

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-28089

(P2010-28089A)

(43) 公開日 平成22年2月4日(2010.2.4)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H01L 21/027 (2006.01)	H01L 21/30 515D	5F046
G03F 7/20 (2006.01)	H01L 21/30 516Z	
	G03F 7/20 521	

審査請求 未請求 請求項の数 27 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2009-79273 (P2009-79273)	(71) 出願人	000004112
(22) 出願日	平成21年3月27日 (2009.3.27)		株式会社ニコン
(31) 優先権主張番号	61/129,745		東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(32) 優先日	平成20年7月16日 (2008.7.16)	(74) 代理人	100095256
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 山口 孝雄
		(72) 発明者	三宅 範夫
			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
		Fターム(参考)	5F046 BA03 CB05 CB08 CB13 CB23
			DA01 DA02

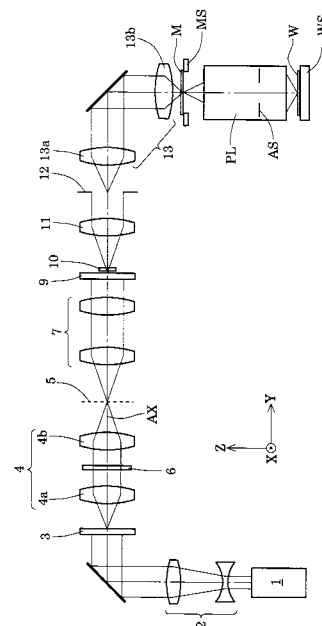
(54) 【発明の名称】 減光ユニット、照明光学系、露光装置、およびデバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】 被照射面上の各点での瞳強度分布をそれぞれほぼ均一に調整する。

【解決手段】 光源(1)からの光に基づいて被照射面(M;W)を照明する照明光学系は、Z方向に所定の屈折力を有する複数の第1屈折面と、その後側に設けられてZ方向に所定の屈折力を有する複数の第2屈折面とを有するオプティカルインテグレータ(9)と、その直後に配置された減光ユニット(10)とを備えている。減光ユニットは、オプティカルインテグレータの2つの隣り合う第2屈折面の境界線の直後に配置されて、被照射面に達する光の位置が被照射面の中心からY方向に沿って離れるにしたがって減光率の増大する減光率特性を有する減光部を備えている。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被照射面を照明する照明光学系の光路中に配置される波面分割型のオプティカルインテグレートと組み合わせて用いられる減光ユニットであって、

前記照明光学系の光軸と直交する平面内の第 1 方向に所定の屈折力を有する前記オプティカルインテグレート複数の第 1 屈折面に対応するように前記複数の第 1 屈折面の後側に設けられて前記第 1 方向に所定の屈折力を有する前記オプティカルインテグレート複数の第 2 屈折面のうちの少なくとも 2 つの隣り合う第 2 屈折面の境界線の直後に配置されて、前記被照射面に達する光の位置が前記被照射面の中心から前記第 1 方向に沿って離れるにしたがって減光率の増大する減光率特性を有する減光部を備えていることを特徴とする減光ユニット。

10

【請求項 2】

前記減光部は、前記平面内で前記第 1 方向と直交する第 2 方向に沿って延びる前記境界線とほぼ平行に延びる線状の遮光部材を有することを特徴とする請求項 1 に記載の減光ユニット。

【請求項 3】

前記線状の遮光部材を所定の位置に保持するために前記線状の遮光部材の両端を支持する保持部材をさらに備えていることを特徴とする請求項 2 に記載の減光ユニット。

【請求項 4】

前記保持部材は、前記線状の遮光部材に所要のテンションを付与した状態で前記線状の遮光部材の両端を支持していることを特徴とする請求項 3 に記載の減光ユニット。

20

【請求項 5】

前記線状の遮光部材は、その長手方向に沿って変化する断面を有することを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の減光ユニット。

【請求項 6】

前記線状の遮光部材を所定の位置に保持するために前記線状の遮光部材の一方の端だけを支持する保持部材をさらに備えていることを特徴とする請求項 2 に記載の減光ユニット。

【請求項 7】

前記線状の遮光部材は、位置および姿勢のいずれか一方が変更可能であることを特徴とする請求項 2 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の減光ユニット。

30

【請求項 8】

前記線状の遮光部材は、前記照明光学系の前記光軸に沿った方向に移動可能であることを特徴とする請求項 7 に記載の減光ユニット。

【請求項 9】

前記線状の遮光部材は、前記照明光学系の前記光軸と直交する前記平面内における位置が変更可能であることを特徴とする請求項 7 または 8 に記載の減光ユニット。

【請求項 10】

前記線状の遮光部材は、前記照明光学系の前記光軸または前記光軸と平行な軸廻りに回転可能であることを特徴とする請求項 7 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の減光ユニット。

【請求項 11】

前記線状の遮光部材は、前記照明光学系の前記光軸と直交する軸廻りに回転可能であることを特徴とする請求項 7 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の減光ユニット。

40

【請求項 12】

前記線状の遮光部材は、前記第 1 方向に所定の屈折力を有する前記オプティカルインテグレート複数の第 2 屈折面のうちの前記 2 つの隣り合う第 2 屈折面の第 1 境界線の直後に配置される第 1 の線状の遮光部材と、前記第 1 方向に所定の屈折力を有する前記オプティカルインテグレート複数の第 2 屈折面のうちの 2 つの隣り合う第 2 屈折面の第 2 境界線の直後に配置される第 2 の線状の遮光部材とを備え、

前記第 1 の線状の遮光部材と前記第 2 の線状の遮光部材との相対的な位置および相対的な姿勢のうちの少なくとも一方は変更可能であることを特徴とする請求項 7 乃至 11 のい

50

ずれか 1 項に記載の減光ユニット。

【請求項 13】

被照射面を照明する照明光学系の光路中に配置される波面分割型のオプティカルインテグレートと組み合わせて用いられる減光ユニットであって、

前記照明光学系の光軸と直交する平面内の第 1 方向に所定の屈折力を有する前記オプティカルインテグレート複数の第 1 屈折面に対応するように前記複数の第 1 屈折面の後側に設けられて前記第 1 方向に所定の屈折力を有する前記オプティカルインテグレート複数の第 2 屈折面のうちの少なくとも 2 つの隣り合う第 2 屈折面の境界線の直後に配置されて、前記平面内で前記第 1 方向と直交する第 2 方向に沿って延びる前記境界線とほぼ平行に延びる線状の遮光部材を備え、

10

前記線状の遮光部材は、位置および姿勢のいずれか一方が変更可能であることを特徴とする減光ユニット。

【請求項 14】

前記オプティカルインテグレートの前記複数の第 1 屈折面は前記平面内で前記第 1 方向と直交する第 2 方向にほぼ無屈折力であり、前記複数の第 2 屈折面は前記第 2 方向にほぼ無屈折力であることを特徴とする請求項 1 乃至 13 のいずれか 1 項に記載の減光ユニット。

【請求項 15】

前記オプティカルインテグレートは、光の入射側から順に、第 1 光学部材と、第 2 光学部材とを備え、前記第 1 光学部材の射出側には前記複数の第 1 屈折面が前記第 1 方向に沿って配列され、前記第 2 光学部材の射出側には前記複数の第 2 屈折面が前記第 1 方向に沿って配列されていることを特徴とする請求項 1 乃至 14 のいずれか 1 項に記載の減光ユニット。

20

【請求項 16】

前記複数の第 1 屈折面は前記平面内で前記第 1 方向と直交する第 2 方向にほぼ無屈折力であり、前記複数の第 2 屈折面は前記第 2 方向にほぼ無屈折力であり、

前記第 1 光学部材の入射側には、前記第 2 方向に所定の屈折力を有し且つ前記第 1 方向にほぼ無屈折力の複数の第 3 屈折面が前記第 2 方向に沿って配列され、

前記第 2 光学部材の入射側には、前記複数の第 3 屈折面に対応するように前記第 2 方向に所定の屈折力を有し且つ前記第 1 方向にほぼ無屈折力の複数の第 4 屈折面が前記第 2 方向に沿って配列されていることを特徴とする請求項 15 に記載の減光ユニット。

30

【請求項 17】

前記オプティカルインテグレートは、光の入射側から順に、第 1 光学部材と、第 2 光学部材とを備え、前記第 2 光学部材の入射側には前記複数の第 1 屈折面が前記第 1 方向に沿って配列され、前記第 2 光学部材の射出側には前記複数の第 2 屈折面が前記第 1 方向に沿って配列されていることを特徴とする請求項 1 乃至 14 のいずれか 1 項に記載の減光ユニット。

【請求項 18】

前記複数の第 1 屈折面は前記平面内で前記第 1 方向と直交する第 2 方向にほぼ無屈折力であり、前記複数の第 2 屈折面は前記第 2 方向にほぼ無屈折力であり、

前記第 1 光学部材の入射側には、前記第 2 方向に所定の屈折力を有し且つ前記第 1 方向にほぼ無屈折力の複数の第 3 屈折面が前記第 2 方向に沿って配列され、

40

前記第 1 光学部材の射出側には、前記複数の第 3 屈折面に対応するように前記第 2 方向に所定の屈折力を有し且つ前記第 1 方向にほぼ無屈折力の複数の第 4 屈折面が前記第 2 方向に沿って配列されていることを特徴とする請求項 17 に記載の減光ユニット。

【請求項 19】

前記オプティカルインテグレートは、前記第 1 方向に沿って細長い矩形状の単位波面分割面を有することを特徴とする請求項 1 乃至 18 のいずれか 1 項に記載の減光ユニット。

【請求項 20】

光源からの光に基づいて被照射面を照明する照明光学系において、

前記照明光学系の光路中に配置される波面分割型のオプティカルインテグレートと、

50

前記オプティカルインテグレータと組み合わせて用いられる請求項 1 乃至 19 のいずれか 1 項に記載の減光ユニットとを備えていることを特徴とする照明光学系。

【請求項 21】

前記オプティカルインテグレータよりも後側の照明瞳に瞳強度分布を形成する分布形成光学系をさらに備えていることを特徴とする請求項 20 に記載の照明光学系。

【請求項 22】

前記被照射面と光学的に共役な面を形成する投影光学系と組み合わせて用いられ、前記照明瞳は前記投影光学系の開口絞りと光学的に共役な位置であることを特徴とする請求項 20 または 21 に記載の照明光学系。

【請求項 23】

所定のパターンの像を前記感光性基板上に形成する投影光学系に対して前記所定のパターンおよび前記感光性基板を走査方向に沿って相対移動させて、前記所定のパターンを前記感光性基板へ投影露光する投影露光装置と組み合わせて用いられ、前記オプティカルインテグレータにおける前記第 1 方向は、前記走査方向と直交する方向に対応していることを特徴とする請求項 20 乃至 22 のいずれか 1 項に記載の照明光学系。

【請求項 24】

所定のパターンを照明するための請求項 20 乃至 23 のいずれか 1 項に記載の照明光学系を備え、前記所定のパターンを感光性基板に露光することを特徴とする露光装置。

【請求項 25】

前記所定のパターンの像を前記感光性基板上に形成する投影光学系を備え、該投影光学系に対して前記所定のパターンおよび前記感光性基板を走査方向に沿って相対移動させて、前記所定のパターンを前記感光性基板へ投影露光することを特徴とする請求項 24 に記載の露光装置。

【請求項 26】

前記オプティカルインテグレータにおける前記第 1 方向は、前記走査方向と直交する方向に対応していることを特徴とする請求項 25 に記載の露光装置。

【請求項 27】

請求項 24 乃至 26 のいずれか 1 項に記載の露光装置を用いて、前記所定のパターンを前記感光性基板に露光する露光工程と、

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

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

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、減光ユニット、照明光学系、露光装置、およびデバイス製造方法に関する。さらに詳細には、本発明は、例えば半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等のデバイスをリソグラフィー工程で製造するための露光装置に好適な照明光学系に関するものである。

【背景技術】

【0002】

この種の典型的な露光装置においては、光源から射出された光が、オプティカルインテグレータとしてのフライアイレンズを介して、多数の光源からなる実質的な面光源としての二次光源（一般には照明瞳における所定の光強度分布）を形成する。以下、照明瞳での光強度分布を、「瞳強度分布」という。また、照明瞳とは、照明瞳と被照射面（露光装置の場合にはマスクまたはウェハ）との間の光学系の作用によって、被照射面が照明瞳のフーリエ変換面となるような位置として定義される。

【0003】

二次光源からの光は、コンデンサーレンズにより集光された後、所定のパターンが形成

10

20

30

40

50

されたマスクを重畳的に照明する。マスクを透過した光は投影光学系を介してウェハ上に結像し、ウェハ上にはマスクパターンが投影露光（転写）される。マスクに形成されたパターンは高集積化されており、この微細パターンをウェハ上に正確に転写するにはウェハ上において均一な照度分布を得ることが不可欠である。

【0004】

マスクの微細パターンをウェハ上に正確に転写するために、例えば輪帯状や複数極状（2極状、4極状など）の瞳強度分布を形成し、投影光学系の焦点深度や解像力を向上させる技術が提案されている（特許文献1を参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

【0005】

【特許文献1】米国特許公開第2006/0055834号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

マスクの微細パターンをウェハ上に忠実に転写するには、瞳強度分布を所望の形状に調整するだけでなく、最終的な被照射面としてのウェハ上の各点に関する瞳強度分布をそれぞれほぼ均一に調整する必要がある。ウェハ上の各点での瞳強度分布の均一性にばらつきがあると、ウェハ上の位置毎にパターンの線幅がばらついて、マスクの微細パターンを露光領域の全体に亘って所望の線幅でウェハ上に忠実に転写することができない。

20

【0007】

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、被照射面上の各点での瞳強度分布をそれぞれほぼ均一に調整することのできる照明光学系を提供することを目的とする。また、本発明は、被照射面上の各点での瞳強度分布をそれぞれほぼ均一に調整する照明光学系を用いて、適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことのできる露光装置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】

【0008】

前記課題を解決するために、本発明の第1形態では、被照射面を照明する照明光学系の光路中に配置される波面分割型のオプティカルインテグレータと組み合わせて用いられる減光ユニットであって、前記照明光学系の光軸と直交する平面内の第1方向に所定の屈折力を有する前記オプティカルインテグレータの複数の第1屈折面に対応するように前記複数の第1屈折面の後側に設けられて前記第1方向に所定の屈折力を有する前記オプティカルインテグレータの複数の第2屈折面のうちの少なくとも2つの隣り合う第2屈折面の境界線の直後に配置されて、前記被照射面に達する光の位置が前記被照射面の中心から前記第1方向に沿って離れるにしたがって減光率の増大する減光率特性を有する減光部を備えていることを特徴とする減光ユニットを提供する。

30

【0009】

本発明の第2形態では、被照射面を照明する照明光学系の光路中に配置される波面分割型のオプティカルインテグレータと組み合わせて用いられる減光ユニットであって、前記照明光学系の光軸と直交する平面内の第1方向に所定の屈折力を有する前記オプティカルインテグレータの複数の第1屈折面に対応するように前記複数の第1屈折面の後側に設けられて前記第1方向に所定の屈折力を有する前記オプティカルインテグレータの複数の第2屈折面のうちの少なくとも2つの隣り合う第2屈折面の境界線の直後に配置されて、前記平面内で前記第1方向と直交する第2方向に沿って延びる前記境界線とほぼ平行に延びる線状の遮光部材を備え、前記線状の遮光部材は、位置および姿勢のいずれか一方が変更可能であることを特徴とする減光ユニットを提供する。

40

【0010】

本発明の第3形態では、光源からの光に基づいて被照射面を照明する照明光学系において、前記照明光学系の光路中に配置される波面分割型のオプティカルインテグレータと、

50

前記オプティカルインテグレータと組み合わせて用いられる第1形態または第2形態の減光ユニットとを備えていることを特徴とする照明光学系を提供する。

【0011】

本発明の第4形態では、所定のパターンを照明するための第3形態の照明光学系を備え、前記所定のパターンを感光性基板に露光することを特徴とする露光装置を提供する。

【0012】

本発明の第5形態では、第4形態の露光装置を用いて、前記所定のパターンを前記感光性基板に露光する露光工程と、前記所定のパターンが転写された前記感光性基板を現像し、前記所定のパターンに対応する形状のマスク層を前記感光性基板の表面に形成する現像工程と、前記マスク層を介して前記感光性基板の表面を加工する加工工程とを含むことを特徴とするデバイス製造方法を提供する。

10

【発明の効果】

【0013】

本発明の照明光学系では、オプティカルインテグレータの隣り合う屈折面の境界線の直後に、減光ユニットの減光部が設けられている。この減光部は、被照射面に達する光の位置がその中心から所定方向に沿って離れるにしたがって減光率の増大する減光率特性を有する。したがって、減光ユニットの減光部の作用により、被照射面上の各点に関する瞳強度分布をそれぞれ独立的に調整し、ひいては各点に関する瞳強度分布を互いにほぼ同じ性状の分布に調整することが可能である。その結果、本発明の照明光学系では、例えば被照射面上の各点での瞳強度分布を一律に調整する濃度フィルターと、各点に関する瞳強度分布をそれぞれ独立的に調整する減光ユニットとの協働作用により、被照射面上の各点での瞳強度分布をそれぞれほぼ均一に調整することができる。こうして、本発明の露光装置では、被照射面上の各点での瞳強度分布をそれぞれほぼ均一に調整する照明光学系を用いて、適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことができ、ひいては良好なデバイスを製造することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明の実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】図1のシリンドリカルマイクロフライアイレンズの構成を概略的に示す斜視図である。

30

【図3】照明瞳に形成される4極状の二次光源を示す図である。

【図4】ウェハ上に形成される矩形状の静止露光領域を示す図である。

【図5】静止露光領域内の中心点P1に入射する光が形成する4極状の瞳強度分布の性状を説明する図である。

【図6】静止露光領域内の周辺点P2、P3に入射する光が形成する4極状の瞳強度分布の性状を説明する図である。

【図7】(a)は中心点P1に関する瞳強度分布のZ方向に沿った光強度分布を、(b)は周辺点P2、P3に関する瞳強度分布のZ方向に沿った光強度分布を模式的に示す図である。

【図8】本実施形態の減光ユニットの要部構成および作用を説明する図である。

40

【図9】本実施形態の減光ユニットの全体構成を概略的に示す図である。

【図10】(a)は中心点P1に達する光線群が本来の大きさの小光源を形成する様子を、(b)は周辺点P2、P3に達する光線群が本来の大きさの小光源と本来よりも小さい小光源とを形成する様子を模式的に示す図である。

【図11】本実施形態の減光ユニットの作用効果を説明する第1の図である。

【図12】本実施形態の減光ユニットの作用効果を説明する第2の図である。

【図13】図2とは別の形態を有するシリンドリカルマイクロフライアイレンズの構成を概略的に示す斜視図である。

【図14】図13のシリンドリカルマイクロフライアイレンズに対して減光ユニットの遮光部材が配置される様子を示す図である。

50

【図 1 5】 三角形形状の断面を有する遮光部材を用いる構成例を示す図である。

【図 1 6】 矩形形状の断面を有する遮光部材を用いる構成例を示す図である。

【図 1 7】 一方の端だけが支持された状態で局所的に延びる遮光部材を用いる構成例を示す図である。

【図 1 8】 長手方向に沿って変化する断面を有する遮光部材を用いる構成例を示す図である。

【図 1 9】 遮光部材の位置または姿勢が変更可能な第 1 の構成例を示す図である。

【図 2 0】 遮光部材の位置または姿勢が変更可能な第 2 の構成例を示す図である。

【図 2 1】 遮光部材の位置または姿勢が変更可能な第 3 の構成例を示す図である。

【図 2 2】 遮光部材の位置または姿勢が変更可能な第 4 の構成例を示す図である。

10

【図 2 3】 遮光部材の位置または姿勢が変更可能な第 5 の構成例を示す図である。

【図 2 4】 遮光部材の位置または姿勢が変更可能な第 6 の構成例を示す図である。

【図 2 5】 遮光部材の位置または姿勢を変更する駆動機構の一例を示す図である。

【図 2 6】 半導体デバイスの製造工程を示すフローチャートである。

【図 2 7】 液晶表示素子等の液晶デバイスの製造工程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】

【0015】

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。図 1 は、本発明の実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。図 1 において、感光性基板であるウェハ W の露光面（転写面）の法線方向に沿って Z 軸を、ウェハ W の露光面内において図 1 の紙面に平行な方向に Y 軸を、ウェハ W の露光面内において図 1 の紙面に垂直な方向に X 軸をそれぞれ設定している。図 1 を参照すると、本実施形態の露光装置では、光源 1 から露光光（照明光）が供給される。光源 1 として、たとえば 193 nm の波長の光を供給する ArF エキシマレーザ光源や 248 nm の波長の光を供給する KrF エキシマレーザ光源などを用いることができる。光源 1 から射出された光は、整形光学系 2 により所要の断面形状の光束に変換された後、例えば輪帯照明用の回折光学素子 3 を介して、アフォーカルレンズ 4 に入射する。

20

【0016】

アフォーカルレンズ 4 は、その前側焦点位置と回折光学素子 3 の位置とがほぼ一致し且つその後側焦点位置と図中破線で示す所定面 5 の位置とがほぼ一致するように設定されたアフォーカル系（無焦点光学系）である。回折光学素子 3 は、基板に露光光（照明光）の波長程度のピッチを有する段差を形成することによって構成され、入射ビームを所望の角度に回折する作用を有する。具体的には、輪帯照明用の回折光学素子 3 は、矩形形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、ファースフィールド（またはフラウンホーファー回折領域）に輪帯状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、回折光学素子 3 に入射したほぼ平行光束は、アフォーカルレンズ 4 の瞳面に輪帯状の光強度分布を形成した後、輪帯状の角度分布でアフォーカルレンズ 4 から射出される。アフォーカルレンズ 4 の前側レンズ群 4 a と後側レンズ群 4 b との間の光路中において、その瞳位置またはその近傍には、濃度フィルター 6 が配置されている。濃度フィルター 6 は平行平板の形態を有し、その光学面にはクロムや酸化クロム等からなる遮光性ドットの濃密パターンが形成されている。すなわち、濃度フィルター 6 は、光の入射位置に応じて透過率の異なる透過率分布を有する。濃度フィルター 6 の具体的な作用については後述する。

30

40

【0017】

アフォーカルレンズ 4 を介した光は、 σ 値（ σ 値＝照明光学系のマスク側開口数／投影光学系のマスク側開口数）可変用のズームレンズ 7 を介して、オプティカルインテグレータとしてのシリンドリカルマイクロフライアイレンズ 9 に入射する。シリンドリカルマイクロフライアイレンズ 9 は、図 2 に示すように、光源側に配置された第 1 フライアイ部材（第 1 光学部材） 9 a とマスク側に配置された第 2 フライアイ部材（第 2 光学部材） 9 b とにより構成されている。第 1 フライアイ部材 9 a の光源側（入射側）の面および第 2 フライアイ部材 9 b の光源側の面には、X 方向に並んで配列された複数の円筒面形状の屈折

50

面（シリンドリカルレンズ群）9 a aおよび9 b aがそれぞれピッチ p_x で形成されている。第1フライアイ部材9 aのマスク側（射出側）の面および第2フライアイ部材9 bのマスク側の面には、Z方向に並んで配列された複数の円筒面形状の屈折面（シリンドリカルレンズ群）9 a bおよび9 b bがそれぞれピッチ p_z （ $p_z > p_x$ ）で形成されている。

【0018】

シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9のX方向に関する屈折作用（すなわちXY平面に関する屈折作用）に着目すると、光軸AXに沿って入射した平行光束は、第1フライアイ部材9 aの光源側に形成された一群の屈折面9 a aによってX方向に沿ってピッチ p_x で波面分割され、その屈折面で集光作用を受けた後、第2フライアイ部材9 bの光源側に形成された一群の屈折面9 b a中の対応する屈折面で集光作用を受け、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の後側焦点面上に集光する。シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9のZ方向に関する屈折作用（すなわちYZ平面に関する屈折作用）に着目すると、光軸AXに沿って入射した平行光束は、第1フライアイ部材9 aのマスク側に形成された一群の屈折面9 a bによってZ方向に沿ってピッチ p_z で波面分割され、その屈折面で集光作用を受けた後、第2フライアイ部材9 bのマスク側に形成された一群の屈折面9 b b中の対応する屈折面で集光作用を受け、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の後側焦点面上に集光する。

【0019】

このように、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9は、シリンドリカルレンズ群が両側面に配置された第1フライアイ部材9 aと第2フライアイ部材9 bとにより構成されているが、X方向に p_x のサイズを有しZ方向に p_z のサイズを有する多数の矩形状の微小屈折面（単位波面分割面）が縦横に且つ稠密に一体形成されたマイクロフライアイレンズと同様の光学的機能を発揮する。シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9では、微小屈折面の面形状のばらつきに起因する歪曲収差の変化を小さく抑え、たとえばエッチング加工により一体的に形成される多数の微小屈折面の製造誤差が照度分布に与える影響を小さく抑えることができる。

【0020】

所定面5の位置はズームレンズ7の前側焦点位置またはその近傍に配置され、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の入射面（すなわち第1フライアイ部材9 aの入射面）はズームレンズ7の後側焦点位置またはその近傍に配置されている。換言すると、ズームレンズ7は、所定面5とシリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の入射面とを実質的にフーリエ変換の関係に配置し、ひいてはアフォーカルレンズ4の瞳面とシリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の入射面とを光学的にほぼ共役に配置している。したがって、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の入射面上には、アフォーカルレンズ4の瞳面と同様に、たとえば光軸AXを中心とした輪帯状の照野が形成される。この輪帯状の照野の全体形状は、ズームレンズ7の焦点距離に依存して相似的变化する。シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の各単位波面分割面は、上述したように、Z方向に沿って長辺を有し且つX方向に沿って短辺を有する矩形状であって、マスクM上において形成すべき照明領域の形状（ひいてはウェハW上において形成すべき露光領域の形状）と相似な矩形状である。

【0021】

シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9に入射した光束は二次元的に分割され、その後側焦点面またはその近傍の位置（ひいては照明瞳の位置）には、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の入射面に形成される照野とほぼ同じ光強度分布を有する二次光源、すなわち光軸AXを中心とした輪帯状の実質的な面光源からなる二次光源（瞳強度分布）が形成される。シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の直後には、減光ユニット10が配置されている。減光ユニット10の構成および作用については後述する。シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の後側焦点面またはその近傍には、必要に応じて、輪帯状の二次光源に対応した輪帯状の開口部（光透過部）を有する照明開口絞り（不図

示)が配置されている。照明開口絞りは、照明光路に対して挿脱自在に構成され、且つ大きさおよび形状の異なる開口部を有する複数の開口絞りと切り換え可能に構成されている。開口絞りの切り換え方式として、たとえば周知のターレット方式やスライド方式などを用いることができる。照明開口絞りは、後述する投影光学系P Lの入射瞳面と光学的にはほぼ共役な位置に配置され、二次光源の照明に寄与する範囲を規定する。

【0022】

シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9および減光ユニット10を経た光は、コンデンサー光学系11を介して、マスクブラインド12を重畳的に照明する。こうして、照明視野絞りとしてのマスクブラインド12には、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の単位波面分割面の形状と焦点距離とに応じた矩形状の照野が形成される。マスクブラインド12の矩形状の開口部(光透過部)を経た光は、前側レンズ群13aと後側レンズ群13bとからなる結像光学系13を介して、所定のパターンが形成されたマスクMを重畳的に照明する。すなわち、結像光学系13は、マスクブラインド12の矩形状開口部の像をマスクM上に形成することになる。マスクステージMS上に保持されたマスクMには転写すべきパターンが形成されており、パターン領域全体のうちY方向に沿って長辺を有し且つX方向に沿って短辺を有する矩形状(スリット状)のパターン領域が照明される。マスクMのパターン領域を透過した光は、投影光学系P Lを介して、ウェハステージWS上に保持されたウェハ(感光性基板)W上にマスクパターンの像を形成する。すなわち、マスクM上での矩形状の照明領域に光学的に対応するように、ウェハW上においてもY方向に沿って長辺を有し且つX方向に沿って短辺を有する矩形状の静止露光領域(実効露光領域)にパターン像が形成される。こうして、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式にしたがって、投影光学系P Lの光軸AXと直交する平面(XY平面)内において、X方向(走査方向)に沿ってマスクステージMSとウェハステージWSとを、ひいてはマスクMとウェハWとを同期的に移動(走査)させることにより、ウェハW上には静止露光領域のY方向寸法に等しい幅を有し且つウェハWの走査量(移動量)に応じた長さを有するショット領域(露光領域)に対してマスクパターンが走査露光される。

【0023】

本実施形態では、上述したように、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9により形成される二次光源を光源として、照明光学系(2~13)の被照射面に配置されるマスクMをケーラー照明する。このため、二次光源が形成される位置は投影光学系P Lの開口絞りASの位置と光学的に共役であり、二次光源の形成面を照明光学系(2~13)の照明瞳面と呼ぶことができる。典型的には、照明瞳面に対して被照射面(マスクMが配置される面、または投影光学系P Lを含めて照明光学系と考える場合にはウェハWが配置される面)が光学的なフーリエ変換面となる。なお、瞳強度分布とは、照明光学系(2~13)の照明瞳面または当該照明瞳面と光学的に共役な面における光強度分布(輝度分布)である。シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9による波面分割数が比較的大きい場合、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の入射面に形成される大局的な光強度分布と、二次光源全体の大局的な光強度分布(瞳強度分布)とが高い相関を示す。このため、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の入射面および当該入射面と光学的に共役な面における光強度分布についても瞳強度分布と称することができる。図1の構成において、回折光学素子3、アフォーカルレンズ4、ズームレンズ7、およびシリンドリカルマイクロフライアイレンズ9は、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9よりも後側の照明瞳に瞳強度分布を形成する分布形成光学系を構成している。

【0024】

輪帯照明用の回折光学素子3に代えて、複数極照明(2極照明、4極照明、8極照明など)用の回折光学素子(不図示)を照明光路中に設定することによって、複数極照明を行うことができる。複数極照明用の回折光学素子は、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、ファースフィールドに複数極状(2極状、4極状、8極状など)の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、複数極照明用の回折光学素子を介した光束は、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の入射面に、たとえば光軸AXを中心とした複

数の所定形状（円弧状、円形状など）の照野からなる複数極状の照野を形成する。その結果、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の後側焦点面またはその近傍にも、その入射面に形成された照野と同じ複数極状の二次光源が形成される。また、輪帯照明用の回折光学素子3に代えて、円形照明用の回折光学素子（不図示）を照明光路中に設定することによって、通常の円形照明を行うことができる。円形照明用の回折光学素子は、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、ファーフールドに円形状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、円形照明用の回折光学素子を介した光束は、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の入射面に、たとえば光軸AXを中心とした円形状の照野を形成する。その結果、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の後側焦点面またはその近傍にも、その入射面に形成された照野と同じ円形状の二次光源が形成される。また、輪帯照明用の回折光学素子3に代えて、適当な特性を有する回折光学素子（不図示）を照明光路中に設定することによって、様々な形態の変形照明を行うことができる。回折光学素子3の切り換え方式として、たとえば周知のターレット方式やスライド方式などを用いることができる。

10

【0025】

以下の説明では、本実施形態の作用効果の理解を容易にするために、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の後側焦点面またはその近傍の照明瞳には、図3に示すような4つの円弧状の実質的な面光源（以下、単に「面光源」という）20a, 20b, 20cおよび20dからなる4極状の瞳強度分布（二次光源）20が形成されるものとする。また、以下の説明において単に「照明瞳」という場合には、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の後側焦点面またはその近傍の照明瞳を指すものとする。図3を参照すると、照明瞳に形成される4極状の瞳強度分布20は、光軸AXを挟んでX方向に間隔を隔てた面光源20aおよび20bと、光軸AXを挟んでZ方向に間隔を隔てた一対の円弧状の実質的な面光源20cおよび20dとを有する。なお、照明瞳におけるX方向はシリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の矩形状の単位波面分割面の短辺方向であって、ウェハWの走査方向に対応している。また、照明瞳におけるZ方向は、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の矩形状の単位波面分割面の長辺方向であって、ウェハWの走査方向と直交する走査直交方向（ウェハW上におけるY方向）に対応している。

20

【0026】

ウェハW上には、図4に示すように、Y方向に沿って長辺を有し且つX方向に沿って短辺を有する矩形状の静止露光領域ERが形成され、この静止露光領域ERに対応するように、マスクM上には矩形状の照明領域（不図示）が形成される。ここで、静止露光領域ER内の1点に入射する光が照明瞳に形成する4極状の瞳強度分布は、入射点の位置に依存することなく、互いにほぼ同じ形状を有する。しかしながら、4極状の瞳強度分布を構成する各面光源の光強度は、入射点の位置に依存して異なる傾向がある。具体的には、図5に示すように、静止露光領域ER内の中心点P1に入射する光が形成する4極状の瞳強度分布21の場合、Z方向に間隔を隔てた面光源21cおよび21dの光強度の方が、X方向に間隔を隔てた面光源21aおよび21bの光強度よりも大きくなる傾向がある。一方、図6に示すように、静止露光領域ER内の中心点P1からY方向に間隔を隔てた周辺の点P2, P3に入射する光が形成する4極状の瞳強度分布22の場合、Z方向に間隔を隔てた面光源22cおよび22dの光強度の方が、X方向に間隔を隔てた面光源22aおよび22bの光強度よりも小さくなる傾向がある。

30

40

【0027】

一般に、照明瞳に形成される瞳強度分布の外形形状にかかわらず、ウェハW上の静止露光領域ER内の中心点P1に関する瞳強度分布（中心点P1に入射する光が照明瞳に形成する瞳強度分布）のZ方向に沿った光強度分布は、図7（a）に示すように、中央において最も小さく周辺に向かって増大する凹曲線状の分布を有する。一方、ウェハW上の静止露光領域ER内の周辺点P2, P3に関する瞳強度分布のZ方向に沿った光強度分布は、図7（b）に示すように、中央において最も大きく周辺に向かって減少する凸曲線状の分布を有する。そして、瞳強度分布のZ方向に沿った光強度分布は、静止露光領域ER内の

50

X方向（走査方向）に沿った入射点の位置にはあまり依存しないが、静止露光領域ER内のY方向（走査直交方向）に沿った入射点の位置に依存して変化する傾向がある。このように、ウェハW上の静止露光領域ER内の各点に関する瞳強度分布（各点に入射する光が照明瞳に形成する瞳強度分布）がそれぞれほぼ均一でない場合、ウェハW上の位置毎にパターンの線幅がばらついて、マスクMの微細パターンを露光領域の全体に亘って所望の線幅でウェハW上に忠実に転写することができない。

【0028】

本実施形態では、上述したように、アフォーカルレンズ4の瞳位置またはその近傍に、光の入射位置に応じて透過率の異なる透過率分布を有する濃度フィルター6が配置されている。また、アフォーカルレンズ4の瞳位置は、その後側レンズ群4bとズームレンズ7とにより、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の入射面と光学的に共役である。したがって、濃度フィルター6の作用により、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の入射面に形成される光強度分布が調整（補正）され、ひいてはシリンドリカルマイクロフライアイレンズ9の後側焦点面またはその近傍の照明瞳に形成される瞳強度分布も調整される。ただし、濃度フィルター6は、ウェハW上の静止露光領域ER内の各点に関する瞳強度分布を、各点の位置に依存することなく一律に調整する。その結果、濃度フィルター6の作用により、例えば中心点P1に関する4極状の瞳強度分布21がほぼ均一になるように、ひいては各面光源21a～21dの光強度が互いにほぼ等しくなるように調整することはできるが、その場合には周辺点P2、P3に関する4極状の瞳強度分布22の面光源22a，22bと面光源22c，22dとの光強度の差は却って大きくなってしま

10

20

【0029】

本実施形態では、中心点P1に関する瞳強度分布の性状と周辺点P2，P3に関する瞳強度分布の性状とをほぼ一致させるために、具体的には周辺点P2，P3に関する瞳強度分布22において面光源22a，22bの光強度の方が面光源22c，22dの光強度よりも小さくなるように調整する調整手段として減光ユニット10を備えている。図8は、本実施形態にかかる減光ユニットの要部構成および作用を説明する図である。図9は、本実施形態にかかる減光ユニットの全体構成を概略的に示す図である。図8を参照すると、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ9を構成する一对のフライアイ部材9aおよび9bのうち、後側（マスク側）の第2フライアイ部材9bの射出側において、Z方向に隣り合う2つの屈折面9bbの境界線9bcの直後に、境界線9bcと平行にX方向に沿って直線状に延びる遮光部材10aが配置されている。遮光部材10aは、例えば円形状の断面を有し、適当な金属により形成されている。また、遮光部材10aは、図9に模式的に示すように、4極状の瞳強度分布20においてX方向に間隔を隔てた一对の面光源20aおよび20bに作用するように、Z方向に間隔を隔てて所要の数（図9では例示的に4つ）だけ配置されている。

30

40

【0030】

具体的に、本実施形態の減光ユニット10は、図9に示すように、Z方向に間隔を隔ててX方向に沿って直線状に延びる複数の遮光部材10aと、これらの複数の遮光部材10aを所定の位置に保持するために各遮光部材10aの両端を支持する保持部材10bとにより構成されている。各遮光部材10aが所要の曲げ剛性を有しない場合、各遮光部材10aに所要のテンションを付与した状態でその両端を支持することにより、各遮光部材10aを直線状に維持することができる。なお、図8では、遮光部材10aの作用効果（ひいては減光ユニット10の作用効果）の理解を容易にするために、Z方向に隣り合う2つ

50

の境界線 9 b c に対応するように一对の遮光部材 1 0 a が配置されている様子を示している。図 8 を参照すると、4 極状の瞳強度分布 2 0 のうち、X 方向に間隔を隔てた面光源 2 0 a および 2 0 b を形成する光はシリンドリカルマイクロフライアイレンズ 9 を通過した直後に遮光部材 1 0 a の作用を受けるが、Z 方向に間隔を隔てた面光源 2 0 c および 2 0 d を形成する光は遮光部材 1 0 a の作用を受けない。以下、図 8 を参照して、1 つの屈折面 9 b b を介して面光源 2 0 a (または 2 0 b) を構成する多数の小光源のうちの 1 つの小光源 2 0 a a (または 2 0 b a) を形成する光線群に着目して、減光部としての遮光部材 1 0 a の作用を説明する。

【0031】

ウェハ W 上の静止露光領域 E R 内の中心点 P 1 に達する光線群 L 1 は、屈折面 9 b b の Z 方向に沿った中央領域を通過する。したがって、光線群 L 1 は、遮光部材 1 0 a の作用を受けることなく、屈折面 9 b b の屈折作用を受けて、本来の大きさ (光量) を有する小光源を照明瞳に形成する。すなわち、光線群 L 1 は、中心点 P 1 に関する瞳強度分布 2 1 の面光源 2 1 a (または 2 1 b) を構成する多数の小光源のうちの 1 つの小光源を本来の光量で形成する。一方、静止露光領域 E R 内の周辺点 P 2 に達する光線群 L 2 は、屈折面 9 b b の Z 方向に沿った中央領域から離れた領域を通過する。その結果、屈折面 9 b b を経た光線群 L 2 の一部は遮光部材 1 0 a に入射し、残部は遮光部材 1 0 a に入射することなく小光源の形成面 (照明瞳の面) に達する。遮光部材 1 0 a に入射して反射された光は、瞳強度分布の形成に寄与することなく、例えば照明光路の外側へ導き出される。こうして、光線群 L 2 は、一部が屈折面 9 b b の屈折作用および遮光部材 1 0 a の減光作用を受け、残部が屈折面 9 b b の屈折作用だけを受けて、本来の大きさよりも小さい小光源を照明瞳に形成する。すなわち、光線群 L 2 は、周辺点 P 2 に関する瞳強度分布 2 2 の面光源 2 2 a (または 2 2 b) を構成する多数の小光源のうちの 1 つの小光源を、本来よりも小さい光量の小光源として形成する。

【0032】

静止露光領域 E R 内の周辺点 P 3 に達する光線群 L 3 についても、一部が屈折面 9 b b を経た後に遮光部材 1 0 a に入射し、残部が屈折面 9 b b を経た後に遮光部材 1 0 a に入射することなく小光源の形成面に達する。その結果、光線群 L 3 も光線群 L 2 と同様に、一部が屈折面 9 b b の屈折作用および遮光部材 1 0 a の減光作用を受け、残部が屈折面 9 b b の屈折作用だけを受けて、本来の大きさよりも小さい小光源を照明瞳に形成する。すなわち、光線群 L 3 は、周辺点 P 3 に関する瞳強度分布 2 2 の面光源 2 2 a (または 2 2 b) を構成する多数の小光源のうちの 1 つの小光源を、本来よりも小さい光量の小光源として形成する。こうして、静止露光領域 E R 内の中心点 P 1 に達する光線群 L 1 は、4 極状の瞳強度分布 2 1 の面光源 2 1 a, 2 1 b において、図 1 0 (a) に模式的に示すように、本来の大きさ (すなわち本来の光量) を有する小光源 3 1 をマトリックス状に形成する。これに対し、静止露光領域 E R 内の周辺点 P 2, P 3 に達する光線群 L 2, L 3 は、4 極状の瞳強度分布 2 2 の面光源 2 2 a, 2 2 b において、図 1 0 (b) に模式的に示すように、本来の大きさ (本来の光量) を有する小光源 3 2 a と、本来よりも小さい (本来よりも光量の小さい) 小光源 3 2 b とをマトリックス状に形成する。

【0033】

実際には、図 1 0 (b) に示す模式図とは異なり、小光源 3 2 b は、遮光部材 1 0 a の Z 方向に沿った位置および数 n に対応して、Z 方向に沿った n 個の位置において X 方向に沿って並んで形成される。したがって、周辺点 P 2, P 3 に関する瞳強度分布 2 2 の面光源 2 2 a, 2 2 b では、光線群 L 2, L 3 が遮光部材 1 0 a の減光作用を受ける度合い、本来よりも光量の小さい小光源 3 2 b が小光源の総数に対して占める割合などに応じて、全体的な光強度が低下する。ここで、小光源 3 2 b が占める割合は、面光源 2 2 a, 2 2 b に作用する遮光部材 1 0 a の数 n に依存する。また、光線群 L 2, L 3 が遮光部材 1 0 a の減光作用を受ける度合いすなわち減光率は、遮光部材 1 0 a の断面の形状に依存する。一般的には、光線群が静止露光領域 E R に達する点が中心点 P 1 から Y 方向に沿って離れるほど、当該光線群は屈折面 9 b b の Z 方向に沿った中央領域から離れた領域を通過す

ることになり、遮光部材 10 a に入射して遮られる光の割合の方が屈折面 9 b b に入射する光の割合よりも大きくなる。換言すれば、静止露光領域 E R 内の 1 点に達する光線群が遮光部材 10 a の減光作用を受ける度合いは、静止露光領域 E R の中心点 P 1 から当該光線群が達する点までの Y 方向（走査直交方向）に沿った距離が大きくなるにしたがって増大する。つまり、減光部としての遮光部材 10 a は、被照射面としての静止露光領域 E R に達する光線群の位置が静止露光領域 E R の中心から Y 方向に沿って離れるにしたがって減光率の増大するような減光率特性を有する。

【0034】

こうして、中心点 P 1 に関する瞳強度分布 2 1 のうち、面光源 2 1 a および 2 1 b を形成する光は遮光部材 10 a の減光作用を受けないため、面光源 2 1 a および 2 1 b の光強度は本来の大きさを維持される。面光源 2 1 c および 2 1 d を形成する光も遮光部材 10 a の減光作用を受けないため、面光源 2 1 c および 2 1 d の光強度は本来の大きさを維持される。その結果、中心点 P 1 に関する瞳強度分布 2 1 は、図 1 1 に示すように、遮光部材 10 a の減光作用を受けることなく、本来の分布のままである。すなわち、Z 方向に間隔を隔てた面光源 2 1 c, 2 1 d の光強度の方が X 方向に間隔を隔てた面光源 2 1 a, 2 1 b の光強度よりも大きい性状はそのまま維持される。一方、周辺点 P 2、P 3 に関する瞳強度分布 2 2 のうち、面光源 2 2 a および 2 2 b からの光の一部が遮光部材 10 a の減光作用を受けるため、面光源 2 2 a および 2 2 b の全体的な光強度は低下する。面光源 2 2 c および 2 2 d からの光は遮光部材 10 a の減光作用を受けないため、面光源 2 2 c および 2 2 d の光強度は本来の大きさを維持される。その結果、周辺点 P 2、P 3 に関する瞳強度分布 2 2 は、図 1 2 に示すように、遮光部材 10 a の減光作用により、本来の分布 2 2 とは異なる性状の瞳強度分布 2 2' に調整される。すなわち、調整された瞳強度分布 2 2' では、Z 方向に間隔を隔てた面光源 2 2 c, 2 2 d の光強度の方が X 方向に間隔を隔てた面光源 2 2 a', 2 2 b' の光強度よりも大きい性状に変化する。

【0035】

このように、遮光部材 10 a の作用（ひいては遮光ユニット 10 の減光部の作用）により、周辺点 P 2、P 3 に関する瞳強度分布 2 2 は、中心点 P 1 に関する瞳強度分布 2 1 とほぼ同じ性状の分布 2 2' に調整される。同様に、中心点 P 1 と周辺点 P 2、P 3 との間で Y 方向に沿って並んだ各点に関する瞳強度分布、ひいてはウェハ W 上の静止露光領域 E R 内の各点に関する瞳強度分布も、中心点 P 1 に関する瞳強度分布 2 1 とほぼ同じ性状の分布に調整される。換言すれば、遮光ユニット 10 の作用により、ウェハ W 上の静止露光領域 E R 内の各点に関する瞳強度分布は互いにほぼ同じ性状の分布に調整される。さらに別の表現をすれば、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ 9 の直後に配置された減光部としての遮光部材 10 a は、各点に関する瞳強度分布を互いにほぼ同じ性状の分布に調整するために必要な所要の減光率特性、すなわち被照射面としての静止露光領域 E R に達する光の位置が中心点 P 1 から Y 方向に沿って離れるにしたがって減光率の増大する所要の減光率特性を有する。減光部の所要の減光率特性は、上述したように、遮光部材 10 a の数、遮光部材 10 a の断面形状などを適宜設定することにより実現される。

【0036】

以上のように、本実施形態の遮光ユニット 10 は、波面分割型のオプティカルインテグレートとしてのシリンドリカルマイクロフライアイレンズ 9 の射出側において Z 方向に隣り合う屈折面 9 b b の境界線 9 b c の直後に配置され且つ境界線 9 b c と平行に X 方向に沿って直線状に延びる遮光部材 10 a を備えている。減光部としての遮光部材 10 a は、被照射面である静止露光領域 E R に達する光の位置が中心点 P 1 から Y 方向に沿って離れるにしたがって減光率の増大する所要の減光率特性を有する。したがって、遮光部材 10 a の配置位置、数、断面形状などを適宜設定して得られる遮光ユニット 10 の減光部の作用により、被照射面上の各点に関する瞳強度分布をそれぞれ独立的に調整することができ、ひいては各点に関する瞳強度分布を互いにほぼ同じ性状の分布に調整することが可能である。また、本実施形態の照明光学系（2～13）では、ウェハ W 上の静止露光領域 E R 内の各点に関する瞳強度分布をそれぞれ独立的に調整する調整手段としての遮光ユニット

10と、光の入射位置に応じて変化する所要の透過率特性を有し、各点に関する瞳強度分布を一律に調整する濃度フィルター6との協働作用により、各点に関する瞳強度分布をそれぞれほぼ均一に調整することができる。したがって、本実施形態の露光装置(1~WS)では、ウェハW上の静止露光領域ER内の各点での瞳強度分布をそれぞれほぼ均一に調整する照明光学系(2~13)を用いて、マスクMの微細パターンに応じた適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことができ、ひいてはマスクMの微細パターンを露光領域の全体に亘って所望の線幅でウェハW上に忠実に転写することができる。

【0037】

本実施形態において、ウェハ(被照射面)W上の光量分布が、例えば遮光ユニット10の減光部の調整作用の影響を受けることが考えられる。この場合、必要に応じて、公知の構成を有する光量分布調整部の作用により、静止露光領域ER内の照度分布を変更する、または静止露光領域(照明領域)ERの形状を変更して露光量分布を変更することができる。具体的に、照度分布を変更する光量分布調整部としては、特開2001-313250号および特開2002-100561号(並びにそれらに対応する米国特許第6771350号および第6927836号)に記載された構成および手法を用いることができる。また、照明領域の形状を変更する光量分布調整部としては、国際特許公開第WO2005/048326号パンフレット(およびそれに対応する米国特許公開第2007/0014112号公報)に記載された構成および手法を用いることができる。

【0038】

なお、上述の説明では、波面分割型のオプティカルインテグレータとして、図2に示すような形態を有するシリンドリカルマイクロフライアイレンズ9を用いている。しかしながら、これに限定されることなく、例えば図13に示すような別の形態を有するシリンドリカルマイクロフライアイレンズ19を用いることもできる。シリンドリカルマイクロフライアイレンズ19は、図13に示すように、光源側に配置された第1フライアイ部材19aとマスク側に配置された第2フライアイ部材19bとにより構成されている。第1フライアイ部材19aの光源側の面およびマスク側の面には、X方向に並んで配列された複数の円筒面形状の屈折面(シリンドリカルレンズ群)19aaおよび19abがそれぞれピッチp1で形成されている。第2フライアイ部材19bの光源側の面およびマスク側の面には、Z方向に並んで配列された複数の円筒面形状の屈折面(シリンドリカルレンズ群)19baおよび19bbがそれぞれピッチp2(p2>p1)で形成されている。

【0039】

シリンドリカルマイクロフライアイレンズ19のX方向に関する屈折作用(すなわちXY平面に関する屈折作用)に着目すると、光軸AXに沿って入射した平行光束は、第1フライアイ部材19aの光源側に形成された一群の屈折面19aaによってX方向に沿ってピッチp1で波面分割され、その屈折面で集光作用を受けた後、第1フライアイ部材19aのマスク側に形成された一群の屈折面19ab中の対応する屈折面で集光作用を受け、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ19の後側焦点面上に集光する。シリンドリカルマイクロフライアイレンズ19のZ方向に関する屈折作用(すなわちYZ平面に関する屈折作用)に着目すると、光軸AXに沿って入射した平行光束は、第2フライアイ部材19bの光源側に形成された一群の屈折面19baによってZ方向に沿ってピッチp2で波面分割され、その屈折面で集光作用を受けた後、第2フライアイ部材19bのマスク側に形成された一群の屈折面19bb中の対応する屈折面で集光作用を受け、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ19の後側焦点面上に集光する。

【0040】

このように、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ19は、シリンドリカルレンズ群が両側面に配置された第1フライアイ部材19aと第2フライアイ部材19bとにより構成され、X方向にp1のサイズを有しZ方向にp2のサイズを有する多数の矩形状の微小屈折面(単位波面分割面)を有する。すなわち、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ19は、Z方向に沿って長辺を有し且つX方向に沿って短辺を有する矩形状の単位波面分割面を有する。シリンドリカルマイクロフライアイレンズ19を用いる場合も、図2

のシリンドリカルマイクロフライアイレンズ 9 の場合と同様に、例えば円形状の断面を有する線状の遮光部材 10 a を備えた減光ユニット 10 を付設することにより、上述の実施形態と同様の効果を発揮することができる。具体的には、図 14 に示すように、一对のフライアイ部材 19 a および 19 b のうち、後側（マスク側）の第 2 フライアイ部材 19 b の射出側において、Z 方向に隣り合う 2 つの屈折面 19 b b の境界線 19 b c の直後に、境界線 19 b c と平行に X 方向に沿って直線状に延びる遮光部材 10 a が配置される。減光部としての遮光部材 10 a は、例えば図 9 に模式的に示すように、X 方向に間隔を隔てた一对の面光源 20 a および 20 b に作用するように、Z 方向に間隔を隔てて所要の数だけ配置されている。

【0041】

さらに一般的には、シリンドリカルマイクロフライアイレンズに限定されることなく、照明光学系の光軸と直交する平面内の第 1 方向に所定の屈折力を有する複数の第 1 屈折面と、複数の第 1 屈折面に対応するようにその後側に設けられて第 1 方向に所定の屈折力を有する複数の第 2 屈折面とを備えた波面分割型のオプティカルインテグレータと組み合わせて用いられる減光ユニットに対して本発明を適用することができる。この場合、被照射面に達する光の位置がその中心から第 1 方向に沿って離れるにしたがって減光率の増大する減光率特性を有する減光部が、少なくとも 2 つの隣り合う第 2 屈折面の境界線の直後に配置される。

【0042】

また、上述の実施形態では、減光ユニット 10 の減光部が、円形状の断面を有し且つ面光源 20 a に対応する位置から面光源 20 b に対応する位置まで延びる遮光部材 10 a により構成されている。しかしながら、これに限定されることなく、減光部の具体的な構成、ひいては遮光部材の具体的な構成について、様々な形態が可能である。例えば、図 15 に示すように三角形状の断面を有する遮光部材 10 a a や、図 16 に示すように矩形形状の断面を有する遮光部材 10 a b を用いることもできる。すなわち、線状の遮光部材の配置位置や数だけでなく、その断面形状についても様々な形態が可能である。また、図 17 に示すように、X 方向に間隔を隔てた一对の面光源 23 a、23 b のうち、一方の面光源 23 a に対応して配置された複数の遮光部材 10 a c と、他方の面光源 23 b に対応して配置された複数の遮光部材 10 a d と、これらの遮光部材 10 a c、10 a d を所定の位置に保持するために各遮光部材 10 a c、10 a d の一方の端だけを支持する保持部材 10 b とにより減光ユニット 10 を構成することもできる。また、図 18 に示すように、面光源 23 a および 23 b に対応する端部では断面積が比較的大きく且つ中央部では断面積が比較的小さい遮光部材（一般には長手方向に沿って変化する断面を有する遮光部材）10 a e を用いることもできる。図 17 および図 18 の構成例では、例えば 5 極状の瞳強度分布において X 方向に間隔を隔てた一对の面光源 23 a および 23 b のみに減光作用を与え、これら一对の面光源 23 a および 23 b に挟まれて光軸 AX 上に位置する面光源 23 e に減光作用を与えないか、あるいは面光源 23 e に対する不要な減光作用を小さく抑えるという利点がある。

【0043】

また、上述の実施形態では、線状の遮光部材 10 a を固定的に位置決めしている。しかしながら、これに限定されることなく、1 つまたは複数の線状の遮光部材の位置および姿勢のいずれか一方を変更可能に構成することもできる。また、複数の線状の遮光部材を備える場合には、一方の線状の遮光部材と他方の線状の遮光部材との相対的な位置および相対的な姿勢のうちの少なくとも一方を変更可能に構成することもできる。この構成により、遮光ユニットの減光部の減光率特性（減光率分布）の変更自由度を向上させることができる。例えば、図 19 に示すように、複数の線状の遮光部材 10 a f を光軸 AX に沿った方向すなわち Y 方向に一体的に移動可能または個別に移動可能に構成することができる。この場合、ある遮光部材 10 a f が屈折面 9 b b から離れるにしたがって、当該遮光部材 10 a f による減光率が低下する。また、図 20 に示すように、少なくとも 1 つの線状の遮光部材 10 a f を X 方向に延びる軸（光軸 AX と直交する軸）廻りに回転可能に構成す

10

20

30

40

50

ることもできる。この場合、ある遮光部材 10 a f が回転するにしたがって、当該遮光部材 10 a f のうち屈折面 9 b b から離れる方の端部による減光率が低下する。

【0044】

図 2 1 に示すように、面光源 20 a に対して配置された複数の線状の遮光部材 10 a g および面光源 20 b に対して配置された複数の線状の遮光部材 10 a h において、XZ 平面（光軸 AX と直交する平面）内における各遮光部材の位置を一体的に変更可能または個別に変更可能に構成することにより、減光率分布の変更自由度を向上させることもできる。なお、図 2 1 に示すように、ある遮光部材と他の遮光部材との間で長さを変えることもできる。また、図 2 2 に示すように、図 2 1 に示す状態から、例えば遮光部材 10 a g を Y 方向（光軸 AX の方向）に移動可能に構成することにより、減光率分布の変更自由度を向上させることができる。なお、図 2 2 に示すように、面光源 20 a と 20 b との間で対応する遮光部材の本数が異なるように変更することもできる。さらに、図 2 3 に示すように、図 2 1 に示す状態から、例えば遮光部材 10 a g を Y 方向に延びる軸（光軸 AX または光軸 AX と平行な軸）廻りに回転可能に構成することにより、減光率分布の変更自由度を向上させることもできる。

【0045】

また、図 2 4 に示すように、例えば Z 方向に延びた遮光部材 10 a i を X 方向（Z 方向および光軸 AX 方向と直交する方向）に延びる軸廻りに回転可能に構成することにより、減光率分布の変更自由度を向上させることもできる。図 2 4 の例では、面光源 20 a 内の領域において減光率分布を光軸からの距離に応じて変化したものとしている。なお、上述した図 1 9 ～図 2 4 の各構成例同士は互いに組み合わせることができ、その組み合わせは任意なものとする事ができる。

【0046】

図 2 5 は、線状の遮光部材を移動可能に構成する際の駆動機構の一例を示している。図 2 5 (a) は図 1 9 および図 2 0 に対応しており、各遮光部材 10 a f を光軸 AX に沿った方向に移動させ、且つ光軸 AX と直交する軸廻りに回転させる駆動機構を示し、図 2 5 (b) は図 2 1 に対応しており各遮光部材 10 a h の位置を変更する駆動機構を示している。

【0047】

図 2 5 (a) において、X 方向に延びた各遮光部材 10 a f は、それらの両端が駆動部 3 1 に接続されており、これらの駆動部 3 1 は保持部材 10 b 上に設けられている。そして、各駆動部 3 1 は、遮光部材 10 a f を X 軸廻りに回転駆動させ、且つ遮光部材 10 a f を Y 方向に沿って移動させる。ここで、遮光部材 10 a f の両端の駆動部 3 1 において Y 方向に沿った駆動量を同量とすれば、遮光部材 10 a f の Y 方向に沿った位置が変更される。遮光部材 10 a f の両端の駆動部 3 1 において Y 方向に沿った駆動量を異なる量とすれば、遮光部材 10 a f を Z 軸廻りに回転できる。

【0048】

図 2 5 (b) において、X 方向に延びた遮光部材のうち +Z 方向側の遮光部材 10 a g は駆動部 3 2 に接続されており、-Z 方向側の遮光部材 10 a h は駆動部 3 3 に接続されている。これらの駆動部 3 2 および 3 3 は保持部材 10 b 上に設けられている。そして、各駆動部 3 2 は、遮光部材 10 a g を Z 軸廻りに回転させると共に、Z 方向に沿った位置を変更させる。また、各駆動部 3 3 は、遮光部材 10 a h を Z 軸廻りに回転させると共に、Z 方向に沿った位置を変更させる。

【0049】

なお、上述に示した遮光部材 10 の位置・姿勢の調整は、被照射面上の複数の位置での瞳輝度分布（瞳強度分布）の観測結果に基づいて、各位置での瞳輝度分布が所望の分布（強度）となるように、駆動部を制御することによって行われる。ここで、瞳輝度分布の観測に際しては、たとえば特開 2006-54328 号公報や特開 2003-22967 号公報およびこれに対応する米国特許公開第 2003/0038225 号公報に開示されている瞳輝度分布計測装置を用いることができる。

10

20

30

40

50

【0050】

また、上述の説明では、照明瞳に4極状の瞳強度分布が形成される変形照明、すなわち4極照明を例にとって、本発明の作用効果を説明している。しかしながら、4極照明に限定されることなく、例えば輪帯状の瞳強度分布が形成される輪帯照明、4極状以外の他の複数極状の瞳強度分布が形成される複数極照明などに対しても、同様に本発明を適用して同様の作用効果を得ることができることは明らかである。

【0051】

上述の実施形態の露光装置は、本願特許請求の範囲に挙げられた各構成要素を含む各種サブシステムを、所定の機械的精度、電気的精度、光学の精度を保つように、組み立てることで製造される。これら各種精度を確保するために、この組み立ての前後には、各種光学系については光学の精度を達成するための調整、各種機械系については機械的精度を達成するための調整、各種電気系については電気的精度を達成するための調整が行われる。各種サブシステムから露光装置への組み立て工程は、各種サブシステム相互の、機械的接続、電気回路の配線接続、気圧回路の配管接続等が含まれる。この各種サブシステムから露光装置への組み立て工程の前に、各サブシステム個々の組み立て工程があることはいうまでもない。各種サブシステムの露光装置への組み立て工程が終了したら、総合調整が行われ、露光装置全体としての各種精度が確保される。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

【0052】

次に、上述の実施形態にかかる露光装置を用いたデバイス製造方法について説明する。図26は、半導体デバイスの製造工程を示すフローチャートである。図26に示すように、半導体デバイスの製造工程では、半導体デバイスの基板となるウェハWに金属膜を蒸着し（ステップS40）、この蒸着した金属膜上に感光性材料であるフォトレジストを塗布する（ステップS42）。つづいて、上述の実施形態の露光装置を用い、マスク（レチクル）Mに形成されたパターンをウェハW上の各ショット領域に転写し（ステップS44：露光工程）、この転写が終了したウェハWの現像、つまりパターンが転写されたフォトレジストの現像を行う（ステップS46：現像工程）。その後、ステップS46によってウェハWの表面に生成されたレジストパターンをマスクとし、ウェハWの表面に対してエッチング等の加工を行う（ステップS48：加工工程）。ここで、レジストパターンとは、上述の実施形態の露光装置によって転写されたパターンに対応する形状の凹凸が生成されたフォトレジスト層であって、その凹部がフォトレジスト層を貫通しているものである。ステップS48では、このレジストパターンを介してウェハWの表面の加工を行う。ステップS48で行われる加工には、例えばウェハWの表面のエッチングまたは金属膜等の成膜の少なくとも一方が含まれる。なお、ステップS44では、上述の実施形態の露光装置は、フォトレジストが塗布されたウェハWを、感光性基板つまりプレートPとしてパターンの転写を行う。

【0053】

図27は、液晶表示素子等の液晶デバイスの製造工程を示すフローチャートである。図27に示すように、液晶デバイスの製造工程では、パターン形成工程（ステップS50）、カラーフィルター形成工程（ステップS52）、セル組立工程（ステップS54）およびモジュール組立工程（ステップS56）を順次行う。ステップS50のパターン形成工程では、プレートPとしてフォトレジストが塗布されたガラス基板上に、上述の実施形態の露光装置を用いて回路パターンおよび電極パターン等の所定のパターンを形成する。このパターン形成工程には、上述の実施形態の露光装置を用いてフォトレジスト層にパターンを転写する露光工程と、パターンが転写されたプレートPの現像、つまりガラス基板上のフォトレジスト層の現像を行い、パターンに対応する形状のフォトレジスト層を生成する現像工程と、この現像されたフォトレジスト層を介してガラス基板の表面を加工する加工工程とが含まれている。ステップS52のカラーフィルター形成工程では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応する3つのドットの組をマトリックス状に多数配列するか、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を水平走査方向に複数配列

したカラーフィルターを形成する。ステップ S 5 4 のセル組立工程では、ステップ S 5 0 によって所定パターンが形成されたガラス基板と、ステップ S 5 2 によって形成されたカラーフィルターとを用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。具体的には、例えばガラス基板とカラーフィルターとの間に液晶を注入することで液晶パネルを形成する。ステップ S 5 6 のモジュール組立工程では、ステップ S 5 4 によって組み立てられた液晶パネルに対し、この液晶パネルの表示動作を行わせる電気回路およびバックライト等の各種部品を取り付ける。

【0054】

また、本発明は、半導体デバイス製造用の露光装置への適用に限定されることなく、例えば、角型のガラスプレートに形成される液晶表示素子、若しくはプラズマディスプレイ等のディスプレイ装置用の露光装置や、撮像素子（CCD等）、マイクロマシーン、薄膜磁気ヘッド、及びDNAチップ等の各種デバイスを製造するための露光装置にも広く適用できる。更に、本発明は、各種デバイスのマスクパターンが形成されたマスク（フォトリソグラフィ工程）を用いて製造する際の、露光工程（露光装置）にも適用することができる。

【0055】

なお、上述の実施形態では、露光光としてArFエキシマレーザ光（波長：193nm）やKrFエキシマレーザ光（波長：248nm）を用いているが、これに限定されることなく、他の適当なレーザ光源、たとえば波長157nmのレーザ光を供給するF₂レーザ光源などに対して本発明を適用することもできる。また、上述の実施形態では、ウェハWのショット領域にマスクMのパターンを走査露光するステップ・アンド・スキャン方式の露光装置に対して本発明を適用している。しかしながら、これに限定されることなく、ウェハWの各露光領域にマスクMのパターンを一括露光する動作を繰り返すステップ・アンド・リピート方式の露光装置に対して本発明を適用することもできる。また、上述の実施形態では、露光装置においてマスクまたはウェハを照明する照明光学系に対して本発明を適用しているが、これに限定されることなく、マスクまたはウェハ以外の被照射面を照明する一般的な照明光学系に対して本発明を適用することもできる。

【符号の説明】

【0056】

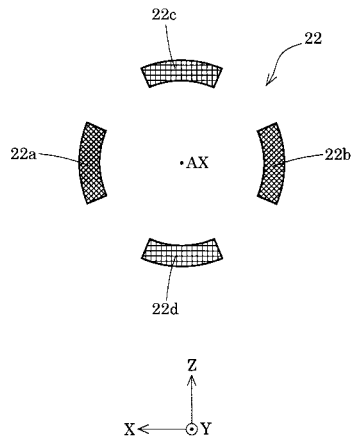
1 光源； 3 回折光学素子； 4 アフォーカルレンズ； 6 濃度フィルター
7 ズームレンズ； 10 減光ユニット； 10a 遮光部材
9, 19 シリンドリカルマイクロフライアイレンズ（オプティカルインテグレータ）
11 コンデンサー光学系； 12 マスクブラインド； 13 結像光学系
M マスク； PL 投影光学系； AS 開口絞り； W ウェハ

10

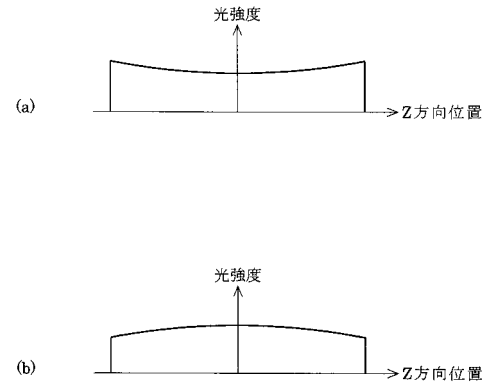
20

30

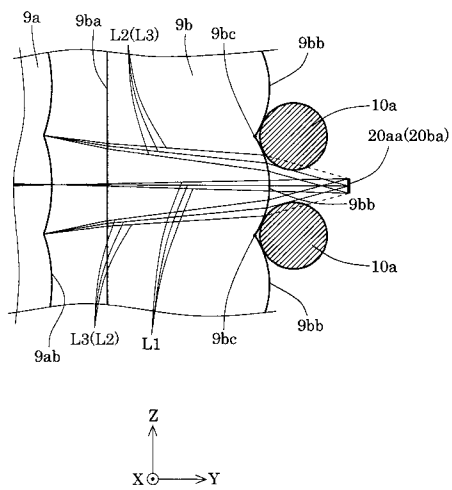
【図 6】



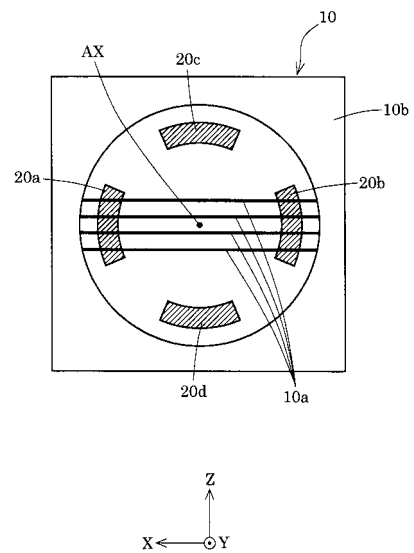
【図 7】



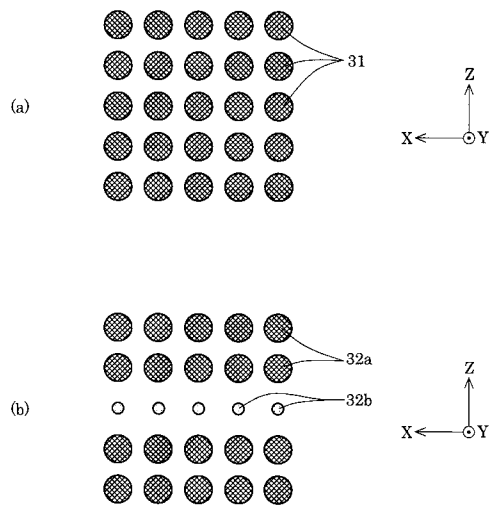
【図 8】



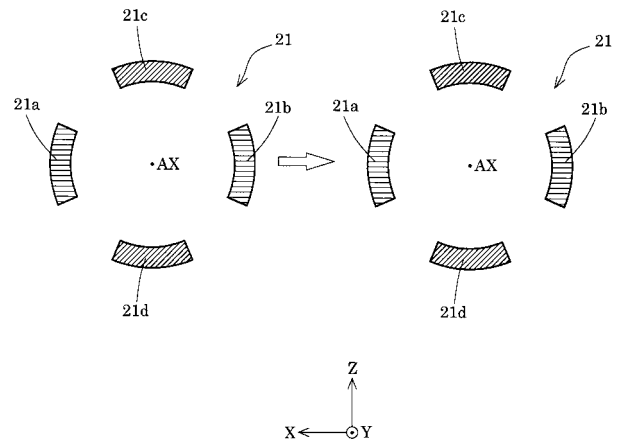
【図 9】



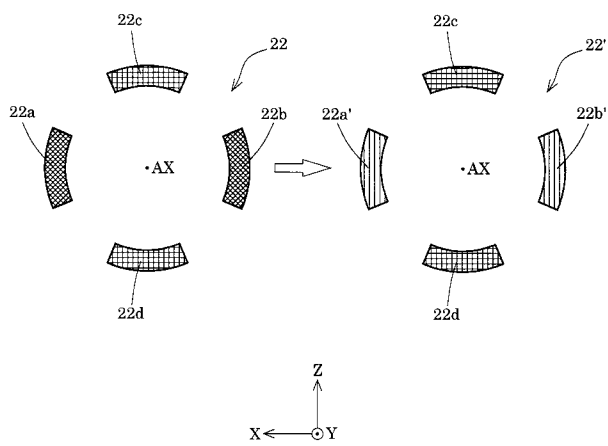
【図 10】



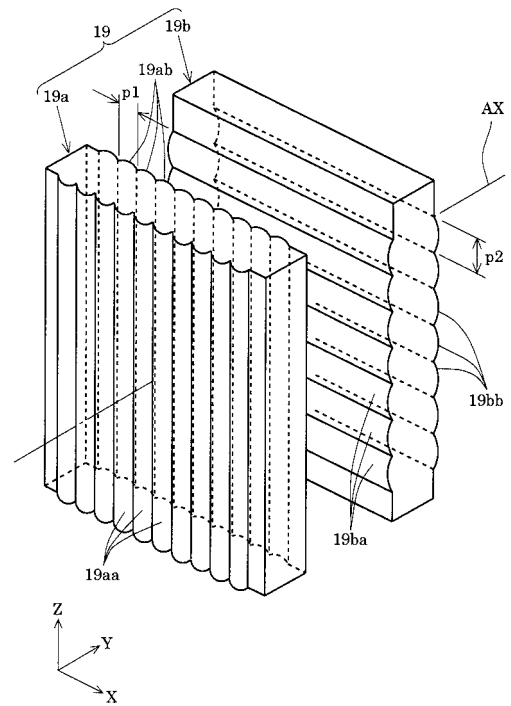
【図 11】



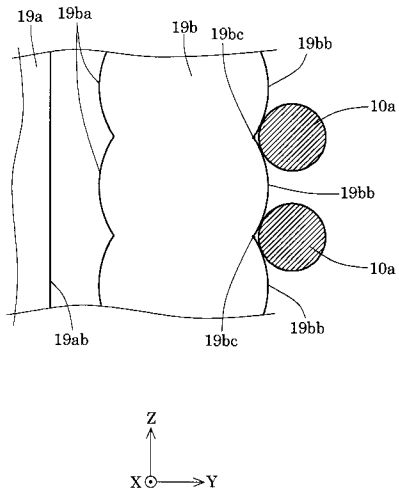
【図 12】



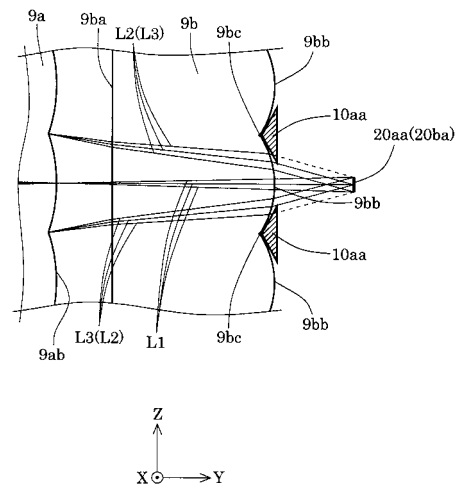
【図 13】



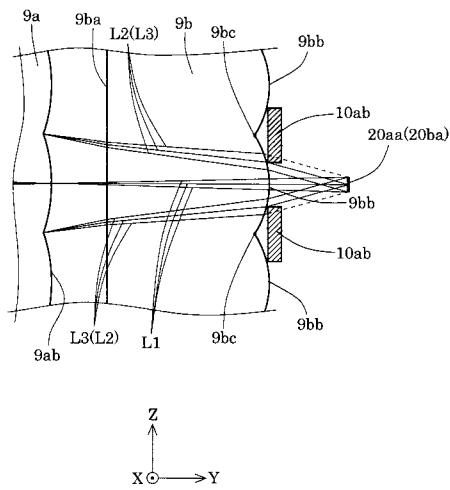
【図 1 4】



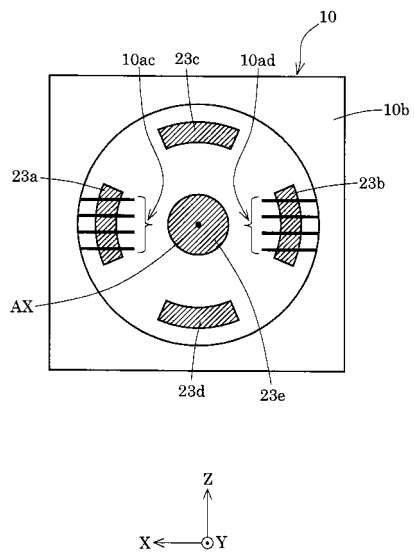
【図 1 5】



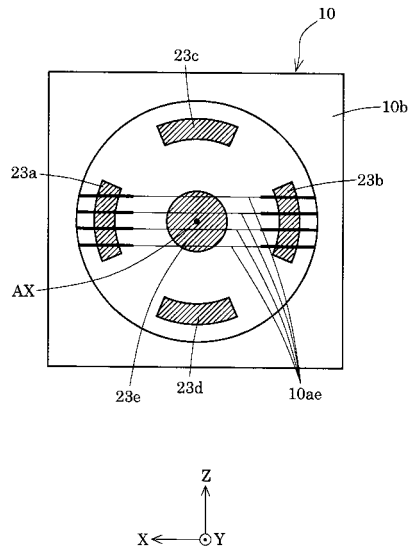
【図 1 6】



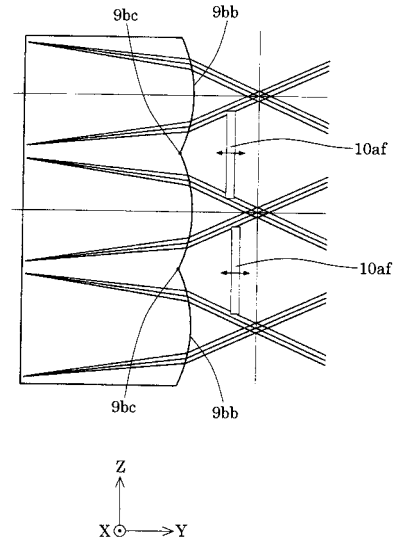
【図 1 7】



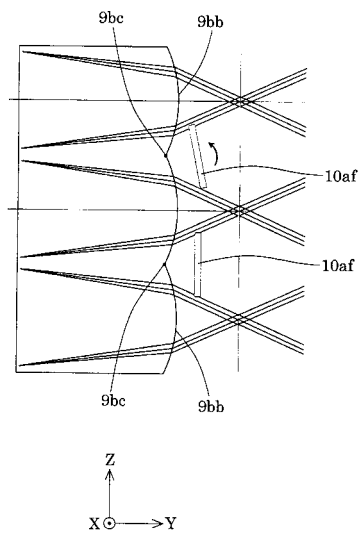
【図 18】



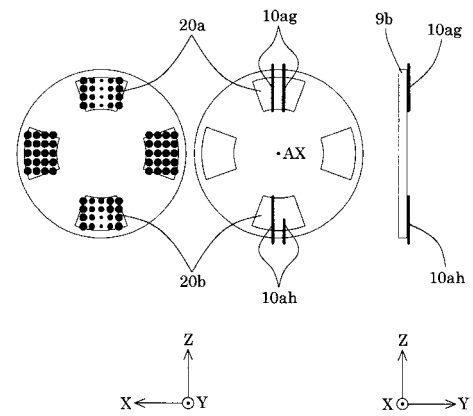
【図 19】



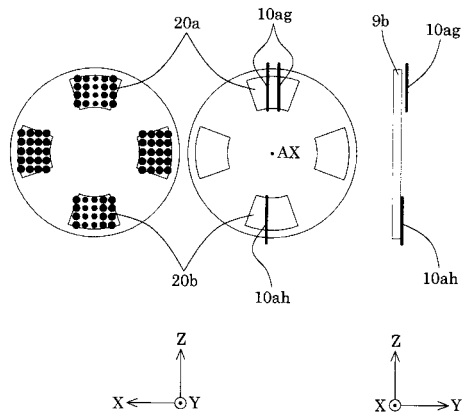
【図 20】



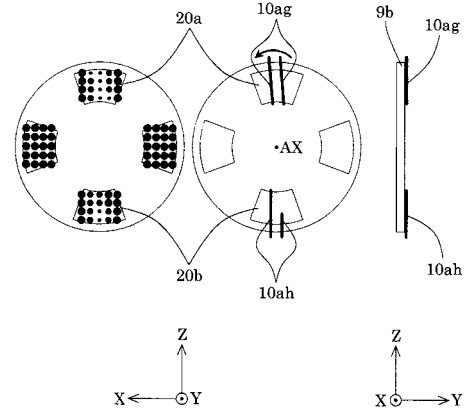
【図 21】



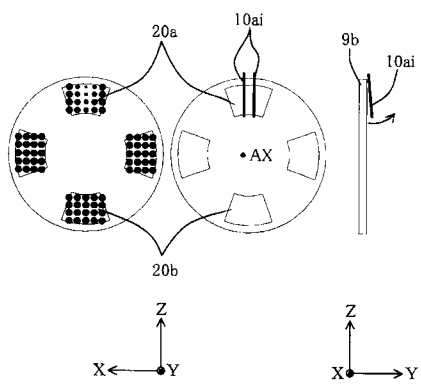
【図 2 2】



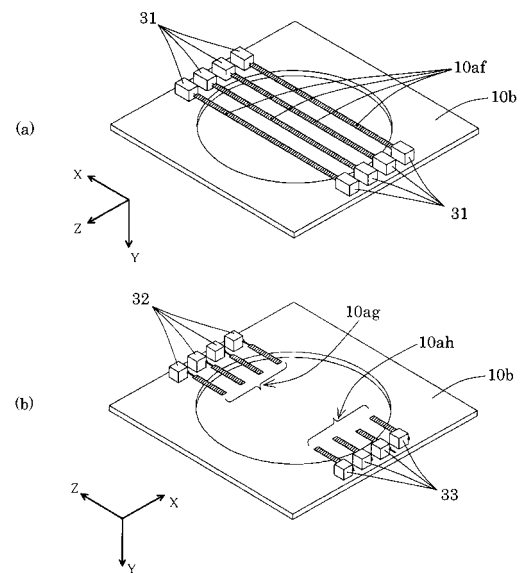
【図 2 3】



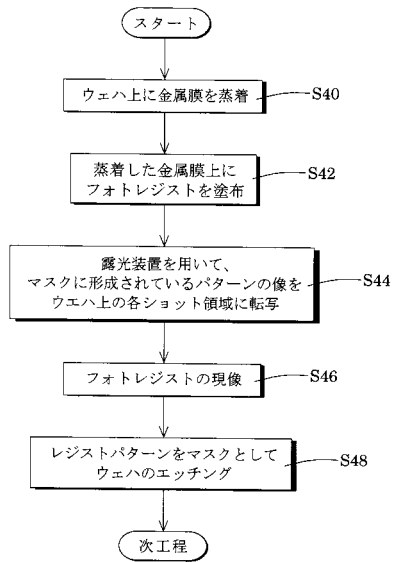
【図 2 4】



【図 2 5】



【図 26】



【図 27】

