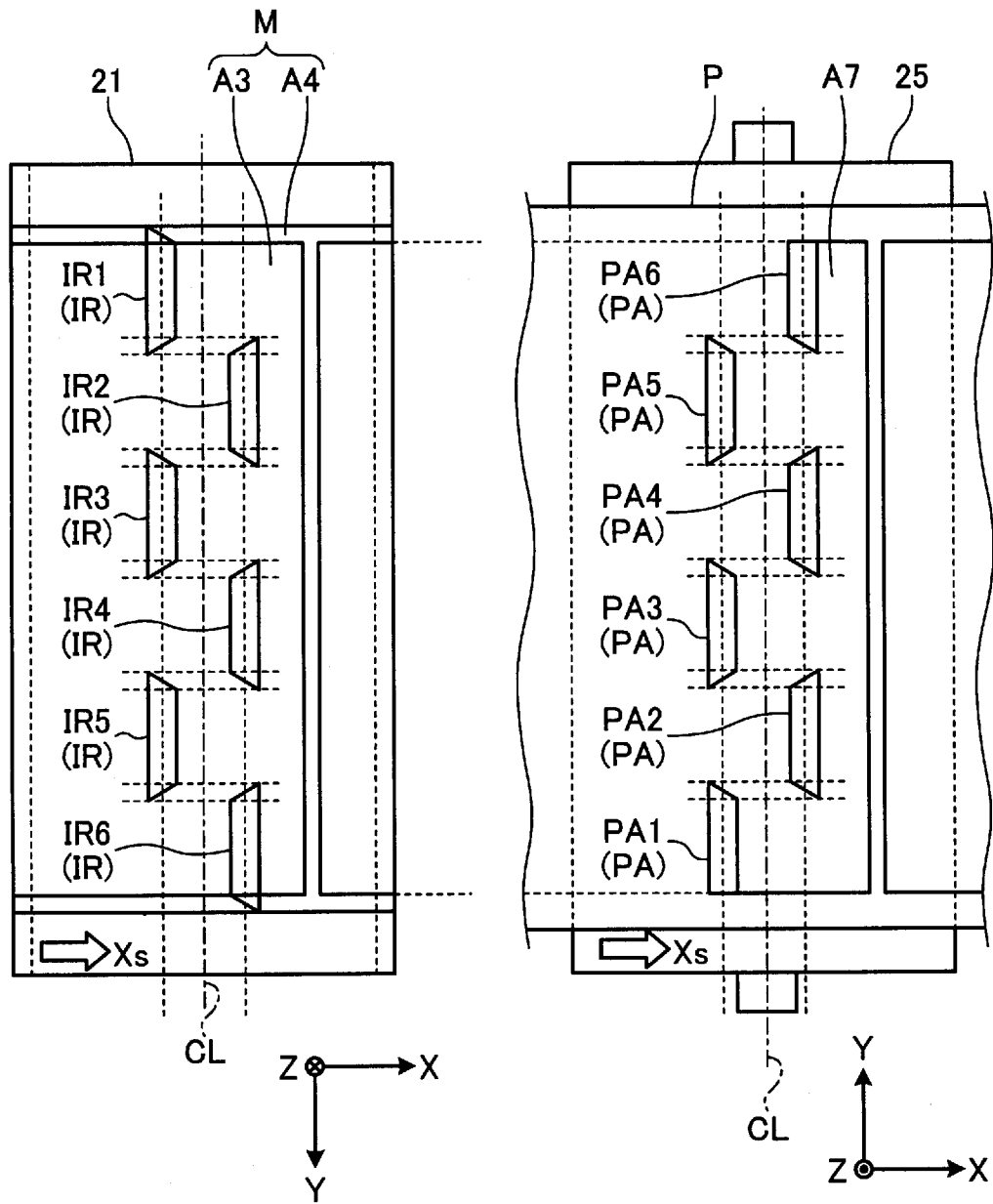
前記第 1 面に沿って支持される前記マスクと前記基板の一方を前記第 1 面に沿って旋回移動させ、前記第 2 面に沿って支持される前記マスクと前記基板の他方を走査露光方向に移動させることと、

前記マスクと前記基板の移動による走査露光の間は、前記投影領域内の前記走査露光方向に離れた 2 ヶ所の各々において、前記光束が前記基板の被露光面でベストフォーカス状態となるように、前記第 1 面、前記第 2 面、前記投影光学系を設定することと、を含む露光方法。

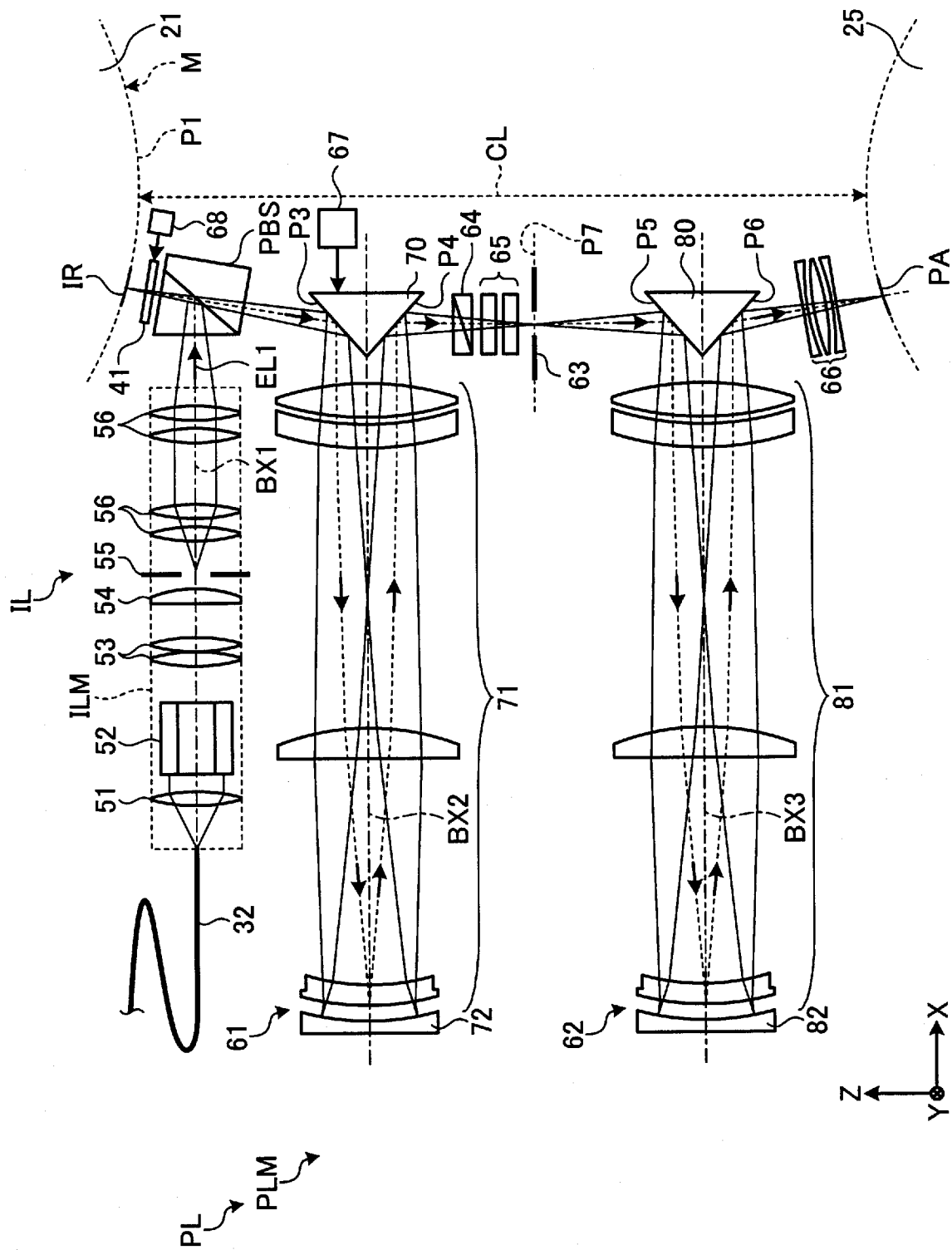
[図2]



[図3]

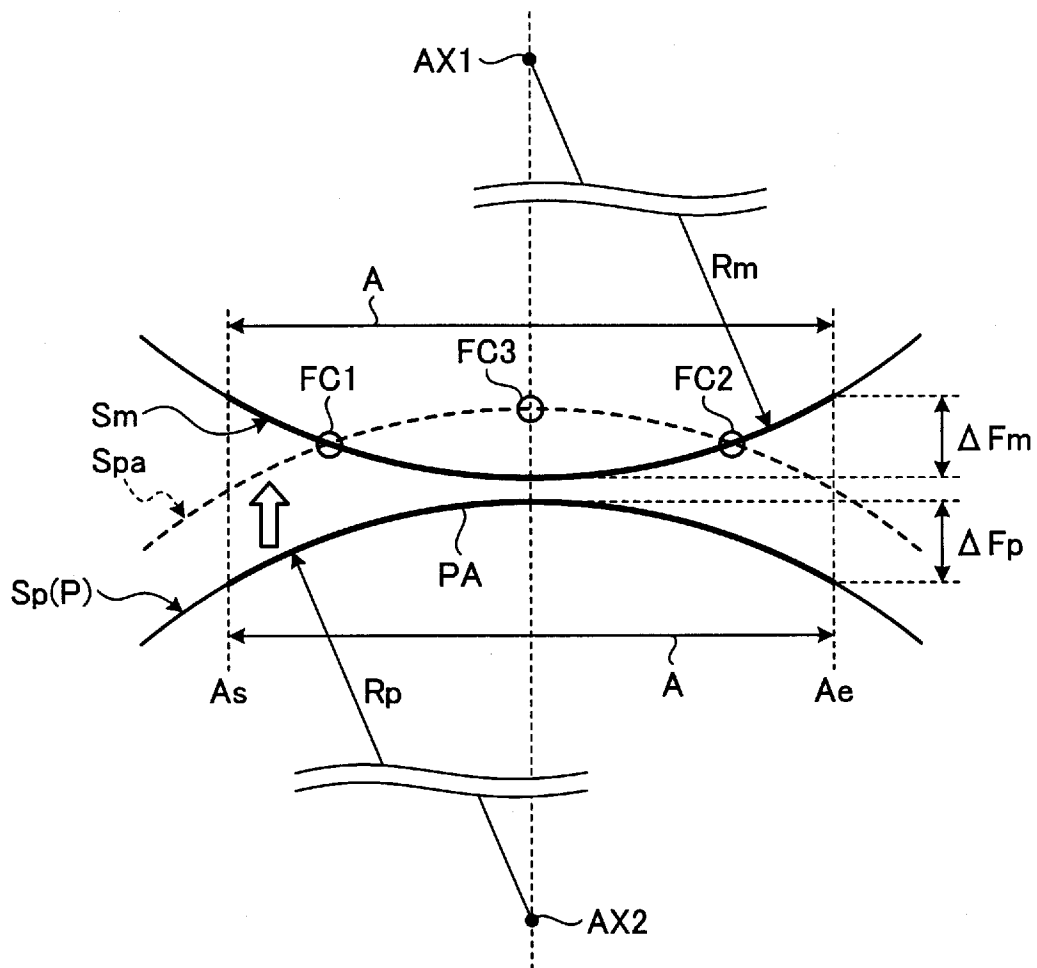


[図4]

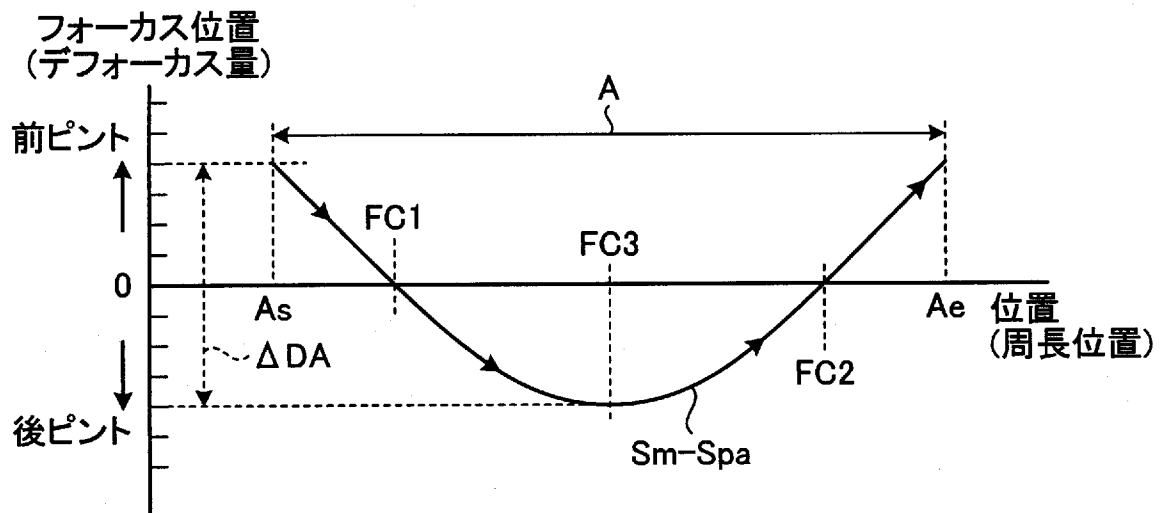


[illegible]

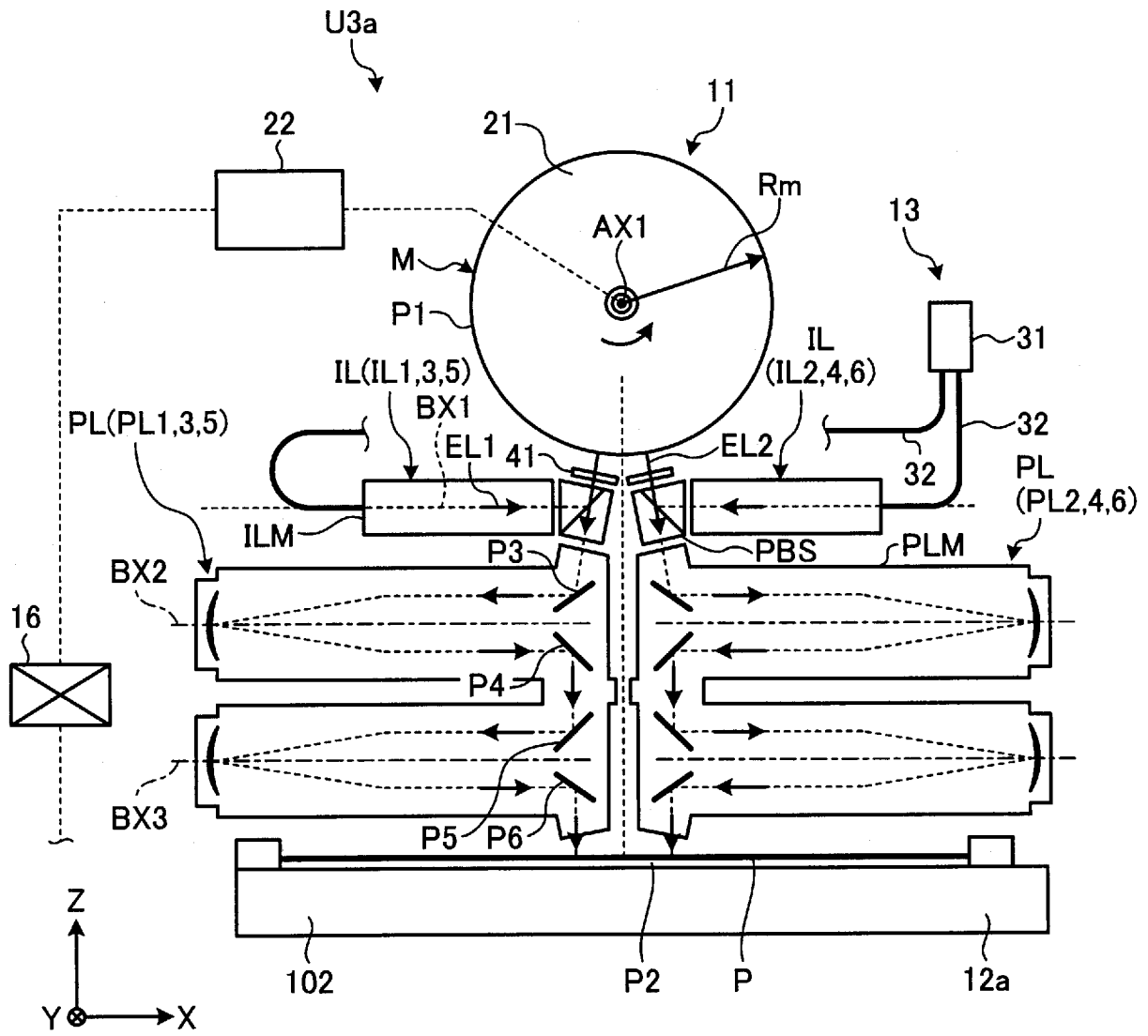
[図6A]



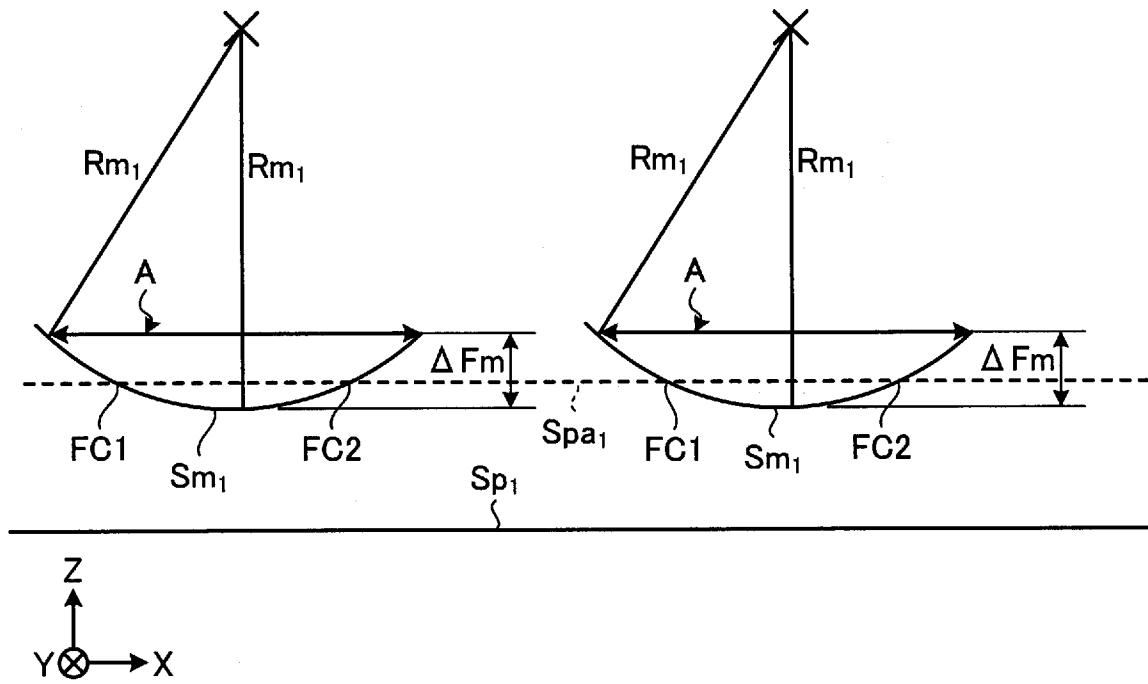
[図6B]



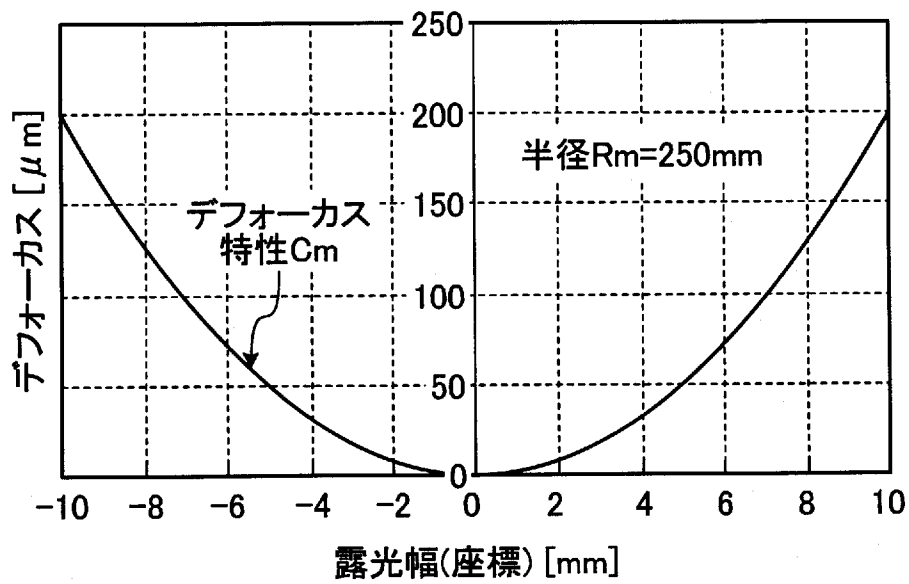
[図7]



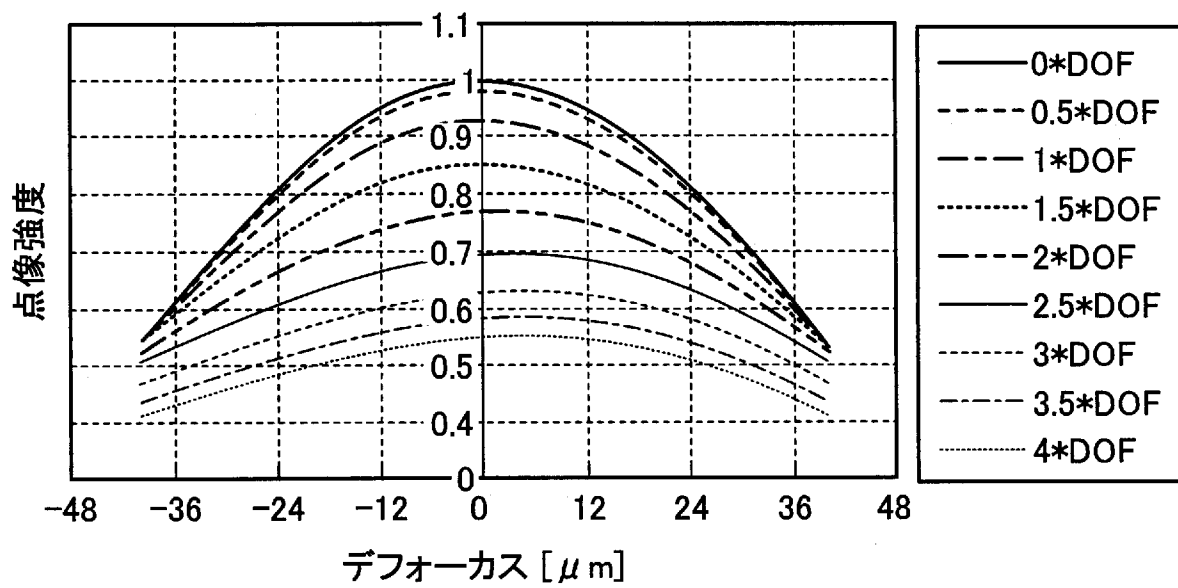
[図8]



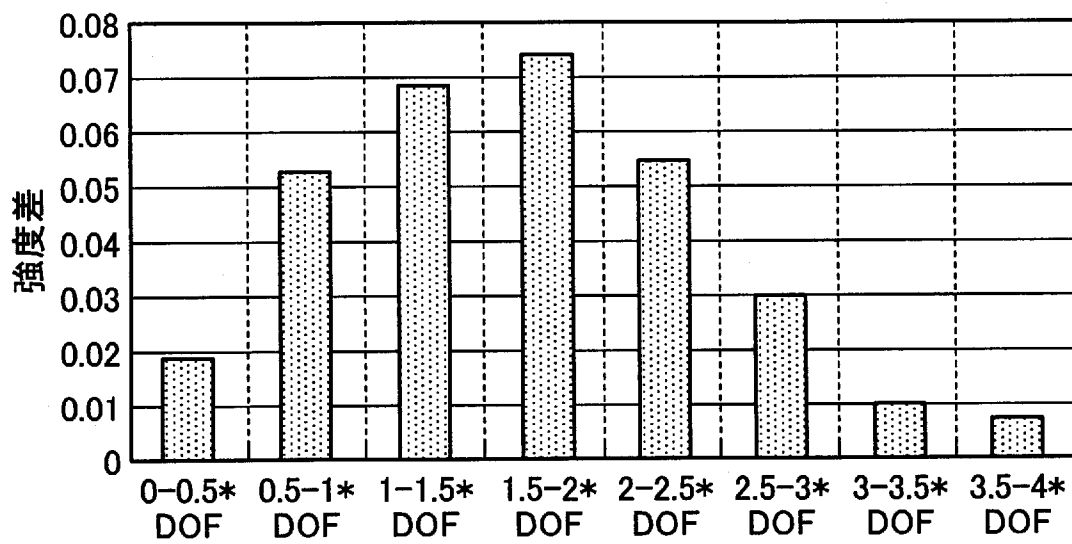
[図9]



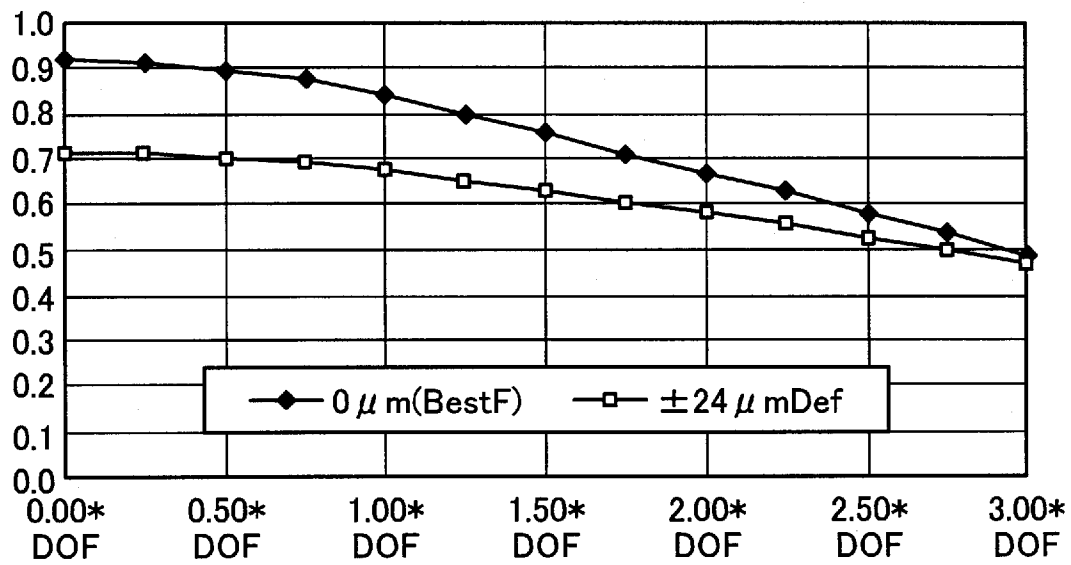
[図10]



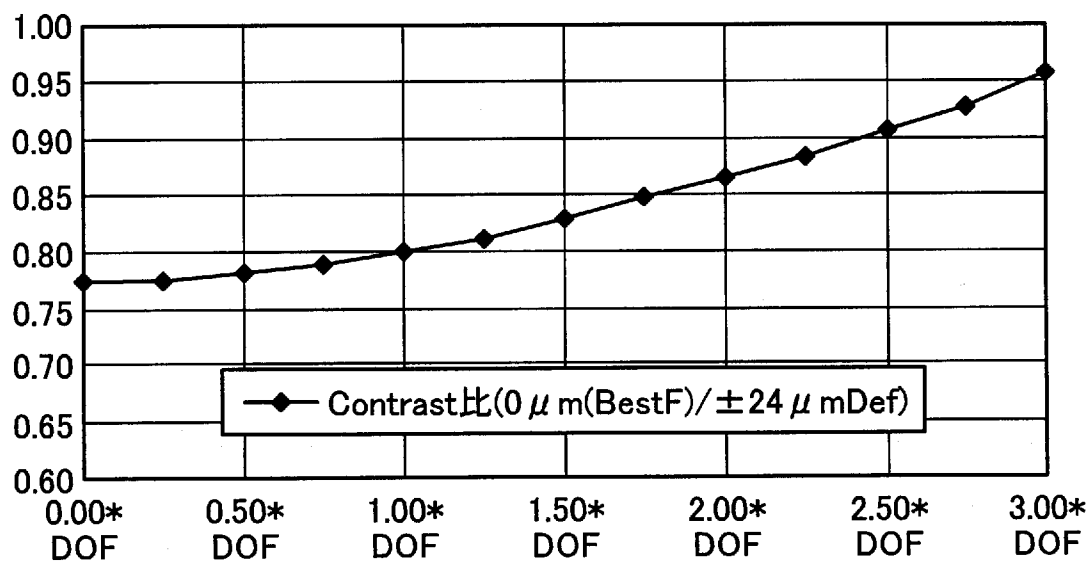
[図11]



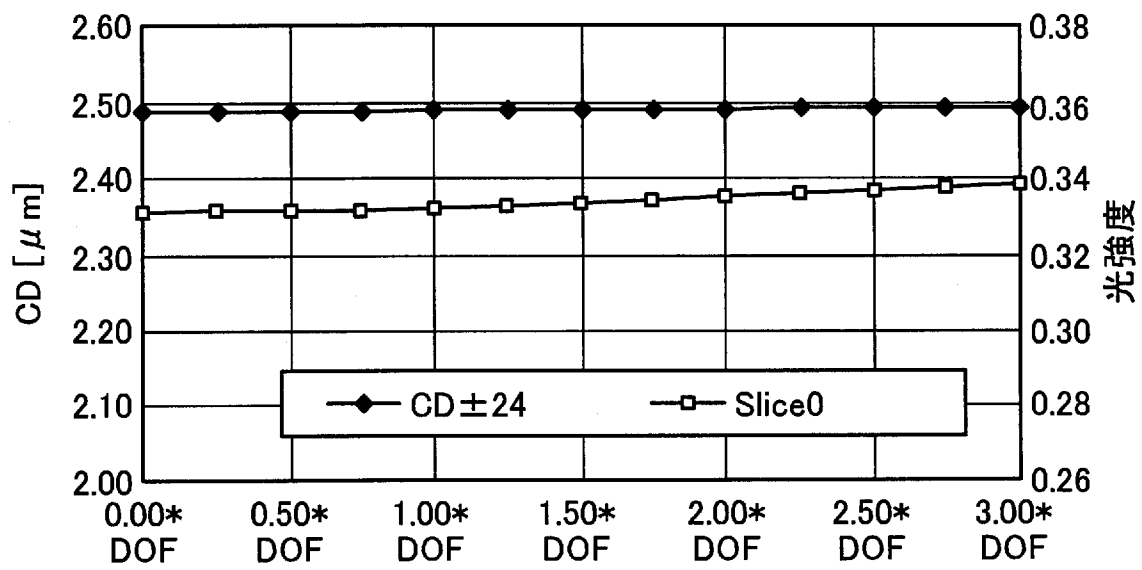
[図12]



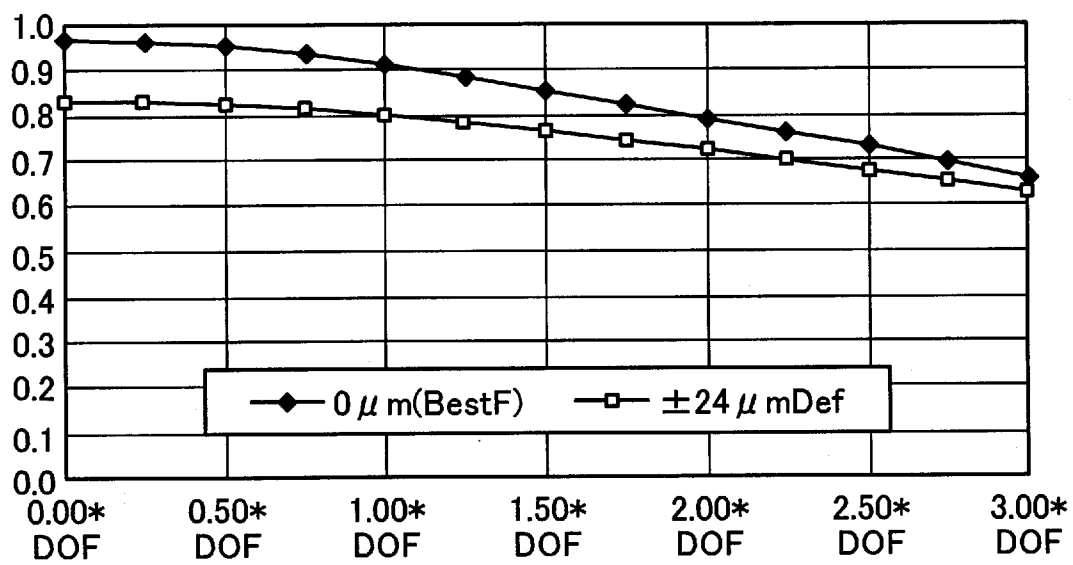
[図13]



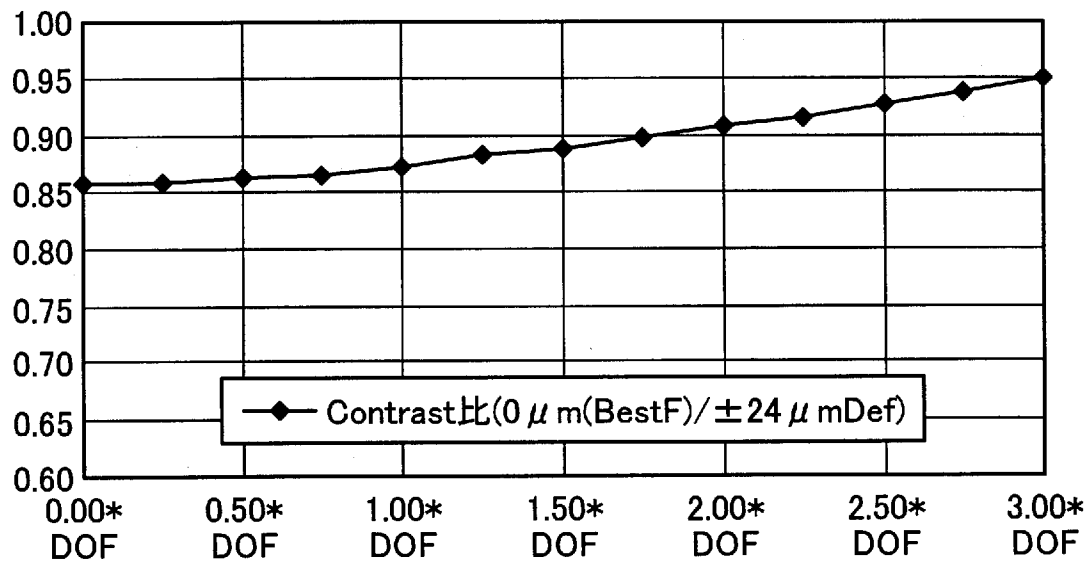
[図14]



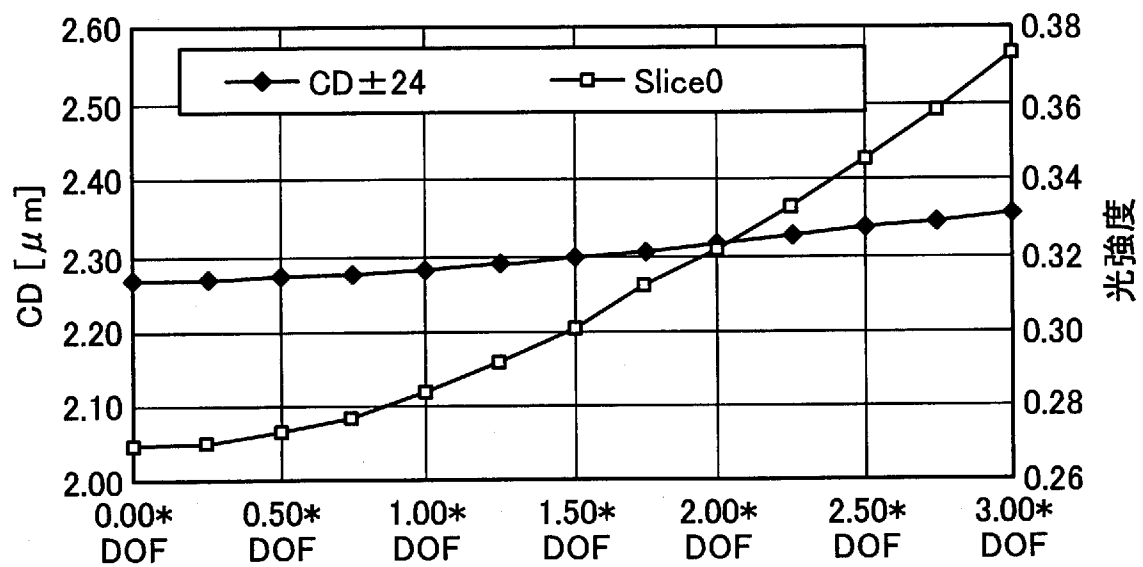
[図15]



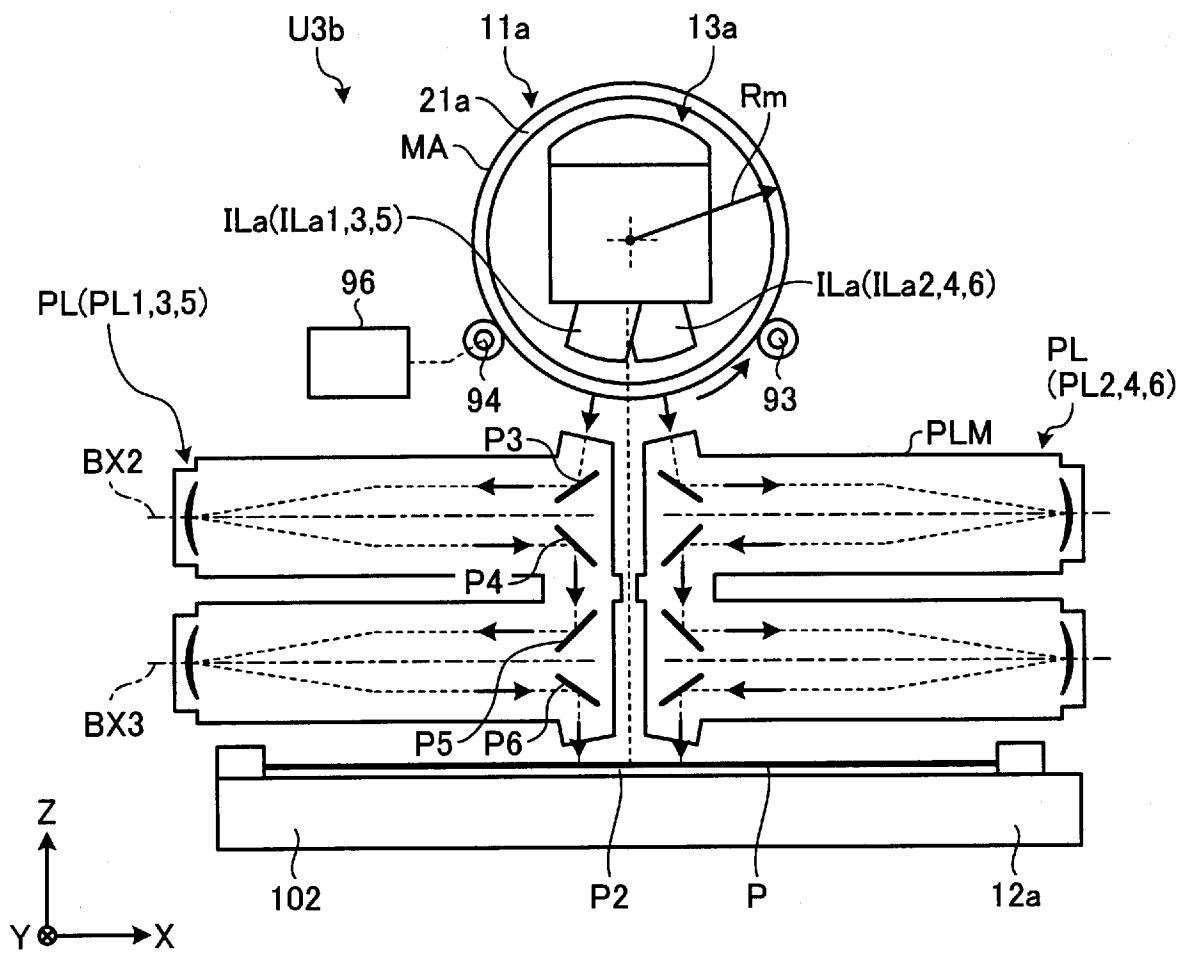
[図16]



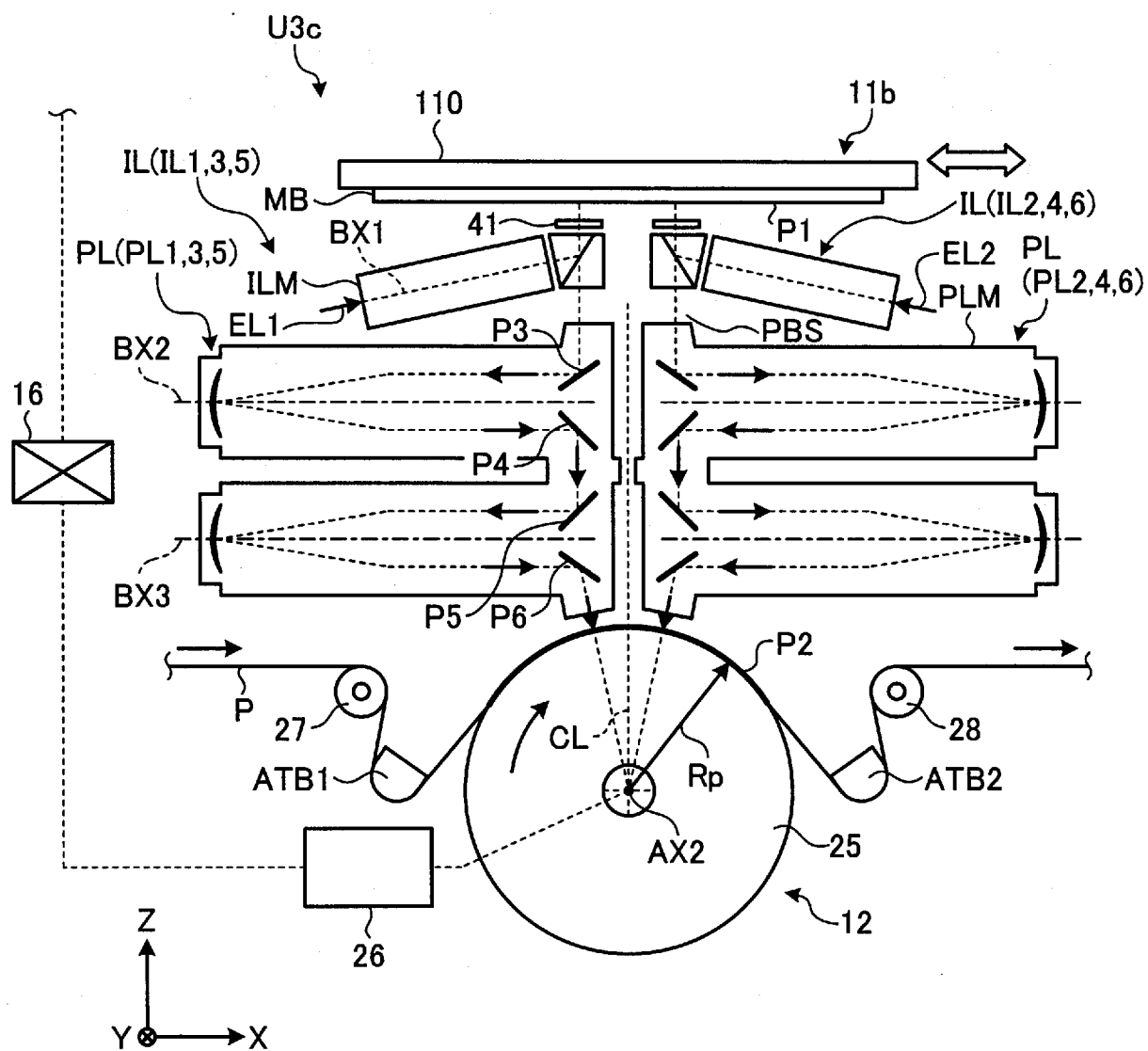
[図17]



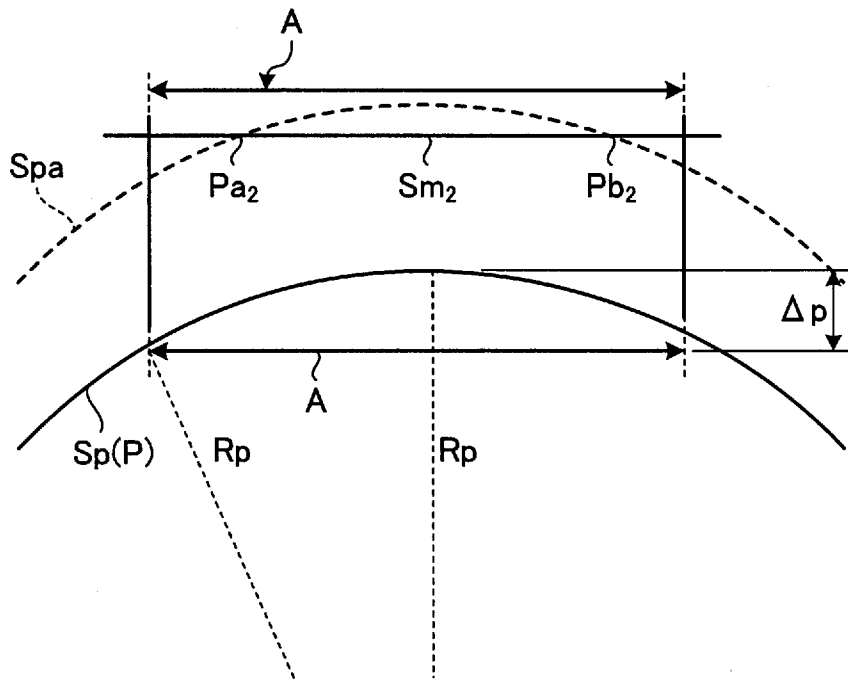
[図18]



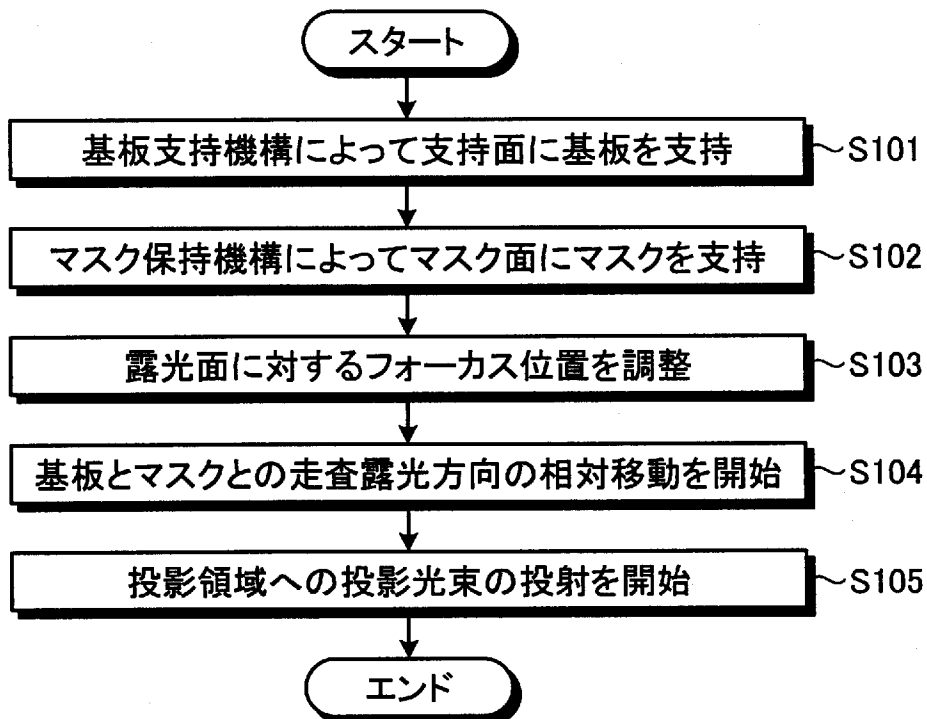
[図19]



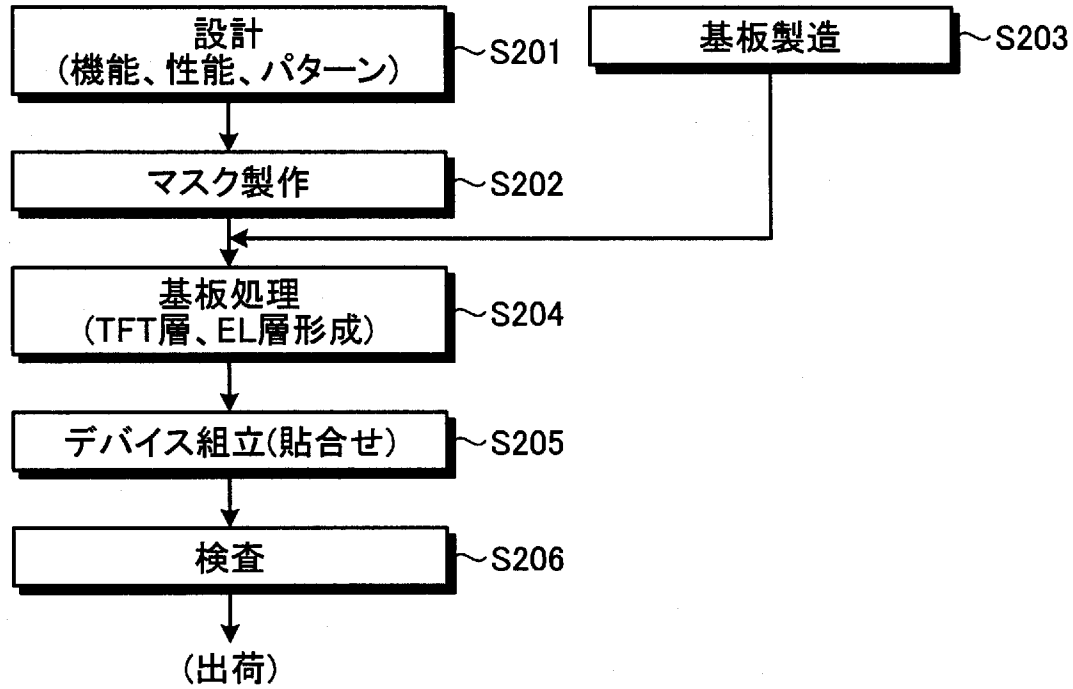
[図20]



[図21]



[図22]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/062180

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G03F7/20(2006.01)i, G03F7/24(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G03F7/20, G03F7/24

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2013/035661 A1 (Nikon Corp.), 14 March 2013 (14.03.2013), paragraphs [0061] to [0071]; fig. 3 & TW 2013/12295 A & CN 103477286 A	1-16
A	JP 2012-32837 A (Nikon Corp.), 16 February 2012 (16.02.2012), paragraphs [0027] to [0040]; fig. 1, 2 & JP 5494621 B2 & US 2013/329209 A1 & US 8609301 B2 & TWI 379169 B & TW 2013/12298 A & KR 2013/121990 A	1-16
A	JP 2011-221538 A (Nikon Corp.), 04 November 2011 (04.11.2011), paragraphs [0014] to [0028]; fig. 1, 2 (Family: none)	1-16

☒ 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
28 July, 2014 (28.07.14)

Date of mailing of the international search report
05 August, 2014 (05.08.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/062180

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009-37026 A (Ushio Inc.), 19 February 2009 (19.02.2009), paragraphs [0017] to [0027]; fig. 1 to 6 & JP 5104107 B2 & TWI 381252 B & TW 2009/07595 A & CN 101359188 B & KR 1217406 B1 & KR 2009/013676 A	1-16
A	JP 2006-235533 A (Nikon Corp.), 07 September 2006 (07.09.2006), paragraphs [0021] to [0032]; fig. 1 to 7 (Family: none)	1-16

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G03F7/20(2006.01)i, G03F7/24(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G03F7/20, G03F7/24

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

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

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2013/035661 A1(株式会社ニコン) 2013.03.14, [0061]~[0071], 図3 & TW 2013/12295 A & CN 103477286 A	1-16
A	JP 2012-32837 A (株式会社ニコン) 2012.02.16, [0027]~[0040], 図1, 図2 & JP 5494621 B2 & US 2013/329209 A1 & US 8609301 B2 & TWI 379169 B & TW 2013/12298 A & KR 2013/121990 A	1-16

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

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

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

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

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

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 8 . 0 7 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

0 5 . 0 8 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

植木 隆和

2 M

3 7 0 6

電話番号 03-3581-1101 内線 3274

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2011-221538 A (株式会社ニコン) 2011.11.04, [0 0 1 4]～[0 0 2 8], 図1, 図2 (ファミリーなし)	1-16
A	JP 2009-37026 A (ウシオ電機株式会社) 2009.02.19, [0 0 1 7]～[0 0 2 7], 図1～図6 & JP 5104107 B2 & TWI 381252 B & TW 2009/07595 A & CN 101359188 B & KR 1217406 B1 & KR 2009/013676 A	1-16
A	JP 2006-235533 A (株式会社ニコン) 2006.09.07, [0 0 2 1]～[0 0 3 2], 図1～図7 (ファミリーなし)	1-16