

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第4329266号
(P4329266)

(45) 発行日 平成21年9月9日 (2009.9.9)

(24) 登録日 平成21年6月26日 (2009.6.26)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 L 21/027 (2006.01)

GO 3 F 7/20 (2006.01)

HO 1 L 21/30 5 2 7

GO 3 F 7/20 5 2 1

請求項の数 29 (全 44 頁)

(21) 出願番号	特願2000-538379 (P2000-538379)	(73) 特許権者	000004112
(86) (22) 出願日	平成11年3月23日 (1999.3.23)		株式会社ニコン
(86) 国際出願番号	PCT/JP1999/001442		東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(87) 国際公開番号	W01999/049505	(74) 代理人	100077919
(87) 国際公開日	平成11年9月30日 (1999.9.30)		弁理士 井上 義雄
審査請求日	平成17年11月30日 (2005.11.30)	(72) 発明者	小松田 秀基
(31) 優先権主張番号	特願平10-93858		東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
(32) 優先日	平成10年3月24日 (1998.3.24)		式会社ニコン内
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	金山谷 信道
(31) 優先権主張番号	特願平10-188100		東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
(32) 優先日	平成10年6月19日 (1998.6.19)		式会社ニコン内
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	谷津 修
(31) 優先権主張番号	特願平11-3932		東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
(32) 優先日	平成11年1月11日 (1999.1.11)		式会社ニコン内
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 照明装置、露光方法及び装置、並びにデバイス製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

所定波長の光束を発生する光源部からの前記光束に基づいて被照射面を照明するための照明装置において、

複数の第1単位光学系と複数の第2単位光学系とを含み、前記複数の第1及び第2単位光学系を用いて前記光源部からの光束を波面分割し、前記複数の第1単位光学系から複数の第1光束を生成すると共に前記複数の第2単位光学系から複数の第2光束を生成し、かつ前記複数の第1光束から複数の第1の光源像を形成すると共に前記複数の第2光束から複数の第2の光源像を形成するオプティカルインテグレータと、

該オプティカルインテグレータの前記複数の第1単位光学系を介した前記複数の第1光束を集光して重畳的に所定面上の第1領域へ導くと共に、前記複数の第2単位光学系を介した前記複数の第2光束を集光して重畳的に前記所定面上の第2領域へ導くコンデンサ光学系と、

前記第1単位光学系を介した前記複数の前記第1光束を偏向させる第1の補助光学部材と、

前記第2単位光学系を介した前記複数の前記第2光束を偏向させる第2の補助光学部材と、

を含み、

前記第1単位光学系の1つには少なくとも1つの前記第1の補助光学部材が対応して配置され、前記第2単位光学系の1つには、少なくとも1つの前記第2の補助光学部材が対

応して配置されることを特徴とする照明装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の照明装置において、

前記第 1 の補助光学部材は、全ての前記第 1 単位光学系のそれぞれと 1 対 1 対応の関係で配置され、前記第 2 の補助光学部材は、全ての前記第 2 単位光学系のそれぞれと 1 対 1 対応の関係で配置されることを特徴とする照明装置。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の照明装置において、

前記第 1 及び第 2 の補助光学部材は、前記オプティカルインテグレータと前記被照射面との間に配置されていることを特徴とする照明装置。

10

【請求項 4】

請求項 1 に記載の照明装置において、

前記第 1 の補助光学部材は、前記第 1 単位光学系を介した光束を少なくとも 2 つの方向へ偏向させ、前記第 2 の補助光学部材は、前記第 2 単位光学系を介した光束を少なくとも 2 つの方向へ偏向させることを特徴とする照明装置。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の照明装置において、

前記オプティカルインテグレータと前記コンデンサ光学系との間には、前記オプティカルインテグレータによる前記複数の光源像からの光に基づいて実質的な面光源を形成する補助オプティカルインテグレータが配置され、

20

前記コンデンサ光学系は、前記補助オプティカルインテグレータによる前記実質的な面光源からの光を前記被照射面へ導くことを特徴とする照明装置。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の照明装置において、

前記第 1 の補助光学部材と前記第 1 単位光学系とは一体的に形成され、前記第 2 の補助光学部材と前記第 2 単位光学系とは一体的に形成されることを特徴とする照明装置。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の照明装置において、

前記オプティカルインテグレータと前記被照射面との間には、前記オプティカルインテグレータが形成する前記複数の光源に基づいて、実質的な面光源を形成する補助オプティカルインテグレータが配置され、

30

該補助オプティカルインテグレータよりも前記光源部側には、光拡散部材が配置されることを特徴とする照明装置。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の照明装置において、

前記補助オプティカルインテグレータは内面反射型のオプティカルインテグレータであり、

前記第 1 及び第 2 の補助光学部材により偏向された光束のそれぞれは、前記内面反射型のオプティカルインテグレータに対して異なる方向から入射することを特徴とする照明装置。

40

【請求項 9】

請求項 1 に記載の照明装置において、

少なくとも前記オプティカルインテグレータと交換可能に設けられて、前記光源部からの光束に基づいて実質的な面光源を形成する別のオプティカルインテグレータを含むことを特徴とする照明装置。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の照明装置において、

前記別のオプティカルインテグレータは、前記オプティカルインテグレータおよび前記第 1 及び第 2 の補助光学部材と交換可能に設けられることを特徴とする照明装置。

【請求項 11】

50

請求項 9 に記載の照明装置において、
前記別のオプティカルインテグレータは、前記オプティカルインテグレータのみと交換可能に設けられることを特徴とする照明装置。

【請求項 1 2】

請求項 9 に記載の照明装置において、
前記オプティカルインテグレータと前記第 1 及び第 2 の補助光学部材とは互いに異なる光学部材であることを特徴とする照明装置。

【請求項 1 3】

請求項 1 に記載の照明装置において、
前記第 1 領域と前記第 2 領域との面積は異なることを特徴とする照明装置。

10

【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載の照明装置において、
前記第 1 単位光学系は、第 1 の焦点距離を有し、前記第 2 単位光学系は、該第 1 の焦点距離とは異なる第 2 の焦点距離を有することを特徴とする照明装置。

【請求項 1 5】

請求項 1 に記載の照明装置において、
前記第 1 の補助光学部材により偏向された複数の光束は、前記照明装置の光軸と平行な軸に対して第 1 の傾きを有する第 1 光束を含み、
前記第 2 の補助光学部材により偏向された複数の光束は、前記第 1 の傾きとは異なる第 2 の傾きを有する第 2 光束とを含むことを特徴とする照明装置。

20

【請求項 1 6】

請求項 1 ～ 1 5 の何れか一項に記載の照明装置において、
前記第 1 及び第 2 の補助光学部材にて偏向された前記光束のうちの少なくとも一部の光束は、前記所定面上における光軸を含まない領域へ導かれることを特徴とする照明装置。

【請求項 1 7】

請求項 1 に記載の照明装置において、
前記第 1 及び第 2 の補助光学部材は、複数の補助光学部材群を有し、
 n を自然数とするとき、該補助光学部材群は $4n$ 個の補助光学部材を有し、
前記 $4n$ 個の補助光学部材のそれぞれの射出側面は、前記照明装置の光軸に垂直な基準面に対して傾斜しており、
前記補助光学部材の前記射出側面の法線を前記基準面に投影した直線を方位直線とするとき、前記補助光学部材群内の前記各補助光学部材の各々の前記方位直線同士のなす角度が $360/4n$ 度であることを特徴とする照明装置。

30

【請求項 1 8】

請求項 1 7 に記載の照明装置において、
前記補助光学部材群の各々は、4 個の補助光学部材からなり、
前記補助光学部材群内の前記 4 個の補助光学部材の各々の前記方位直線同士のなす角度が 90 度であることを特徴とする照明装置。

【請求項 1 9】

請求項 1 8 に記載の照明装置において、
前記複数の補助光学部材群は、第 1 の補助光学部材群と第 2 の補助光学部材群とを有し、
前記第 1 の補助光学部材群中の前記 4 個の補助光学部材の各々の方位直線の組と、前記第 2 の補助光学部材群中の前記 4 個の補助光学部材の各々の方位直線の組とのなす角度は 45 度であることを特徴とする照明装置。

40

【請求項 2 0】

請求項 1 9 に記載の照明装置において、
前記第 1 の補助光学部材群を介した光束は前記第 1 領域へ導かれ、前記第 2 の補助光学部材群を介した光束は前記第 2 領域へ導かれ、
前記第 1 領域および前記第 2 領域の面積は異なることを特徴とする照明装置。

50

【請求項 2 1】

請求項 2 0 に記載の照明装置において、

前記第 1 領域および前記第 2 領域は、前記所定面上で少なくとも 1 部分が重複していることを特徴とする照明装置。

【請求項 2 2】

請求項 1 9 に記載の照明装置において、

前記第 1 の補助光学部材群に対応している前記単位光学系の焦点距離と、前記第 2 の補助光学部材群に対応している前記単位光学系の焦点距離とは互いに異なることを特徴とする照明装置。

【請求項 2 3】

請求項 1 9 に記載の照明装置において、

前記方位直線と前記光軸に平行な直線とを含む平面内における前記補助光学部材の前記射出側面と、前記基準面とのなす角度を前記補助光学部材の頂角とすると、

前記第 1 の補助光学部材は、第 1 の頂角を有し、前記第 2 の補助光学部材は、前記第 1 の頂角とは異なる第 2 の頂角を有することを特徴とする照明装置。

【請求項 2 4】

請求項 1 記載の照明装置において、

前記第 1 及び第 2 の補助光学部材は屈折性を有することを特徴とする照明装置。

【請求項 2 5】

露光光を供給する照明装置によりマスクを照明し、かつ投影光学系により前記マスク上のパターンをワーク上に投影する投影露光装置において、

請求項 1 ～ 2 4 の何れか一項に記載の照明装置を備え、

前記所定面は、前記投影光学系の瞳面または該瞳面の近傍と共役であることを特徴とする投影露光装置。

【請求項 2 6】

請求項 2 5 に記載の投影露光装置において、

前記所定面上における光強度分布は、前記光軸を含む領域よりも前記光軸を含まない領域の方が強い光強度分布であることを特徴とする投影露光装置。

【請求項 2 7】

請求項 2 6 に記載の投影露光装置において、

前記所定面上における光強度分布は、輪帯形状、2 重極形状、4 重極形状のいずれか一つを含むものであることを特徴とする投影露光装置。

【請求項 2 8】

紫外域の露光光によりマスクを照明し、該マスク上のパターンを投影光学系を介してワーク上に投影する露光方法において、

請求項 2 5 ～ 2 7 の何れか一項に記載の投影露光装置を用いることを特徴とする露光方法。

【請求項 2 9】

紫外域の露光光によりマスクを照明し、該マスク上のデバイスパターンを投影光学系を介してワーク上に投影する工程を含むデバイス製造方法において、

請求項 2 5 ～ 2 7 の何れか一項に記載の投影露光装置を用いて前記ワーク上に投影する工程を実行する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

本発明は、半導体デバイスや液晶表示デバイスなどの製造ライン中のリソグラフィ工程に用いられる投影露光装置に関する。また、本発明は、このような投影露光装置に用いられる照明装置に関する。また、本発明は、リソグラフィ工程において、このような投影露光装置を用いた投影露光方法に関する。また、本発明は、このような投影露光装置を用いてマスク上のデバイスパターンを感光基板上に転写して、例えば半導体素子、CCD等の撮像素子、液晶表示素子、または薄膜磁気ヘッド等を製造するデバイス製造方法に関する。

10

20

30

40

50

背景技術

例えば半導体素子を製造する際に、マスクとしてのレチクルのパターンをフォトレジストが塗布されたウエハの各ショット領域に転写するための投影露光装置として、ステップ・アンド・リピート形式（一括露光方式）の縮小投影型露光装置（ステッパー）や、レチクル上のパターンの一部を投影光学系を介してウエハ上に縮小投影した状態で、レチクルとウエハとを投影光学系に対して同期走査することにより、レチクル上のパターンの縮小像を逐次ウエハ上の各ショット領域に転写する所謂ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置が用いられている。

これら投影露光装置に用いられる照明装置においては、レチクル上に照射される照明光の強度分布を均一にするために、フライアイレンズやロッド型インテグレートなどのオプティカルインテグレートが使用されている。

10

さて、近年、これらの投影露光装置に要求される解像力等の性能は、理論的に算出される限界に極めて近付いている。レチクルのパターンの種類により最適な光学系の定数（投影レンズの開口数、照明系の開口数等）の設定値が異なるため、投影露光装置には、レチクルのパターンの種類に合わせて最適な光学系の定数を選択できることが要求される。

このような投影露光装置は、例えば特開昭59-155843号公報や特開平6-61121号公報等に開示されている。

また、近年においては、投影光学系の瞳面と共役な面に形成される面光源の強度分布を、中心部より周辺部が大きくなるような強度分布として、解像限界近傍における像のコントラストを向上させること、所謂変形照明（斜方照明）が行われている。ここで、面光源の強度分布を変更するためには、例えば照明装置中の開口絞り（ σ 絞り）の中央部を遮光或いは減光することが考えられるが、この場合には、遮光或いは減光によりレチクル上での照度低下を招き、その結果、スループットの低下を招く問題がある。

20

特開平5-207007号公報には、このようなスループットの低下を低減させるための技術が提案されているが、当該公報の技術では投影露光装置が大型化し、その製造費用もかさみ、さらには設置スペースの確保が困難になるという問題がある。

発明の開示

本発明は、現在用いられている投影露光装置の構成を大幅に変更することなく、変形照明時の照度低下を低減することを目的とする。

上述の目的を達成するために、本発明では、被照射面を照明するための照明装置において

30

、所定波長の光束を発生する光源部と、

複数の単位光学系を含み、該光源部からの前記光束を波面分割し、かつ該波面分割された複数の光束から複数の光源像を形成する波面分割型オプティカルインテグレートと、該波面分割型オプティカルインテグレートからの光束を被照射面へ導くコンデンサ光学系と、

前記単位光学系を介した光束を偏向させる複数の補助光学部材とを含み、

前記単位光学系の1つには、少なくとも1つの前記補助光学部材が対応して配置されることを特徴とする照明装置を提供する。

また、本発明の好ましい態様によれば、上記照明装置において、前記複数の補助光学部材は、全ての前記単位光学系のそれぞれと1対1対応の関係で配置されることが好ましい。

40

また、上記照明装置において、前記複数の補助光学部材は、前記波面分割型オプティカルインテグレートと前記被照射面との間に配置されていることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記補助光学部材は、前記単位光学系を介した光束を少なくとも2つの方向へ偏向させることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記波面分割型オプティカルインテグレートと前記コンデンサ光学系との間には、前記波面分割型オプティカルインテグレートによる前記複数の光源像からの光に基づいて実質的な面光源を形成する補助オプティカルインテグレートが配置され、前記コンデンサ光学系は、前記補助オプティカルインテグレートによる前記実質的な面光源からの光を前記被照射面へ導くことが好ましい。

50

また、上記照明装置において、前記補助光学部材にて偏向された前記光束のうちの少なくとも一部の光束は、所定面上における光軸を含まない領域へ導かれることが好ましい。

また、露光光を供給する照明装置によりマスクを照明し、かつ投影光学系により前記マスク上のパターンをワーク上に投影する投影露光装置において、上記照明装置を備え、前記所定面は、前記投影光学系の瞳面または該瞳面の近傍と共役であることが好ましい。

また、本発明では、被照射面を照明するための照明装置において、

所定波長の光束を発生する光源部と、

該光源部からの前記光束を波面分割し、かつ該波面分割された複数の光束から複数の光源像を形成する波面分割型オプティカルインテグレータと、

該波面分割型オプティカルインテグレータからの光束を被照射面へ導くコンデンサ光学系と、

前記波面分割された複数の光束を少なくとも2つ以上の異なる方向へ偏向させる光偏向部材とを含むことを特徴とする照明装置を提供する。

また、本発明の好ましい態様によれば、上記照明装置において、前記波面分割型オプティカルインテグレータと前記光偏向部材とは一体的に形成されることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記波面分割型オプティカルインテグレータと前記被照射面との間には、前記波面分割型オプティカルインテグレータが形成する前記複数の光源に基づいて、実質的な面光源を形成する補助オプティカルインテグレータが配置され、該補助オプティカルインテグレータよりも前記光源部側には、光拡散部材が配置されることが好ましい。

また、上記照明装置において、少なくとも前記波面分割型オプティカルインテグレータと交換可能に設けられて、前記光源部からの光束に基づいて実質的な面光源を形成する別のオプティカルインテグレータを含むことが好ましい。

また、上記照明装置において、前記別のオプティカルインテグレータは、前記波面分割型オプティカルインテグレータおよび前記光偏向部材と交換可能に設けられることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記別のオプティカルインテグレータは、前記波面分割型オプティカルインテグレータのみと交換可能に設けられるが好ましい。

また、上記照明装置において、前記波面分割型オプティカルインテグレータと前記光偏向部材とは互いに異なる光学部材であることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記光偏向部材は、前記波面分割された前記複数の光束のうちの1つの光束のみを偏向させる少なくとも1つの補助光学部材を含むことが好ましい。また、上記照明装置において、前記光偏向部材は複数の前記補助光学部材を有し、前記補助光学部材は前記波面分割型オプティカルインテグレータと一体的に形成されることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記光偏向部材は、前記波面分割された前記複数の光束のうちの少なくとも1つの光束を少なくとも2つの方向へ偏向させる第1補助光学部材と、前記複数の光束のうちの前記少なくとも1つの光束とは別の光束を少なくとも2つの方向へ偏向させる第2補助光学部材とを含むことが好ましい。

また、上記照明装置において、前記第1補助光学部材による前記2つの方向と、前記第2補助光学部材による前記2つの方向とは互いに同じ方向であることが好ましい。また、上記照明装置において、前記第1補助光学部材および前記第2補助光学部材は、前記波面分割型オプティカルインテグレータと離れていることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記光偏向部材は、前記波面分割された前記複数の光束のうちの1つの光束のみを偏向させる第1補助光学部材と、前記波面分割された前記複数の光束のうちの前記1つの光束とは別の1つの光束のみを偏向させる第2補助光学部材とを含むことが好ましい。

また、上記照明装置において、前記光偏向部材は、所定面上の第1領域へ前記波面分割された光束のうちの少なくとも1つの光束を導く第1補助光学部材と、前記波面分割された光束のうちの前記少なくとも1つの光束とは異なる少なくとも1つの光束を前記所定面上

10

20

30

40

50

の第2領域へ導く第2補助光学部材とを含み、前記第1領域と前記第2領域との面積は異なることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記波面分割型インテグレータは、第1の焦点距離を有する第1単位光学系と、該第1の焦点距離とは異なる第2の焦点距離を有する第2単位光学系とを含むことが好ましい。

また、上記照明装置において、前記光偏向部材により偏向された複数の光束は、前記照明装置の光軸と平行な軸に対して第1の傾きを有する第1光束と、該第1の傾きとは異なる第2の傾きを有する第2光束とを含むことが好ましい。

また、上記照明装置において、前記波面分割型オプティカルインテグレータと前記コンデンサ光学系との間には、前記波面分割型オプティカルインテグレータによる前記複数の光源像からの光に基づいて実質的な面光源を形成する補助オプティカルインテグレータが配置され、前記コンデンサ光学系は、前記補助オプティカルインテグレータによる前記実質的な面光源からの光を前記被照射面へ導くことが好ましい。

また、上記照明装置において、

前記光偏向部材は、複数の補助光学部材群を有し、

n を自然数とするとき、該補助光学部材群は $4n$ 個の補助光学部材を有し、

前記補助光学部材のそれぞれの射出側面は、前記照明装置の光軸に垂直な基準面に対して傾斜しており、

前記補助光学部材の前記射出側面の法線を前記基準面に投影した直線を方位直線とするとき、前記補助光学部材群内の前記各補助光学部材の各々の前記方位直線同士のなす角度が $360/4n$ 度であることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記補助光学部材群の各々は、4個の補助光学部材からなり、前記補助光学部材群内の前記4個の補助光学部材の各々の前記方位直線同士のなす角度が90度であることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記複数の補助光学部材群は、第1の補助光学部材群と第2の補助光学部材群とを有し、前記第1の補助光学部材群中の前記4個の補助光学部材の各々の方位直線の組と、前記第2の補助光学部材群中の前記4個の補助光学部材の各々の方位直線の組とのなす角度は45度であることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記第1の補助光学部材群を介した光束は所定面上の第1領域へ導かれ、前記第2の補助光学部材群を介した光束は前記所定面上の第2領域へ導かれ、前記第1領域および前記第2領域の面積は異なることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記第1領域および前記第2領域は、前記所定面上で少なくとも1部分が重複していることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記波面分割型オプティカルインテグレータは、前記補助光学部材のそれぞれに対応して設けられた複数の単位光学系を有し、前記第1の補助光学部材群に対応している前記単位光学系の焦点距離と、前記第2の補助光学部材群に対応している前記単位光学系の焦点距離とは互いに異なることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記方位直線と前記光軸に平行な直線とを含む平面内における前記補助光学部材の前記射出側面と、前記基準面とのなす角度を前記補助光学部材の頂角とするとき、前記複数の前記補助光学部材は、第1の頂角を有する第1補助光学部材と、該第1の頂角とは異なる第2の頂角を有する第2補助光学部材とを含むことが好ましい。

また、上記照明装置において、前記光偏向部材にて偏向された前記複数の光束のうちの少なくとも1つの光束は、所定面上における光軸を含まない領域へ導かれることが好ましい。

また、本発明では、露光光を供給する照明装置によりマスクを照明し、かつ投影光学系により前記マスク上のパターンをワーク上に投影する投影露光装置において、上記照明装置を備え、

前記所定面は、前記投影光学系の瞳面または該瞳面の近傍と共役であることを特徴とする投影露光装置を提供する。

10

20

30

40

50

また、上記投影露光装置において、前記所定面上における光強度分布は、前記光軸を含む領域よりも前記光軸を含まない領域の方が強い光強度分布であることが好ましい。また、上記投影露光装置において、前記所定面上における光強度分布は、輪帯形状、2重極形状、4重極形状のいずれか一つを含むものであることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記波面分割型オプティカルインテグレータと前記コンデンサ光学系との間には、前記波面分割型オプティカルインテグレータによる前記複数の光源像からの光に基づいて実質的な面光源を形成する補助オプティカルインテグレータが配置され、前記コンデンサ光学系は、前記補助オプティカルインテグレータによる前記実質的な面光源からの光を前記被照射面へ導くことが好ましい。

また、上記照明装置において、前記波面分割型オプティカルインテグレータからの光束を前記補助オプティカルインテグレータへ導くリレー光学系と、少なくとも2つ以上の開口を有する開口絞りとを含み、前記光偏向部材により前記少なくとも2つ以上の異なる方向へ偏向された光束のそれぞれは、前記開口絞りの前記少なくとも2つ以上の開口を通過することが好ましい。

また、上記照明装置において、前記補助オプティカルインテグレータと前記被照射面との間に配置されて、少なくとも2つ以上の開口を有する開口絞りを含み、前記補助オプティカルインテグレータは、複数の単位光学系を有する波面分割型のオプティカルインテグレータであり、前記光偏向部材により前記少なくとも2つ以上の異なる方向へ偏向された光束は、前記補助オプティカルインテグレータの入射面上の少なくとも2つの領域上に重畳され、前記補助オプティカルインテグレータ中の複数の単位光学系のうち、前記少なくとも2つ以上の開口部のそれぞれに対応している少なくとも2つの単位光学系群の各入射面は、前記少なくとも2つの領域のそれぞれに包含されることが好ましい。

また、照明装置において、前記補助オプティカルインテグレータは内面反射型のオプティカルインテグレータであり、前記光偏向部材により前記少なくとも2つ以上の異なる方向へ偏向された光束のそれぞれは、前記内面反射型のオプティカルインテグレータに対して少なくとも2つ以上の異なる方向から入射することが好ましい。

また、照明装置において、前記光偏向部材は、錐体形状部分を少なくとも一部に含む形状であることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記錐体形状部分は円錐形状の少なくとも一部分であることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記円錐形状の斜面は直線を所定軸の周りに回転させて得られる面であることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記円錐形状の斜面は曲線を所定軸の周りに回転させて得られる面であることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記光偏向部材は、円錐形状部分を少なくとも一部に含む形状を有する第1の補助光学部材と、円錐形状部分を少なくとも一部に含む形状を有する第2の補助光学部材とを含み、前記第1の補助光学部材の前記円錐形状の頂角に相当する角度と、前記第2の補助光学部材の前記円錐形状の頂角に相当する角度とは互いに異なることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記錐体形状部分は多角錐形状の少なくとも一部分であることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記多角錐形状の斜面は平面であることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記多角錐形状の斜面は曲面であることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記光偏向部材は、多角錐形状部分を少なくとも一部に含む形状を有する第1の補助光学部材と、多角錐形状部分を少なくとも一部に含む形状を有する第2の補助光学部材とを含み、前記第1の補助光学部材の前記多角錐形状の底面の法線と斜面とのなす角度と、前記第2の補助光学部材の前記多角錐形状の底面の法線と斜面とのなす角度とは互いに異なることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記多角錐形状は、前記多角錐形状の底面の法線とのなす角度が第1の角度である第1の斜面と、前記多角錐形状の前記底面の法線とのなす角度が

10

20

30

40

50

前記第1の角度とは異なる第2の角度である第2の斜面とを有することが好ましい。
また、露光光を供給する照明装置によりマスクを照明し、かつ投影光学系により前記マスク上のパターンをワーク上へ投影する投影露光装置において、上記照明装置を備え、
前記光源は、前記露光光を供給することが好ましい。

また、上記投影露光装置において、少なくとも前記波面分割型オプティカルインテグレータと交換可能に設けられて、前記光源部からの光束に基づいて実質的な面光源を形成する別のオプティカルインテグレータを含むことが好ましい。

また、上記投影露光装置において、前記マスクの種類に関する情報を入力するための入力部と、該入力部からの情報に基づいて、前記波面分割型オプティカルインテグレータおよび前記別のオプティカルインテグレータを交換することが好ましい。

10

また、上記投影露光装置において、前記入力部はコンソールであることが好ましい。

また、上記投影露光装置において、前記入力部は前記マスク上に設けられているマークを読み取ることが好ましい。

また、紫外域の露光光によりマスクを照明し、該マスク上のパターンを投影光学系を介してワーク上に投影する露光方法において、上記投影露光装置を用いることが好ましい。

また、上記露光方法において、前記マスクの種類に関する情報を入力する工程と、該入力された情報に基づいて、前記波面分割型オプティカルインテグレータおよび前記別のオプティカルインテグレータを交換する工程とを含むことが好ましい。

また、紫外域の露光光によりマスクを照明し、該マスク上のデバイスパターンを投影光学系を介してワーク上に投影する工程を含むデバイス製造方法において、上記投影露光装置を用いて前記ワーク上に投影する工程を実行することが好ましい。

20

また、紫外域の露光光によりマスクを照明し、該マスク上のパターンを投影光学系を介してワーク上に投影する露光方法において、上記投影露光装置を用いることが好ましい。

また、紫外域の露光光によりマスクを照明し、該マスク上のデバイスパターンを投影光学系を介してワーク上に投影する工程を含むデバイス製造方法において、上記投影露光装置を用いて前記ワーク上に投影する工程を実行することが好ましい。

また、本発明は、被照射面を照明するための照明装置において、所定波長の光束を発生する光源部と、該光源部からの前記光束をすくなくとも6つの光束に波面分割し、かつ該波面分割された少なくとも6つの光束を異なる方向へ偏向させる光偏向部材と、

該光偏向部材を介した光束に基づいて、所定形状の面光源を形成するオプティカルインテグレータと、

30

該波面分割型オプティカルインテグレータからの光束を被照射面へ導くコンデンサ光学系とを含み、

前記光偏向部材にて偏向された前記少なくとも6つの光束のうちの少なくとも一部の光束は、所定面上における光軸を含まない領域へ導かれることを特徴とする照明装置を提供する。

また、露光光を供給する照明装置によりマスクを照明し、かつ投影光学系により前記マスク上のパターンをワーク上に投影する投影露光装置において、上記照明装置を備え、前記所定面は、前記投影光学系の瞳面または該瞳面の近傍と共役であることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記被照射面とフーリエ変換の関係にある面（照明装置の瞳面）またはこの面と近傍な面での光強度分布は、実質的に不均一であることが好ましい。なお、実質的に不均一であるとは、この面またはこの面と近傍な面における光強度分布が、照明装置の光軸を含む領域での光強度と光軸を含まない領域での光強度とで実質的に異なる状態を指す。

40

また、露光光を供給する照明装置によりマスクを照明し、かつ投影光学系によりマスク上のパターンをワーク上に投影する投影露光装置において、上記照明装置を備え、前記フーリエ変換の関係にある面は前記投影光学系の瞳面と実質的に共役であることが好ましい。

また、上記照明装置において、前記複数の補助光学部材は、前記単位光学系と前記被照射面との間に配置されることが好ましい。

さらに、本発明の好ましい態様においては、光源部は、光束の広がる立体角と光束の面積

50

との和がほぼ零である光束を射出するものである。

発明の実施の形態

以下、添付図面に基づいて本発明の実施の形態について説明する。

(第1実施形態)

本発明の第1実施形態にかかる投影露光装置を第1図乃至第7G図を用いて説明する。第1図は、本発明の第1実施形態にかかる投影露光装置の光学系を示す図である。第2A、2B図は、波面分割型のオプティカルインテグレータ及び開口絞りの配置を示す図である。第3A～第3D図は、波面分割型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の構成を示す図であり、第3E図は第3A～第3D図のフライアイレンズによる第2フライアイレンズ上での照射領域を示す図である。第4A、4B図及び第5図は、フライアイレンズの要素レンズの方位角及び偏角を説明するための図である。第6A～第6J図は、本発明の第1実施形態にかかる波面分割型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の構成を示す図であり、第6K図は第6A図～第6J図のフライアイレンズによる第2フライアイレンズ上での照明領域を示す図である。第7A図～第7F図は、本発明の第1実施形態にかかる波面分割型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の構成を示す図であり、第7G図は第7A図～第7F図のフライアイレンズによる第2フライアイレンズ上での照明領域を示す図である。

第1図において、例えばエキシマレーザなどからなる光源1からの光束は、ビームエキスパンダやアナモルフィック光学系などを含むビーム整形光学系2を通過して、光束の断面形状及びサイズが任意の形状・サイズに変換される。ビーム整形光学系2からの光束は、ミラー3にて反射された後、光束の偏光を緩和する為の水晶プリズム4を通過する。なお、このような水晶プリズム4としては例えば特開平3-16114号公報や特開平3-254114号公報に詳しい。水晶プリズム4からの光束は、波面分割型オプティカルインテグレータとしての第1フライアイレンズ(2次光源形成手段)に達する。第1実施形態では、互いに異なる種類の複数の第1フライアイレンズが、所定の軸を中心として回転可能に設けられているレボルバ105に設けられている。

第2A図に示す通り、複数種類の第1フライアイレンズ51～55が設けられており、レボルバ105を回転させることで、それらのうちの1つが選択的に照明光路の内部に位置決めされる。ここで、第1フライアイレンズ51～53は、従来のフライアイレンズと同じ構成である。

第1フライアイレンズ51の構成につき第3A～第3K図を参照して説明する。第1フライアイレンズ51は、第3A図のYZ側面図及び第3B図のXY平面図に示す如き平凸形状の要素レンズ(単位光学系)510を、第3C図のYZ側面図及び第3D図のXY平面図に示すように2次元マトリックス状に集積して構成されている、このとき、複数の要素レンズ510はそれぞれ入射した光束を集光して要素レンズ510の外側に光源像を形成し、第1フライアイレンズ全体としては要素レンズ510の数に応じた数の光源像が形成される。なお、第2A図のレボルバ105上に設けられている第1フライアイレンズ52は、上述の第1フライアイレンズ51とほぼ同じ構成であるが、第1フライアイレンズ51よりも長い焦点距離を有する。また、第1フライアイレンズ53も上述の第1フライアイレンズ51とほぼ同じ構成であるが、第1フライアイレンズ52よりも長い焦点距離を有する。

第1実施形態では、光源1としてレーザを用いているため、第1フライアイレンズ51～53を構成する要素レンズの射出端面は平面であるが、この射出端面は平面に限定されるものではない。なお、このような光源像形成位置を要素レンズ外側にしたフライアイレンズは例えば特開昭63-66553号公報や特開平1-81222号公報、特開平2-48627号公報等に開示されている。

さて、第1フライアイレンズに入射した光束は、上述の通り、複数の光源像(2次光源)をその射出側に形成する。これら複数の光源像から発散する光束は、リレーレンズ6により集光され、第2オプティカルインテグレータとしての第2フライアイレンズ7の入射面を重畳的に均一照明する。この場合、第2フライアイレンズ7の入射面上での照明範囲は

、第3E図に斜線で示す通り、第2フライアイレンズ7の入射面全体が照明される。その結果、第2フライアイレンズ7の射出面には、第1フライアイレンズのレンズ要素数と第2フライアイレンズのレンズ要素数の積に相当する数の多数の3次光源像からなる面光源が形成される。この第2フライアイレンズ7による面光源形成位置の近傍には、通過する光束の形状を制限することにより面光源の形状を所望形状にするための開口絞りが配置される。

第2B図に示すとおり、第1実施形態では、所定の軸を中心として回転可能なレボルバ108に互いに異なる開口形状を有する複数種類の開口絞り81～85が設けられており、レボルバ108を回転させることで、それらのうちの1つが選択的に照明光路の内部に位置決めされる。

10

第1図に戻って、開口絞りを通過した光束は、コンデンサレンズ群9, 11を介して、被照射面に位置決めされて所定の回路パターン（デバイスパターン）が描かれたレチクル（マスク）13に導かれる。ここで、コンデンサレンズ群9, 11中には、レチクル13上での照明領域（照明範囲）を決定するための視野絞り10が配置されており、コンデンサレンズ群9, 11は、開口絞りを介した光束を集光して視野絞り10を重畳的に均一照明するレンズ系9と、照明された視野絞り10の像をレチクル13上へ結像することにより、レチクル13上の照明領域内を均一照明するための視野絞り投影光学系11とに分けて考えることができる。

そして、均一照明された照明光に基づいて、投影レンズ14がレチクル13上に形成されたパターンを被露光物体としてのウエハ15（ワーク）上に投影露光する。なお、レチクル13は図中XZ平面内で移動可能でY軸周りに回転可能に設けられたレチクルステージMSTにより保持されており、ウエハ15は図中XYZ方向で移動可能でかつY軸に対する傾きを調整可能に設けられたウエハステージWSTにより保持されている。

20

第1フライアイレンズ55の構成を説明する前に、第4A, 4B図及び第5図を参照して、各要素レンズの射出側面の傾斜方向と傾斜量について説明する。第4A, 4B図は射出側面の傾斜方向を説明する図である。簡単のため、照明光学系の光軸AXと要素レンズAnの光軸とを一致させている。要素レンズAnの射出側面Pは、照明光学系の光軸AXに垂直な所定平面Hに対して傾斜している。そして、該射出側面Pの法線Nを所定平面Hに投影した直線（以下、「方位直線」という）Lを考え、第4B図に示すように方位直線LのX軸となす角度を方位角αとする。方位角αは入射光線が要素レンズにより曲げられる方向に対応している。

30

また、第5図は射出側面の傾斜量を説明する図である。ここでも簡単のため、照明光学系の光軸AXと要素レンズAnの光軸とを一致させている。方位直線Lと光軸AXに平行な直線LA又はLBとを含む平面内における、要素レンズAnの射出側面Pと所定平面Hとのなす角度を要素レンズAnの頂角θとする。この頂角θ及び要素レンズAnの屈折率nが定まると、入射光線が要素レンズにより曲げられる量である偏角δを求めることができる。

このとき、要素レンズAnの頂角θと偏角δとは、

$$(1) \quad n \cdot \sin \theta = \sin (\theta + \delta)$$

の関係である。実際には、第2フライアイレンズの入射面上での照明領域の分布が所与の値であり、この分布を得るために偏角δが先に求まる。そこで、上記(1)式を変形すると、

40

$$(2) \quad \tan \theta = (\sin \delta) / (n - \cos \delta)$$

となり、所与の偏角δから要素レンズAnの頂角θを求めることができる。

次に、第6A～6K図を参照して、第1実施形態にかかる第1フライアイレンズ55について説明する。この第1フライアイレンズ55は、平凸レンズの射出端面（平面）を所定の方向へ所定量だけ傾けた形状の複数の要素レンズを2次元マトリックス状に集積して構成されている。

第1実施形態の第1フライアイレンズ55は、第6A図に示す要素レンズaと、第6B図に示す要素レンズbと、第6C図に示す要素レンズcと、第6D図に示す要素レンズdと

50

の4種類の要素レンズ(単位光学系)を有する。ここで、第6E~6H図に示すように、所定平面H上の各要素レンズの方位直線La~Ldは互いに90度回転した方向である。そして、これら4種類の要素レンズa~dを第6I, 6J図に示すように市松模様状に組上げる。なお、第6I図は第1フライアイレンズ55のYZ平面図であり、第6J図はXY平面図である。第6J図より分かるように、第1フライアイレンズ55は、互いに方位直線同士となす角度が90度である4個の要素レンズからなる複数の要素レンズ群を有している。

なお、第6A~6D図に示す第1フライアイレンズ55の各要素レンズa~dは、それぞれ第3A図等の第1フライアイレンズ51の要素レンズ510の焦点距離の2倍強の焦点距離を有している。また、第1フライアイレンズ55の各要素レンズa~dの偏角 δ は、

10

このように、第1実施形態の第1フライアイレンズ55を構成する各要素レンズa~dは、該要素レンズの入射側有効径の中心と、射出側有効径の中心とを結んだ中心軸(要素レンズの光軸)に沿って入射する光線が、該中心軸に対して傾いて射出するように偏心して構成されている。このため、第6K図に示すように、該要素レンズを透過した光束は第2フライアイレンズ7の入射面の中央を照明せずに、横にずれた位置を照明することとなる。

このとき、複数の要素レンズaにより偏向された光束がリレー光学系6により領域A上を重畳的に照明し、複数の要素レンズbにより偏向された光束がリレー光学系6により領域B上を重畳的に照明し、複数の要素レンズcにより偏向された光束がリレー光学系6により領域C上を重畳的に照明し、複数の要素レンズdにより偏向された光束がリレー光学系6により領域D上を重畳的に照明する。すなわち、領域Aは複数の要素レンズaを通った光束が互いに重なったもの、領域Bは複数の要素レンズbを通った光束が互いに重なったもの、領域Cは複数の要素レンズcを通った光束が互いに重なったもの、領域Dは複数の要素レンズdを通った光束が互いに重なったものである。したがって、ダブルフライアイレンズシステムの特徴である光束を波面分割して第2フライアイレンズ入射面で重ねるという特徴、すなわち(1)製造コストをかけずに波面分割数を増やして照明光の照度を均一にできる効果;(2)光源からの光束が振動することによる悪影響を防止できる効果;及び(3)開口絞りの形状を変更した際の照度均一性の崩れ量が少ない(理想的ケーラー照明状態からの変化量が少ない)という特徴を維持することができる。

20

30

ここで、第2フライアイレンズ7の射出面に、第2B図に示した4つの開口を有する開口絞り85を配置する場合、従来の第1フライアイレンズ51を用いる場合と比べて、第1フライアイレンズ55を用いた方が光量の損失が少ないことは明らかである。

なお、第2フライアイレンズ7の入射面上において、横にずれる方向及びズレ量は、各要素レンズの偏心の方向、量(偏角 δ)により決まる。第1実施形態では、各要素レンズの偏心の方向を4方向とし、偏角 δ を全て同一にしているが、偏心の方向は4方向には限られず、偏角 δ も同一には限られない。

また、第1実施形態では、各要素レンズを市松模様状に並べたが、これはどのように並べてもかまわない。ただし、第2フライアイレンズ7を構成する要素レンズの収差が大きい場合において、その影響を低減するためには、第2フライアイレンズ7の要素レンズの各々の射出面での第1フライアイレンズによる複数の光源像の像の全体形状を、極力回転対称にすることが望ましい。

40

第1実施形態においては、例えば第6K図の領域A内に位置する第2フライアイレンズの要素レンズへは、第1フライアイレンズ55の要素レンズaを通過した光束のみが導かれる。したがって、領域A内に位置する1つの要素レンズの射出面に形成される複数の光源像の像の形状は、第1フライアイレンズ55における要素レンズaの位置に応じたものとなる。これより、領域A内に位置する第2フライアイレンズ7の要素レンズの各々の射出面において回転対称な形状の像を形成するためには、第1フライアイレンズ55における複数の要素レンズaを回転対称となるような配置にすれば良いことがわかる。

他の領域B, C, D内に位置する第2フライアイレンズの要素レンズに関しても同様な議

50

論が成立するため、第1実施形態では第6J図に示すように、各要素レンズa～dをそれぞれが回転対称な配置に近づくように配置している。

次に、第7A～7G図を参照して、第1実施形態にかかる第1フライアイレンズ54について説明する。この第1フライアイレンズ54も、平凸レンズの射出端面（平面）を所定方向へ所定量だけ傾けた形状の要素レンズを2次元マトリックス状に集積して構成されている。

第1実施形態の第1フライアイレンズ54は、第7A図に示す要素レンズaと、第7B図に示す要素レンズbの2種類の要素レンズ（単位光学系）を有する。ここで、第7C図、7D図に示すように、所定平面H上の各要素レンズの方位直線La、Lbは互いに180度回転した方向である。そして、これら2種類の要素レンズa、bを第7E、7F図に示すように市松模様状に組上げる。なお、第7E図は第1フライアイレンズ54のYZ平面図であり、第7F図はXY平面図である。第7F図より分かるように、第1フライアイレンズ54は、互いに方位直線同士のなす角度が180度である2個の要素レンズからなる複数の要素レンズ群を有している。なお、第1フライアイレンズ54の各要素レンズa、bの偏角 δ は、同じ量に設定されている。

この第1実施形態の第1フライアイレンズ54を構成する各要素レンズa、bも、該要素レンズの入射側有効径の中心と、射出側有効径の中心とを結んだ中心軸（要素レンズの光軸）に沿って入射する光線が、該中心軸に対して傾いて射出するように偏心して構成されている。このため、第7G図に示すように、該要素レンズを透過した光束は第2フライアイレンズ7の入射面の中央を照明せずに、横にずれた位置を照明することとなる。

このとき、複数の要素レンズaにより偏向された光束がリレー光学系6により領域A上を重畳的に照明し、複数の要素レンズbにより偏向された光束がリレー光学系6により領域B上を重畳的に照明する。

ここで、第2B図に示した2つの開口を有する開口絞り84を第2フライアイレンズ7の射出面に配置する場合であっても、従来の第1フライアイレンズ51を用いる場合と比べて、第1フライアイレンズ54を用いた方が光束のけられが少なく、光量の損失が少ないことは明らかである。

なお、第2フライアイレンズ7の入射面上において、横にずれる方向及びズレ量は、各要素レンズの偏心の方向、量（偏角 δ ）により決まる。第1フライアイレンズ54では、各要素レンズの偏心の方向を2方向とし、偏角 δ を全て同一にしているが、偏心の方向は2方向には限られず、偏角 δ も同一には限られない。

次に、第1図及び第2A、2B図を参照して、第1フライアイレンズ51～55の切換え動作及び開口絞り81～85の切換え動作について説明する。

第1図において、モータまたはエアシリンダ等を有する駆動部MT1は、複数種の第1フライアイレンズ51～55が設けられているレボルバ105を回転駆動することにより、第1フライアイレンズ51～55のうちの1つを選択的に光路内の位置に位置決めする。そして、モータまたはエアシリンダ等を有する駆動部MT2は、複数種の開口絞り81～85が設けられているレボルバ108を回転駆動することにより、開口絞り81～85のうちの1つを選択的に光路内の位置に位置決めする。また、投影レンズ14の瞳位置近傍には、開口径を可変にすることが可能な可変開口絞り114が配置されており、駆動部MT3は可変開口絞り114の開口径を所定の径にするように駆動する。なお、可変開口絞り114は開口絞り81～85とほぼ共役な位置関係にある。これらの駆動部MT1～MT3は、主制御部100からの制御信号を受け取れるように主制御部100に接続されている。

また、本実施例の露光装置には、複数種類のレチクルを保管するためのレチクルストックRSが設けられており、このレチクルストックRSからレチクルステージMSTへのレチクル搬送路中には、レチクル13上に設けられたバーコードパターンBCを読み取るためのバーコードリーダBRが設けられている。このバーコードリーダBRは、読み取ったバーコードパターンBCの情報を主制御部100へ伝達できるように、主制御部100と接続されている。

10

20

30

40

50

また、主制御部100には、キーボード等を有する入力部101が接続されており、入力部101からの入力信号が主制御部100へ伝達される。なお、入力部101としては、デバイス製造工場に設けられて複数台の露光装置等のデバイス製造装置をコントロールする上位コンピュータに例えばLAN（ローカル・エリア・ネットワーク）等で接続されて、この上位コンピュータからの制御信号を受け取るためのインターフェイスであっても良い。

さて、入力部101からレチクル交換の指示に関する信号が主制御部100へ伝達されると、主制御部100は図示無きロボットアーム等を用いて、レチクルストッカRSTの中から所定のレチクル13を取り出し、前述の搬送路に沿ってレチクルを搬送してレチクルステージMST上に載置する。このとき、バーコードリーダBRは、レチクル13に設けられたバーコードパターンの情報を主制御部100へ伝達する。ここで、レチクル13上のバーコードパターンには、開口絞り81～85の種類に関する情報や可変開口絞り114の開口径に関する情報を含む照明条件に関する情報が記憶されており、主制御部100は、この照明条件に関する情報に基づいて駆動部MT1～MT3を駆動制御する。

なお、レチクル13のバーコードパターンに設けられる情報として、照明条件に関する情報は無くとも良い。この場合には、主制御部100に、バーコードパターンに記憶されているレチクル名とそのレチクル名に対応する照明条件とを記憶或いは予め入力しておき、バーコードリーダBRが読み取ったレチクル名に関する情報を上記記憶された照明条件に関する情報とを照合し、照合された照明条件に関する情報に基づいて駆動部MT1～MT3を駆動制御する。また、この場合、バーコードリーダBRを使用せずに、使用するレチクル名に関する情報とそのときの照明条件に関する情報とを入力部101から直接入力しても良い。

第2A、2B図において、本実施形態における開口絞り81～85と、第1フライアイレンズ51～55の対応関係の一例は以下の通りとなっている。

開口絞りとして径の大きい開口絞り81（大 σ 照明用開口絞り）が選択される場合は、焦点距離の短い従来と同様の第1フライアイレンズ51（構成は第3A～3D図参照）を選択する。また、開口絞りとして中程度の径を有する開口絞り82（中 σ 照明用開口絞り）が選択される場合は、焦点距離も中程度の第1フライアイレンズ52を選択し、さらに、開口絞りとして径の小さい開口絞り83（小 σ 照明用開口絞り）が選択される場合は、焦点距離の長い第1フライアイレンズ53を選択する。また、開口絞りとして2つの開口を有する絞り84が選択される場合は、上述のフライアイレンズ54（構成は第7A～7F図参照）を選択する。さらに、開口絞りに4極（4つ目）照明の85が選択される場合は、上述のフライアイレンズ55（構成は第6A～6J図参照）を選択する。本実施形態においては、主制御部100は、上述の対応関係となるように駆動部MT1、MT2の制御を行う。

これにより、レチクルの種類に応じた最適な照明を照明光量のロスを最低限にした状態で達成でき、高解像とスループット向上とを両立させることができる。

次に、第8図を参照して、第1実施形態の応用例（変形例）について説明する。第8図は、照明光学系中の開口絞りの構成を示すXY平面図である。第8図に示す開口絞り86は、正方マトリックス状に配列された複数（9つ）の開口a～iを有している。ここで、複数の開口のうち、開口iはこの開口絞り86が照明光学系の光路内に位置決めされた際に照明径の光軸を含む位置にある。そして、開口a、eは光軸を挟んでほぼ等距離の偏心した位置に、開口c、gは光軸を挟んでほぼ等距離の偏心した位置にそれぞれ設けられており、開口a、eの組を結ぶ直線と開口c、gを結ぶ直線とは互いにほぼ直交している。また、開口b、fは光軸を挟んでほぼ等距離の偏心した位置に、開口d、hは光軸を挟んでほぼ等距離の偏心した位置にそれぞれ設けられており、開口b、fを結ぶ直線と開口d、hを結ぶ直線とは互いにほぼ直交している。さらに開口a、eの組を結ぶ直線及び開口c、g結ぶ直線と、開口b、fを結ぶ直線及び開口d、hを結ぶ直線とは、XY平面においてほぼ45度交差している。

このような複数の開口a～iを有する開口絞り86を用いる場合、第1フライアイレンズ

が第2フライアイレンズを照明する際に、第1フライアイレンズにおいて分割した光束のうち、何個をそれぞれの開口aからiに振り分けるかを設定することにより、それぞれの開口aからiを照明する照明光の強度比を任意に決めることができる。

例えば、開口絞り86の9つの開口のうち、開口a, c, e, gのみに光の強度を振り分けると一般的な4開口の照明を行うことができ、開口h, dのみに振り分ければ一般的な2開口の照明を行うことができ、開口a, b, c, d, e, f, g, hに振り分ければ（開口iを除いて振り分ければ）疑似的に輪帯状の照明を行うことができ、全開口a～iに均等に強度を振り分ければ疑似的に通常の円形開口による照明を実現することができる。このような開口絞り86を照明装置中に設ける場合には、この開口絞り86を別の開口絞り10と交換することなく、単に第1フライアイレンズの種類をレボルバ105により選択的に切替えることにより容易に達成できる。

なお、この場合、第1フライアイレンズによる照明光の強度の各開口a～iへの振り分け方は上述の振り分け方には限られない。例えば開口a, b, c, d, e, f, g, hに照明光を振り分ける際に、開口iにも上記開口よりも強度を落とした照明光を振り分けることや、開口a, c, e, gの組と開口b, d, f, gの組との間で所定の強度差をつけるように照明光を振り分けても良い。

また、第2B図に示す最も開口径の大きい開口絞り81（大 σ 用開口絞り）を照明光路中に設定したままの状態、第1フライアイレンズ51～55を交換しても良い。この場合には、開口絞り81の開口内における照度分布の変更を第1フライアイレンズの変更のみにより実現でき、開口絞りの種類を変更した際の効果とほぼ同等の効果を達成できる。この場合において、第1フライアイレンズ51～55からの光束を第2フライアイレンズへ導くリレー光学系6をズームレンズで構成すれば、補助オプティカルインテグレータとしての第2フライアイレンズが形成する面光源のサイズを変更することが可能となり、また2極照明或いは4極照明時の偏心した面光源の光軸からの距離を連続的に変化させることができる。

なお、上述の実施形態ではターレット方式で開口絞り及び第1フライアイレンズの交換を行ったが、その代わりに、例えば特開平6-204114号公報などに開示されているスライダ方式で交換を行っても良い。ただし、スライダ方式では交換動作に伴い装置の重心位置がずれることによる悪影響を招きやすいためレボルバ（ターレット）方式の方が好ましい。また、照明装置中の開口絞りとして開口径を連続的に変化させることができる可変開口絞りを設け、この可変開口絞りの近傍位置に挿脱可能に設けられた遮蔽部材（中心遮蔽、帯状遮蔽、または十字状遮蔽）を設ける構成であっても良い。

さて、上述のダブルフライアイレンズを有する光学系を組む際に、第2フライアイレンズの入射面において、照明装置の開口絞りの開口から見えている第2フライアイレンズの部分については、外部分に外接するように照明することが好ましい。換言すると、第1フライアイレンズにより分割した光束を、第2フライアイレンズ入射面上の複数の箇所において重畳させる場合に、有効な第2フライアイレンズの要素レンズ（第2フライアイレンズ中の複数の要素レンズのうち開口絞りの開口の領域と重複している要素レンズ）がこの重畳された領域よりもはみ出さないように包含されていることが好ましい。上述したように、ダブルフライアイレンズというシステムが成り立つためには、第1フライアイレンズで波面分割して重ね合せた光束を、第2フライアイレンズで再び波面分割して重ね合せる状態をつくらなければならない。ところが、第2フライアイレンズの有効な要素レンズのうち、その有効径の半分にのみ光束が入射する様なレンズがあると、その光束が半分しか入らない状態を被照射面上で重ね合せてしまうため、上述したダブルフライアイレンズシステムの利点を得られなくなってしまうので好ましくない。

（第2実施形態）

次に、第2実施形態の投影露光装置について説明する。上述のように第1実施形態の露光装置の光学系では、第2フライアイレンズに光束が入射する際、第2フライアイレンズの有効な要素レンズのうち、その有効径の半分にのみ光束が入射する様なレンズ、特に、入射面上で階段状に照明領域の変化する個所があると、被露光面15上での照度の均一性が

10

20

30

40

50

劣化するおそれがある。このため、第1フライアイレンズの光源側に光拡散部材を挿入することで、波面分割した光束をずらしたことによる階段状の照度分布をなだらかな分布に変化させることがさらに好ましい。ここで、光拡散部材としては、曇りガラスの凹凸の突起を滑らかにしたレモンスキんフィルタとすることが好ましい。

第2実施形態では、上述の理由により、第1フライアイレンズの光源側に光拡散部材としてのレモンスキんフィルタLSを配置している。レモンスキんフィルタLS以外の基本的な構成は、第1実施形態の投影露光装置と同様である。なお、第2実施形態では、光拡散部材であるレモンスキんフィルタLSを使用しているため、ダブルフライアイレンズ光学系の特徴である「波面分割して重ね合わせた光束を、再び波面分割して重ね合わせる」という状態は維持されていない。したがって、シングルフライアイレンズ光学系と同等の効果

10

を有する系である。第9図は、本発明の第2実施形態にかかる投影露光装置のフライアイレンズ部分の光学系を示す図である。第9図に示す光学系以外の部分は第1図に示した第1実施形態の露光装置と同様であるので省略してあり、また、第1図の装置と同一部分には同一の符号を用いている。

第1図の装置と同様に、エキシマレーザなどの光源1からの光束は、ビーム整形光学系2を通して光束の断面形状を任意の形状に変換された後、ミラー3及び光束の偏光を緩和するための水晶プリズム4を介してレモンスキんフィルタLSに入射する。

そして、レモンスキんフィルタLSで拡散された光束は複数の光学要素からなる第1フライアイレンズ151～156のうちの何れか一つに入射し、その射出側面に多数の光源像からなる2次光源を形成する。該多数の2次光源から発散する光束はリレーレンズ6により集光され、第2フライアイレンズ7の入射面を重畳的に均一照明する。

20

その結果、第2フライアイレンズ7の射出面に、第1フライアイレンズのレンズ要素数と第2フライアイレンズのレンズ要素数の積に相当する数の多数の光源像（3次光源）を形成することができる。次に、3次光源としての面光源を発した光束は、開口絞り181～185のうちの何れか一つによりその径を制限された後、コンデンサレンズ群9、11へ導かれ、投影露光されるパターンが描画されたレチクル又はマスクパターン13を重畳的に均一照明する。ここで、コンデンサーレンズ群9、11中には照明範囲を決定するための視野絞り10が配置されている。均一照明された照明光にもとづき、投影レンズ14を介してレチクル又はマスク13上に形成されたパターンが被露光物体15上に投影露光される。

30

ここで、第10A図に示す通り、本実施形態においては第1実施形態と同様に、複数の第1フライアイレンズ151～156は回転可能なレボルバ105に取り付けられており、複数の開口絞り181～185は回転可能なレボルバ108に取り付けられている。なお、これらを駆動するための駆動部やこの駆動部を制御するための主制御部、主制御部へ照明条件などを入力するためのバーコードリーダ等の入力部は前述の第1実施形態と同様であるのでここでは説明を省略する。

ここで、レボルバ105上に設けられている第1フライアイレンズ151～156のうち、第1フライアイレンズ151は第1実施形態の第1フライアイレンズ51と等価なものであり、第1フライアイレンズ152は第1実施形態の第1フライアイレンズ52と等価、そして第1フライアイレンズ153は第1実施形態の第1フライアイレンズ53と等価なものである。また、レボルバ108上に設けられている開口絞り181～185のうち、開口絞り181は第1実施形態の開口絞り81と等価なものであり、開口絞り182は第1実施形態の開口絞り82と等価、開口絞り183は第1実施形態の開口絞り83と等価なものである。

40

次に第11A～11D図を参照して、本実施形態にかかる第1フライアイレンズ154の構成について説明する。第1フライアイレンズ154は複数の要素レンズから構成されるが、各要素レンズAnは、第11A図に示すように、凸レンズ面と要素レンズの光軸に対して傾いている平面とを有する形状である。なお、要素レンズの光軸とは、この要素レンズの入射側の有効径の中心と、射出側有効径の中心とを結んだ中心軸を指す。

50

本実施形態において、複数（本例では36個）の要素レンズA1～A36は、それぞれ同じ頂角 θ を有するが、それらの方位直線は10°ずつ異なる。第1フライアイレンズ151のYZ平面図である第11B図と、第1フライアイレンズのXY平面図である第11C図とに示すように、互いに10°毎異なる方位直線を有する要素レンズA1～A36を2次元マトリックス状に集積して第1フライアイレンズ154が形成される。なお、本実施形態において、各要素レンズA1～A36の焦点距離は、第1フライアイレンズ151を構成する各要素レンズの焦点距離よりも長く、2倍強の焦点距離となっている。

第11D図のXY平面図に、第1フライアイレンズ154を介した光束による第2フライアイレンズ7の入射面における照明範囲を示す。なお、第11D図には、光拡散部材としてのレモンスキんフィルタLSを用いていない場合を示している。

10

第1フライアイレンズ154を構成する各要素レンズA1～A36のそれぞれは、要素レンズの光軸に沿って入射する光線がこの光軸に対して傾いて射出するように偏心して構成されているため、これら要素レンズA1～A36を通過した光束は、第2フライアイレンズ7の入射面の中央部を照明せずに横にずれた位置を照明する。従って、第11D図において斜線部で示すように輪帯状に照明することができる。

そして、第10B図に示した開口絞り185を第2フライアイレンズ7の射出面側に配置した場合を考えると、従来と同じ構成を持つ第1フライアイレンズ151を用いる場合（第3A図等参照）と比べて、光量損失が少なくなることが良く理解できる。

なお、光束が横にずれる方向及びそのずれ量は、要素レンズ偏心の方向、量により決まる。第11A、11B図に示したフライアイレンズ154では、同一頂角（偏心量）で、かつ様々な方向（方位直線）に偏心した要素レンズを用いているため、輪帯状の照明を行なう事ができる。なお、第11C図に示した配置では、方位直線の方が近い要素レンズ同士を極力離すように配置したが、これはどのように並べてもかまわない。ただし、第1実施形態と同様に、第2フライアイレンズを構成する要素レンズに収差が大きい場合、その影響を低減するためには、第2フライアイレンズを構成する要素レンズの各々の射出面に形成される第1フライアイレンズによる複数の光源像の像の全体形状を、回転対称に近づけることが望ましい。

20

第11D図に示した通り、第2フライアイレンズ7の入射面上での照度分布は階段状となる。このままでは、被露光面15での照度不均一性を招くため、本実施形態では、第12A、12B図に示すように、第1フライアイレンズ154の入射側（光源1側）に光拡散部材としてのレモンスキんフィルタLSを設けて、第1フライアイレンズへ入射する光を拡散させている。なお、第12A図は第1フライアイレンズ154及びレモンスキんフィルタLSを示すYZ平面図であり、第12B図はXY平面図である。なお、第12B図に示すとおり、レモンスキんフィルタLSは第1フライアイレンズ154全体を覆うことができる大きさである。

30

第12C図の第2フライアイレンズ7の入射面を示すXY平面図からも明らかとなおり、このレモンスキんフィルタLSを設けることにより、第2フライアイレンズ7の入射面での照度分布は図中斜線で示す如くならなくなる。

次に、このレモンスキんフィルタLSについて、第13A～13D図を参照して説明する。レモンスキんフィルタLSの形状は、第13A、13B図に示す如く、円形（または矩形）状に形成され、両面がレモンスキん加工をされたマット面になっている。第13C、13D図はレモンスキんフィルタLSの製造手順を示す図である。平板Pの面を粗ざり加工した後、#700番程度の砥粒を用いて砂かけを行って形成すると、第13C図に示す如く、砂かけを行った粗ざり面はほぼ5 μ mの粗さの表面になる。その後、粗ざり面に沸酸を用いて化学処理を施すことにより、第13D図に示す如く、粗ざり面の微小な凹凸の突起をなめらかにした多数の微小球面（微小曲面）を持つレモンスキんフィルタLSを得ることができる。なお、第13C、13D図では平板Pの片面に加工を施してレモンスキンを形成した例を示したが、両面に加工を施してレモンスキンを形成しても良い。かかるレモンスキんフィルタLSの表面はあたかも無数の微小なマイクロレンズを配置したかのような働きを持つ。したがって、レモンスキんフィルタLSによる拡散作用によって

40

50

光学的な結像関係が完全に崩されて拡散光がランダム（任意）の方向に進むことによる重畳効果（平均化効果）とが相乗的に作用する。

ここではレモンスキンフィルタLSの粗さの程度をほぼ $5\text{ }\mu\text{m}$ としたが、粗さが照明光の波長に比べて十分に大きければ良く、 $5\text{ }\mu\text{m}$ に限定するものではない。すなわち砂掛け工程における砥粒#700番もこれに限定するものではない。また、無数のマイクロレンズを有する構造が重要なのであり、拡散板でも同じ効果のあるもの、他の化学処理を施し、レモンスキンフィルタとみなせるものは、同様の光拡散効果を有するので、光拡散部材としてレモンスキンフィルタに限定するものではない。

次に、本実施形態にかかる第1フライアイレンズ155、156について説明する。第1フライアイレンズ155は、第1フライアイレンズ154とほぼ同じ構成であるが、第1フライアイレンズ155を構成する各要素レンズの焦点距離が第1フライアイレンズ154のそれらよりも少し長く構成されている点が異なる。

第2実施形態の第1フライアイレンズ156は、第14A図に示す要素レンズaと、第14Bに示す要素レンズbと、第14C図に示す要素レンズcと、第14D図に示す要素レンズdとの4種類の要素レンズ（単位光学系）を有する。ここで、第14E～14H図に示すように、所定平面H上の各要素レンズの方位直線La～Ldは互いに90度回転した方向である。そして、これら2種類の要素レンズa、bを第7I、7J図に示すようにに組上げる。なお、第14I図は第1フライアイレンズ156のYZ平面図であり、第14J図はXY平面図である。なお、第1フライアイレンズ156の各要素レンズa～dの偏角 δ は、同じ量に設定されている。

この第2実施形態の第1フライアイレンズ156を構成する各要素レンズa～dも、該要素レンズの入射側有効径の中心と、射出側有効径の中心とを結んだ中心軸（要素レンズの光軸）に沿って入射する光線が、該中心軸に対して傾いて射出するように偏心して構成されている。このため、第14K図に示すように、該要素レンズを透過した光束は第2フライアイレンズ7の入射面の中央を照明せずに、横にずれた位置を照明することとなる。

このとき、複数の要素レンズaにより偏向された光束がリレー光学系6により領域A上を重畳的に照明し、複数の要素レンズbにより偏向された光束がリレー光学系6により領域B上を重畳的に照明し、複数の要素レンズcにより偏向された光束がリレー光学系6により領域C上を重畳的に照明し、複数の要素レンズdにより偏向された光束がリレー光学系6により領域D上を重畳的に照明する。従って、領域Aと領域Cとが重なった個所、領域Aと領域Dとが重なった個所、領域Bと領域Cとが重なった個所、及び領域Bと領域Dとが重なった個所では、領域A～Dにおける光強度よりも高い光強度となる。この場合、第2フライアイレンズ7の射出側に形成される面光源の光強度分布は、輪帯と4極（4つ目）との中間的なものとなる。なお、このような光強度分布の面光源を形成する技術は例えば特開平7-122478号に開示されている。

なお、この第1フライアイレンズ156においても、各要素レンズの焦点距離及び偏角 δ を全て同一としているが、これらは同一には限られない。また、各要素レンズの方位直線方向も4方向としているが、これも4方向には限られない。

次に、第1フライアイレンズ151～156と開口絞り181～184との対応関係の一例について説明する。

開口絞りとして径の大きい開口絞り181（大 σ 照明用開口絞り）が選択される場合は、焦点距離の短い従来と同様の第1フライアイレンズ151を選択する。また、開口絞りとして中程度の径を有する開口絞り182（中 σ 照明用開口絞り）が選択される場合は、焦点距離も中程度の第1フライアイレンズ152を選択し、さらに、開口絞りとして径の小さい開口絞り183（小 σ 照明用開口絞り）が選択される場合は、焦点距離の長い第1フライアイレンズ153を選択する。また、開口絞りとして輪帯形状の光通過部（図中斜線部が遮光部）を有する開口絞り184が選択される場合には、第1フライアイレンズ154を選択する。開口絞りとして開口絞り184とは輪帯比（輪帯の内径と外径との比）が異なる開口絞り185が選択される場合には、第1フライアイレンズ155を選択する。そして、前述の第1フライアイレンズ156は、大 σ 照明用開口絞り151と組合わせて

10

20

30

40

50

使用される。なお、光拡散部材としてのレモンスキンフィルタLSは、各第1フライアイレンズ154、155、156のそれぞれの入射面側に位置するように、レボルバ105に組み込まれており、第1フライアイレンズ154、155、156と一体で切り替わる構成となっている。また、第1フライアイレンズ154、155に関して、大 σ 照明用開口絞り151と組合わせて使用しても良い。

本実施形態においても、図示無き主制御部は、上述の対応関係となるように駆動部の制御を行う。これにより、レチクルの種類に応じた最適な照明を照明光量のロスを最低限にした状態で達成でき、高解像とスループット向上とを両立させることができる。

(第3実施形態)

次に、第15A図～第17L図を参照して第3実施形態について説明する。なお、第3実施形態による投影露光装置の構成は、前述の第1図に示した第1実施形態の投影露光装置の第1フライアイレンズと開口絞りとの構成が異なるだけであるので、投影露光装置全体の構成についての説明は省略する。また、第1図の装置と同一部分には同一の符号を用いている。

第3実施形態では、波面分割型オプティカルインテグレータと光偏向部材とを一体にしたものとしての第1フライアイレンズを、それぞれ $4 \times n$ 個の要素レンズ(単位光学系+補助光学部材)からなる複数の補助光学部材群で構成したものである。

第15A図は複数の第1フライアイレンズ251～256を備えたレボルバ105を示す図であり、第15B図は複数の開口絞り281～286を備えたレボルバ108を示す図である。

第15A図に示すように、第3実施形態では、複数の第1フライアイレンズ251～256は、レボルバ105上に取り付けられており、これらの複数の第1フライアイレンズ251～256のうちの1つが照明装置の光路中に選択的に位置できるように設けられている。なお、これら複数の第1フライアイレンズ251～256は、それぞれ第2フライアイレンズ7の入射面上での照明領域が互いに異なるように構成されている。

また、第15B図に示すように、レボルバ108上に設けられた複数の開口絞り281～286は、それらの開口形状が互いに異なるように構成されており、これら複数の開口絞り281～286のうちの1つが光学系の光路中に選択的に位置できるように、レボルバ108上に設けられている。本実施の形態では、これらのレボルバ105、108は、第1実施形態と同様に、投影露光装置中の主制御部により制御される駆動部により回転駆動される。これにより、必要とされる照明条件に応じて、複数の開口絞り281～286のうちの1つと複数の第1フライアイレンズ251～256のうちの1つが照明装置の光路中に位置することになる。

次に、各第1フライアイレンズ251～256について説明する。ここで、第1フライアイレンズ254～256は従来のフライアイレンズと等価なものであり、第1フライアイレンズ254は第1実施形態の第1フライアイレンズ51と、第1フライアイレンズ255は第1実施形態の第1フライアイレンズ53と、そして第1フライアイレンズ256は第1実施形態の第1フライアイレンズ52とそれぞれ等価なものである。

そして、第1フライアイレンズ251は、光軸を含む断面(図中YZ平面)が平凸形状である従来のフライアイ要素レンズの構成を基本とし、例えば第16A～16D図に示すように、その平凸形状の要素レンズの射出側面の平面を光軸に対して傾斜させた形状の要素レンズA1～A4を組み合わせたフライアイレンズである。

次に、第1フライアイレンズ251の要素レンズの射出側面の傾斜方向と傾斜量とについて説明する。なお、以下の説明においては、前述の第4A、4B図及び第5図において説明した要素レンズの方位直線Lの方向、頂角 θ 、及び偏角 δ を用いる。

第16A～16D図に示すとおり、第3実施形態の第1フライアイレンズ251中の4個の要素レンズA1～A4は互いにその頂角 θ が等しく形成されている。そして、第16E図に示すように、これらの要素レンズA1～A4は、各々の方位直線同士のなす角度が90度となるように、光軸に垂直な面(図中XY平面)に沿って集積されている。本実施形態では、このように集積された4個の要素レンズA1～A4の組を要素レンズ群GA(単

10

20

30

40

50

位光学系＋補助光学部材群）と呼ぶ。第16F図に示すように、第1フライアイレンズ251は、光軸に垂直な面（図中XY平面）に沿って複数の要素レンズ群GAを配列してなる。

この第3実施形態の第1フライアイレンズ251から射出する光束は、各要素レンズA1～A4の光軸に関して傾いた射出面によりその先路が偏向された後、リレー光学系6を介して、第16G図に示すように第2フライアイレンズ7の入射面上の4つの領域A～Dを照明する。

第3実施形態においては、第1フライアイレンズ251を構成する各要素レンズA1～A4の頂角 θ はそれぞれ同じであり、かつそれらの方位直線L同士のなす角度が90度（方位角 α は ± 45 度、 ± 135 度）である。従って、これらの要素レンズの入射側有効径の中心と、射出側有効径の中心とを結んだ中心軸（要素レンズの光軸AX）に沿って入射する光線は、方位角 α に対応した方向へ頂角 θ に対応している偏角 δ だけ要素レンズの光軸AXに対して傾いて射出する。このため、各要素レンズを透過した光束は第2フライアイレンズ入射面の中央を照明せずに、偏角 δ 及び方位角 α （ ± 45 度、 ± 135 度）に対応した量だけシフトした位置の4ヶ所のエリアA～Dを照明することとなる。

複数の要素レンズA1を介した光束は領域Aを重畳的に照明し、複数の要素レンズA2を介した光束は領域Bを重畳的に照明し、複数の要素レンズA3を介した光束は領域A3を重畳的に照明し、複数の要素レンズA4を介した光束は領域A4を重畳的に照明する。このように本実施形態においては、ダブルフライアイレンズシステムの特徴である光束を波面分割して第2フライアイレンズ入射面で重ねるという特徴を維持することができる。

ここで、第2フライアイレンズ射出面に第15B図に示すような4つの矩形開口部を有する絞り281を配置する場合、従来のものと等価な第1フライアイレンズ254を用いるのと比べて、第1フライアイレンズ251を用いた方が光量の損失が少ない事は明らかである。

なお、第16A～16Gの例では方形状に同一の要素レンズ群GAを繰り返し並べたが、各要素レンズ群GA内の4個の要素レンズはどのように並べてもかまわない。但し、第2フライアイレンズ7を構成する要素レンズの収差が大きい場合、その影響を低減する為には第2フライアイレンズ7の要素レンズの射出面に形成される第1フライアイレンズの像を、極力回転対称にすることが望ましい。このためには、要素レンズが第1フライアイレンズ251において占める位置の空間的分布を、全ての要素レンズの種類A1、A2、A3、A4について回転対称にすることが好ましい。

次に、第15A図に示すレボルバ108上に設けられている第1フライアイレンズ252について説明する。この第1フライアイレンズ252は、波面分割型オプティカルインテグレートと光偏向部材とを一体にしたものとしての第1フライアイレンズを、それぞれ4×n個の要素レンズ（単位光学系＋補助光学部材）からなる複数の補助光学部材群で構成し、複数の補助光学部材群が第1及び第2の補助光学部材群を含み、第1及び第2の補助光学部材の間で互いに方位直線のなす角度を異ならせたものである。

すなわち、第1フライアイレンズ252は、第17A～17E図に示すような第1の要素レンズ群GAと、第17F～17I図に示すような4個の要素レンズB1～B4からなる第2の要素レンズ群GBとを有する。ここで、第1の要素レンズ群GAは、第16A～16Eで説明した要素レンズ群GAと同じ構成を有する。そして、第2の要素レンズ群は、それぞれ頂角 θ が等しく、かつ方位直線L同士のなす角度が90度である4個の要素レンズB1～B4からなる。このとき、第17J図に示す通り、各要素レンズB1～B4の方位直線は方位角 α が、方位角 $\alpha = 0$ 度、 ± 90 度、 180 度となっている。

そして、第17K図に示すように、要素レンズA1～A4からなる第1の要素レンズ群GAと、要素レンズB1～B4からなる第2の要素レンズ群CBとは、光軸垂直面内（図中XY平面）において市松格子状に交互に配置される。即ち、第1フライアイレンズ252は、第1の要素レンズ群GA中の4個の要素レンズA1～A4の各々の方位直線の組と、第2の要素レンズ群GB中の4個の要素レンズB1～B4の各々の方位直線の組とのなす角度が45度となるように構成されている。

10

20

30

40

50

第17K図に示した8種類の方位角 ($\alpha = 0$ 度、 ± 45 度、 ± 90 度、 ± 135 度、 180 度) を有する第1フライアイレンズ252を透過した光束は、第17L図に斜線で示す通り、第2フライアイレンズ7の入射面上において8つの領域A~Iを照明する。

ここで、第17L図に示す照明範囲のうち、領域Aには第1の要素レンズ群GA中の要素レンズA1のそれぞれから射出される光束がリレーレンズ6により重畳されて到達し、領域Bには第1の要素レンズ群GA中の要素レンズA2のそれぞれから射出される光束がリレーレンズ6により重畳されて到達し、領域Cには第1の要素レンズ群GA中の要素レンズA3のそれぞれから射出される光束がリレーレンズ6により重畳されて到達し、領域Dには第1の要素レンズ群GA中の要素レンズA4のそれぞれから射出される光束がリレーレンズ6により重畳されて到達する。また、領域Fには第2の要素レンズ群GB中の要素レンズB1のそれぞれから射出される光束がリレーレンズ6により重畳されて到達し、領域Gには第2の要素レンズ群GB中の要素レンズB2のそれぞれから射出される光束がリレーレンズ6により重畳されて到達し、領域Hには第2の要素レンズ群GB中の要素レンズB3のそれぞれから射出される光束がリレーレンズ6により重畳されて到達し、領域Iには第2の要素レンズ群GB中の要素レンズB4のそれぞれから射出される光束がリレーレンズ6により重畳されて到達する。第17L図からも明らかな通り、これら領域A~Iの全体で形成される照明領域は、ほぼ輪帯形状となる。

ここで、第2フライアイレンズ射出面に第15B図に示すような輪帯状の開口部を有する開口絞り282を配置する場合、従来のものと等価な第1フライアイレンズ254を用いるのとは比べて、第1フライアイレンズ252を用いた方が極めて効率良く（ほぼ光量ロスなく）照明することが可能である。なお、本実施形態では第1と第2の要素レンズ群を交互に市松模様状に配列したが、上記第1実施形態において述べたのと同様にどのように配列してもかまわない。

なお、第3実施形態では、1つの要素レンズ群GA (CB) が4個の要素レンズA1~A4 (B1~B4) 等からなる場合の説明したが、本発明はこれに限られるものではなく、要素レンズの数は8個、又は12個等の $4n$ 個 (n は正の整数) でもよい。かかる場合は、 $4n$ 個の要素レンズの各々の方位直線L同士のなす角度は $360/4n$ 度となる。

また、上記第1フライアイレンズ251, 252では、各要素レンズ群GA (GB) を構成する4個の要素レンズA1~A4 (B1~B4) の頂角 θ を同一としたが、これに限られるものではない。各要素レンズ群GA (GB) の要素レンズA1~A4の頂角 θ を異ならせると、要素レンズA1~A4 (B1~B4) から射出される光束の偏角 δ が異なるようになり、第2フライアイレンズ7の入射面において、第1フライアイレンズの像が要素レンズごとにずれるようになる。このため、第2フライアイレンズ7の射出側にある開口絞りのエッジ部で生ずるコントラストの悪化、即ち2次光源の形状の揺らぎによる影響を小さくできる。

また、上記第2フライアイレンズ252においては、第1の要素レンズ群GAによる照明領域A~D (方位角 $\alpha = \pm 45$ 度、 ± 135 度) の面積と、第2の要素レンズ群GBによる照明領域F~I (方位角 $\alpha = 0$ 度、 ± 45 度、 90 度) の面積とを異ならせることで、照明効率をさらに高くすることができる。

また、上記第2フライアイレンズ252においては、第1の要素レンズ群GAの要素レンズA1~A4の焦点距離と、第2の要素レンズ群GBの要素レンズB1~B4の焦点距離とは同じ焦点距離には限られない。ここで、所望の照明領域を正確に照明し、照明効率を高くするために、要素レンズA1~A4, B1~B4の焦点距離は任意に設定することができる。

また、上記第2フライアイレンズ252においては、第1の要素レンズ群GA中の要素レンズA1~A4の頂角 θ と、第2の要素レンズ群CB中の要素レンズB1~B4の頂角 θ とは同じ頂角には限られない。ここで、開口絞りのエッジ部で生ずる照度むらによるコントラストの低下を防止するために、要素レンズA1~A4, B1~B4の頂角は任意に設定することができる。

また、上記第1及び第2フライアイレンズ251, 252では、互いに方位直線の方位角

10

20

30

40

50

が同じ複数の要素レンズを有しているが、これら方位角が同じ複数の要素レンズの焦点距離は同一である（方位角が同じ複数の要素レンズによる照明領域の面積が互いに等しい）必要はない。例えば、第1フライアイレンズ251において、方位角が同じ複数の要素レンズA1の焦点距離を互いに異ならせておけば、第2フライアイレンズ7上へは、各々面積が異なる領域Aが重畳することになり、結果として領域Aの光強度分布を所望の分布に設定することが可能となる。

さて、第1フライアイレンズ253は、上述の第1フライアイレンズ251とほぼ同様の構成を有するが、開口絞り281とは開口部の形状が多少異なる開口絞り283の開口部に対して光量ロスなく照明光束を導くことができるように、その要素レンズの頂角 θ や要素レンズ自身の焦点距離等が最適化されている。

次に、第1フライアイレンズ251～256と開口絞り281～286との対応関係の一例について説明する。

開口絞りとして4極（4つ目）形状の光透過部（図中斜線部が遮光部）を有する開口絞り281が選択される場合には、第1フライアイレンズ251を選択する。開口絞りとして輪帯形状の光透過部を有する開口絞り282が選択される場合には、第1フライアイレンズ252が選択される。そして、開口絞りとして開口絞り282とは形状が異なる4極（4つ目）形状の開口絞り283が選択される場合には、第1フライアイレンズ853が選択される。

また、開口絞りとして径の小さい開口絞り284（小 σ 照明用開口絞り）が選択される場合は、焦点距離の長い第1フライアイレンズ254を選択し、開口絞りとして中程度の径を有する開口絞り285（中 σ 照明用開口絞り）が選択される場合は、焦点距離も中程度の第1フライアイレンズ255を選択し、開口絞りとして径の大きい開口絞り286（大 σ 照明用開口絞り）が選択される場合は、焦点距離の短い従来と同様の第1フライアイレンズ256を選択する。第3実施形態においても、図示無き主制御部は、第1実施形態と同様に上記対応関係となるように駆動部の制御を行う。これにより、レチクルの種類に応じた最適な照明を照明光量のロスを最低限にした状態で達成でき、高解像とスループット向上とを両立させることができる。

（第4実施形態）

また、上述の第1乃至第3実施形態では、第1フライアイレンズとして各要素レンズが偏芯しているものを用いた、すなわち波面分割型オプティカルインテグレータと光偏向部材とを一体に形成したものを用いたが、波面分割型オプティカルインテグレータとしての第1フライアイレンズと光偏向部材とを別の部材で構成しても良い。

以下、第18A、18B図を参照して、波面分割型オプティカルインテグレータと光偏向部材とを別の部材で構成した第4実施形態について説明する。なお、第18A図に示す第4実施形態による投影露光装置の構成は、前述の第1図に示した第1実施形態の投影露光装置の第1フライアイレンズの構成が異なるだけであるので、投影露光装置全体の構成についての説明は省略する。また、第1図の装置と同一部分には同一の符号を用いている。

第18A図において、従来のフライアイレンズと等価な第1フライアイレンズ351は、保持部材HMにより偏向プリズムRPと一体に保持されている。この第18A図の例では、偏向プリズムRPのピッチ（偏向プリズムHMを構成する1つ1つのプリズムの径方向のサイズ）と、第1フライアイレンズ351のピッチ（第1フライアイレンズ51を構成する各々の要素レンズの径方向のサイズ）とは異なっている。この構成においても、偏向プリズムRPによる偏向作用により、第2フライアイレンズ7の入射面上において局在した光強度分布のもとでの照明を達成できる。なお、第18B図に示すように、偏向プリズムRPのピッチと第1フライアイレンズ351のピッチとを同じにしても良い。

また、必ずしも第1フライアイレンズ351と偏向プリズムRPとを一体にする必要はない。例えば、第1フライアイレンズ351を照明光学系の光軸に関して固定し、偏向プリズムRPを第1フライアイレンズ351とリレー光学系との間の光路中に挿脱可能に配置する構成も可能である。また、偏向プリズムの種類は1種類に限られず、開口絞りの複数種の開口形状に応じて最適にするために、複数種類の偏向プリズムを上記光路中に挿脱可

10

20

30

40

50

能に配置しても良い。さらに、この構成において、第1フライアイレンズ351を光路中に固定せずに、互いに焦点距離が異なる複数の第1フライアイレンズを交換可能に設け、複数種類の偏向プリズムを交換可能に設けても良い。

(第5実施形態)

次に、第19図乃至第26C図を参照して、波面分割型オプティカルインテグレータと光偏向部材とを別の部材で構成した第5実施形態について説明する。なお、第19図に示す第4実施形態による投影露光装置の構成は、前述の第1図に示した第1実施形態の投影露光装置の構成とほぼ同じであるので、投影露光装置全体の構成についての説明は省略する。また、第19図において第1図の装置と同一部分には同一の符号を用いている。

第19図に示す第5実施形態の投影露光装置は、第1図の投影露光装置とは第1フライアイレンズの構成及び開口絞りの構成の点で異なる。

第20A図は第5実施形態の投影露光装置における複数の第1フライアイレンズ451～456が設けられたレボルバ105の構成を示す図であり、第20B図は開口絞り481～486が設けられたレボルバ108の構成を示す図である。

第5実施形態においては、第20A図に示すように、複数の第1フライアイレンズ451～456はレボルバ105上に取り付けられており、これらの複数の第1フライアイレンズ451～456のうちの1つが照明装置の光路中に選択的に位置できるように設けられている。なお、これら複数の第1フライアイレンズ451～456は、それぞれ第2フライアイレンズ7の入射面上での照明領域が互いに異なるように構成されている。

また、第20B図に示すように、レボルバ108上に設けられた複数の開口絞り481～486は、それらの開口形状が互いに異なるように構成されており、これら複数の開口絞り481～486のうちの1つが光学系の光路中に選択的に位置できるように、レボルバ108上に設けられている。本実施の形態では、これらのレボルバ105、108は、第1実施形態と同様に、投影露光装置中の主制御部により制御される駆動部により回転駆動される。これにより、必要とされる照明条件に応じて、複数の開口絞り481～486のうちの1つと複数の第1フライアイレンズ451～456のうちの1つが照明装置の光路中に位置することになる。

次に、各第1フライアイレンズ451～456について説明する。なお、第1フライアイレンズ454～456は従来のフライアイレンズと等価なものであり、第1フライアイレンズ454は第1実施形態の第1フライアイレンズ51と、第1フライアイレンズ455は第1実施形態の第1フライアイレンズ53と、そして第1フライアイレンズ456は第1実施形態の第1フライアイレンズ52とそれぞれ等価なものである。

第21A～21C図は、第1フライアイレンズ451及び光偏向部材としての光学部材OMAの構成を示す図である。第21A図に示すように、第1フライアイレンズ451は、複数の要素レンズELをXY平面において2次元マトリックス状に集積してなり、これら複数の要素レンズELのそれぞれに対応して、円錐形状部分を少なくとも1部に含む形状を持つ複数の光学部材が要素レンズELの射出側(マスク側)に配置されている。第21B、21Cは複数の要素レンズのうちの1つに着目した場合の要素レンズELと光学部材OMAとの配置関係を示す図である。

第21B、21Cにおいて、要素レンズELの光軸AXE方向をZ軸、円錐形状の光学部材OMAの底面である円の中心をO、頂点をP、頂点Pと円の中心Oとを結んだ直線を中心軸CLとそれぞれする。ここで、中心軸CLは光軸AXEと一致している。

円錐形状の光学部材OMAを中心軸CLに対して垂直に切った面(YZ面)は光学プリズムと同じ形状をしているため、光学プリズムと同様の屈折作用を生ずる。そのため、平行光を入射させると第22A図に示すように屈折し、照射面IPの中心部分Cは照明されない。全ての光学部材OMAにおいても同じ屈折作用が起きるため、中心軸CL(光軸AXE)を中心として照射面IPを回転させると、円錐形状の光学部材OMAから射出された光束は、照射面で第22B図に斜線で示すような輪帯形状の照明となる。

第5実施形態では、第1フライアイレンズ451を構成する一つの要素レンズELの射出側に円錐形状の光学部材OMAを配置しているので、1つの要素レンズELを射出した光

10

20

30

40

50

束は第22C図に示す光路を進み、第2フライアイレンズ7の入射面において輪帯形状の領域を照明することになる。そして、本実施形態では、第1フライアイレンズ451の各要素レンズELのそれぞれに対応させて、その射出側に円錐形状の光学部材OMAを配置しているので、第2フライアイレンズ7の入射面上では各光学部材OM1からの光束が重畳し、第22D図に斜線で示すような輪帯形状の領域を照明することになる。このため、輪帯形状の通過部を有する輪帯形状絞り481に対して、従来のフライアイレンズに比較して光量損失が極めて少なく照明することができる。

上述の第1フライアイレンズ451では、同一の頂角 θ を有する光学部材OMAを複数配置した場合について説明したが、円錐の頂角 θ を各光学部材OMAで異ならせることにより、第2フライアイレンズ7の入射面において周辺光量の低下を防ぐことができる。例えば、頂角が θ_1 である光学部材OMA1と、頂角 θ_1 とは異なる頂角が θ_2 である光学部材OMA2との2種類の光学部材を適宜配置した場合を考える。第23A図の斜線部は、第2フライアイレンズ7の入射面における照明領域を示している。そして、該照明領域のA-A線断面部分の照明光の強度分布を示したのが第23B～23E図である。第23B～23E図において、横軸Xは位置、縦軸Iは照明光の強度を示している。頂角が θ_1 の光学部材OMA1を透過・屈折した照明光は第23B図に示す強度分布を有する。これに対して、頂角が θ_2 の光学部材OMA2を透過・屈折した照明光は第23C図に示すように強度分布のピークが第23B図と比較してシフトしている。そして、両者の強度分布を重ねた様子を第23D図に示す。そして、最終的に両者の強度分布を合成すると、第23E図に示すように、輪帯形状の照明領域の周辺においても急激に照度が低下することのない均一な強度分布を得ることができる。また、同一の頂角 θ を有する光学部材OMAを複数用いた場合でも、該光学部材OMAを各要素レンズの光軸に対してシフト又はチルトさせることで、均一な強度分布を得ることができる。さらに、同一の頂角 θ を有する光学部材OMAを用いた場合でも、第1フライアイレンズ451の各要素レンズELごとの焦点距離を異ならせることにより、頂角 θ が異なる光学部材OMA1、OMA2を用いた場合と同じ効果を得ることができ、周辺光量の低下を防止することができる。

第24A図～24C図は、第1フライアイレンズ452及び光偏向部材としての光学部材OMBの構成を示す図である。第24A図に示すように、第1フライアイレンズ452は、複数の要素レンズELをXY平面において2次元マトリックス状に集積してなり、これら複数の要素レンズELのそれぞれに対応して、四角錐形状部分を少なくとも1部に含む形状を持つ複数の光学部材が要素レンズELの射出側（マスク側）に配置されている。第24B、24C図は複数の要素レンズのうち1つに着目した場合の要素レンズELと光学部材OMBとの配置関係を示す図である。

第24D図は第2フライアイレンズ7の入射面上での照明領域を示す図であり、四角錐形状の光学部材OMBを透過した光は、上記第1実施形態と同様に光学プリズムとしての屈折作用により、第2フライアイレンズ7の入射面上で図中斜線で示す形状の領域を照明する。従って、第20B図の変形輪帯形状の開口絞り62を選択した場合に効率よく照明を行うことができる。

上述の第1フライアイレンズ452では、四角錐形状の光学部材OMBの頂点Pと底面の中心Oとを結ぶ直線を中心軸CL、該中心軸CLとパワー（屈折力）を有する面とのなす角度（角錐の頂角）を ξ とすると、同一の頂角 ξ を有する光学部材OMBを複数配置した場合について説明したが、角錐の頂角 ξ を各光学部材OMBごとで異ならせることにより、頂角 θ が異なる円錐形状の光学部材の場合と同様に、第2フライアイレンズ7の入射面において周辺光量の低下を防止でき均一な強度分布の照明光を得ることができる。

また、第1フライアイレンズ452の要素レンズELごとの焦点距離を異ならせることにより、角度 δ を変えたものと同じ効果を得ることもできる。また、四角錐の各面に対して角度 δ を異ならせることにより、変形輪帯絞りに対しても照度効率を上げることができる。また、光学部材OMBとしては、四角錐形状にかぎられものではなく、 n 角形の多角錐形状（ n は5以上の整数）でも良いことは言うまでもない。多角錐形状の光学部材は、円錐形状の光学部材と同様の屈折作用を生じ、 n が多くなるに従って、きれいな輪帯形状の

10

20

30

40

50

照明を行うことができる。また、要素レンズ E L の射出面側の四角形部分と、四角錐形状の光学部材 O M B の底面の四角形部分とを一致させて配置しているが、これに限られず、例えば光軸 A X E を中心にして光学部材 O M B を約 45 度回転させた状態で配置しても良い。

さて、第 5 実施形態では、円錐形状の光学部材 O M A (O M A 1 , O M A 2) の Y Z 断面における斜面は第 2 1 C 図に示した通り直線であったが、第 2 5 A 図に示すように、円錐形状の光学部材 O M A (O M A 1 , O M A 2) のパワー (屈折作用) を有する面を曲面にしても良い。この場合、変形輪帯絞りに対しても光量の損失を極めて少なく照明することができる利点がある。

また、第 5 実施形態では、角錐形状の斜面は第 2 4 A 図等 に示した通り平面であったが、第 2 5 B 図に示すように、角錐形状の光学部材のパワーを持つ面を曲面にすることにより、変形輪帯開口絞りに対しても光量の損失を極めて少なく照明することもできる。

また、第 5 実施形態では、全体が錐形状 (円錐形状、多角錐形状) を有する光学部材を用いたが、例えば第 2 5 C , 2 5 D 図に示すように、一部分が錐形状 (円錐形状、多角錐形状) を有する形状の光学部材を用いても良い。この場合、第 2 フライアイレンズ 7 の入射面上において光軸を含む領域への照明が可能となり、その結果、瞳面及び瞳面と共役な面上において光軸を含む領域にも光強度がある輪帯照明や 4 重極 (4 つ目) 照明、8 重極 (8 つ目) 照明などを行うこともできる。なお、第 2 5 C 図に示す光学部材 O M C は、円錐の頂部を切り落とした形状であって、その切断面は平面であるが、この面は平面には限られず曲面であっても良い。また、第 2 5 D 図に示す光学部材 O M D は、角錐の頂部を切り落とした形状であり、その切断面が平面となっているが、この面は平面には限られず、曲面であっても良い。

また、第 5 実施形態では、錐形状 (円錐形状、多角錐形状) を少なくとも一部に有する光学部材 O M A (O M B) が、第 1 フライアイレンズ 4 5 1 又は 4 5 2 よりも射出側 (マスク 1 3 側) に配置されている場合について説明した。しかし、光学部材の位置はこの配置に限られない。光学部材 O M A (O M B) は第 1 フライアイレンズ 4 5 1 (4 5 2) よりも光源 1 側に配置されていても良い。また、第 2 1 A 図及び第 2 4 A 図に示した例では光学部材 O M 等の底面と第 1 フライアイレンズ 4 5 1 (4 5 2) の射出面とが対向する構成であるが、本発明はこれに限られず、光学部材 O M 等の底面と第 1 フライアイレンズ 5 1 等の頂点 O とが対向する構成でも良い。

また、第 5 実施形態では、第 1 フライアイレンズ 4 5 1 (4 5 2) と光学部材 O M A (O M B) 等とは空間的に離れて配置されているが、これら両部材は一体的に形成されることが望ましい。なお、一体的に形成されとは、要素レンズ E L と光学部材 O M A (O M B) とが密着していることを指し、例えば、要素レンズと光学部材とを接着剤を介して貼り合わせることで、接着剤を介さずに密着させること、要素レンズと光学部材とを 1 つの部材で形成すること等を含む概念である。このように、一体的に形成することで、製造上に生ずる誤差を低減できる。そして、両者が一体となっているので常に所定の照明領域を正確に照明できる利点もある。

また、第 5 実施形態では、第 1 フライアイレンズ 4 5 1 (4 5 2) と光学部材 O M A (O M B) とがレボルバ 1 0 5 により一体に保持されているため、複数の第 1 フライアイレンズ及び光学部材のなかから第 1 フライアイレンズ 4 5 1 (4 5 2) と光学部材 O M A (O M B) とを選択する際に、第 1 フライアイレンズと光学部材との位置合わせも不要となる。そして、上述の場合と同様に、両者が一体となっているので常に所定の照明領域を正確に照明できる利点もある。

また、第 5 実施形態において、第 2 6 A ~ 2 6 C 図に示すように、波面分割型オプティカルインテグレータとしての第 1 フライアイレンズと、光偏向部材としての光学部材 O M A (O M B) とを別々のレボルバに設けても良い。この場合、第 2 6 A 図に示すように、レボルバ 1 0 5 A に互いに焦点距離の異なる複数のフライアイレンズ 4 5 4 ~ 4 5 6 を設ける。そして、第 2 6 B 図に示すように、レボルバ 1 0 5 B 上に、開口部 A P と、光学部材 O M A と、光学部材 O M B とを設ける。これらのレボルバ 1 0 5 A , 1 0 5 B は、第 2 6

10

20

30

40

50

C図に示すように隣接して配置される。そして、複数の第1フライアイレンズ454～456のうちの1つ、開口部AP及び光学部材OMA、OMBのうちの1つが選択的に照明装置の光路内に位置する。従って、通常照明の際には、複数の第1フライアイレンズ454～456のうちの1つと開口部APとが光路内に位置し、変形照明（輪帯照明、多重極照明など）の場合には、複数の第1フライアイレンズ454～456のうちの1つと光学部材OMA、OMBのうちの1つが光路内に位置することになる。この場合、第1フライアイレンズ454～456を交換することによる焦点距離の変更により、第2フライアイレンズ7上に形成される輪帯形状或いは多重極形状の照明領域の大きさを可変にすることができる。

また、第1フライアイレンズを光路中に固定して配置し、光学部材が切換えられる構成であっても良い。この場合には、照明装置の光路中に固定的に配置された第1フライアイレンズに隣接して、第26B図に示すレボルバ105Bを配置すれば良い。このとき、第1フライアイレンズと第2フライアイレンズとの間に配置されるリレー光学系をズームレンズとすれば、第2フライアイレンズ7上に形成される輪帯形状或いは多重極形状の照明領域の大きさを可変にすることができる。

また、錐形状（円錐形状、多角錐形状）の光学部材の入射面及び射出面にコーティングを施すことで、錐形状の光学部材で起こる反射を防止することができる。

また、上述の第5実施形態では、1つの要素レンズELに1つの光学部材OMA（OMB）を対応させて配置（1対1対応で配置）したが、1つの要素レンズに対応させて複数の光学部材を設けても（1対複数対応で配置しても）良い。

上述の第5実施形態では、断面が凸となる錐形状（円錐形状、多角錐形状）の光学部材OMA（OMB）を用いたが、断面が凹となる錐形状（円柱または多角柱の光学部材から円錐または多角錐形状をくりぬいた残りの凹円錐または凹角錐形状）の光学部材OMA（OMB）を用いても同様の照明効果を得ることができる。

また、断面が凸の錐形状の複数の光学部材と断面が凹の錐形状の複数の光学部材とを第1フライアイレンズの要素レンズに対応させて配置し、少なくともどちらか一方を動かすと第2フライアイレンズ入射面上で輪帯形状の照明領域を変化させることができる。

また、リレーレンズ系をズーム光学系で構成することにより、任意の大きさの輪帯形状の領域または多重極形状の領域を照明することができる。

（第6実施形態）

以上説明した第1乃至第5実施形態では、第1及び第2オプティカルインテグレータとして、複数の光学素子を集積してなるフライアイレンズを適用したが、本発明ではフライアイレンズには限定されない。

以下、第6実施形態として、第1フライアイレンズとして上述の実施形態と同一のものをを用い、第2フライアイレンズとして光軸方向に沿った内面反射面を有するロッド型インテグレータを配置した例を説明する。ここで、第27図は、第6実施形態にかかる投影露光装置の要部を示す図である。なお、第27図に示す第6実施形態による投影露光装置の構成は、前述の第1図に示した第1実施形態の投影露光装置における第1フライアイレンズから被照射面としてのレチクルまでの構成が異なるだけであるので、投影露光装置全体の構成についての説明は省略する。また、第1図の装置と同一部分には同一の符号を用いて

第27図において、第1フライアイレンズ55は前述の第1実施形態の通りであり、その射出側の面P1に複数の光源像からなる面光源（2次光源）を形成する。第1フライアイレンズ55の射出側にはリレー光学系106とロッド型インテグレータ107とが配置されており、リレー光学系106は、第1フライアイレンズ55が形成する面光源（2次光源）の像をロッド型インテグレータ107の入射面またはその近傍の位置である面P2上に形成する。そして、ロッド型インテグレータ107に入射した光は、ロッド型インテグレータ107の内面で反射を繰り返した後でその射出面から射出する。このとき、ロッド型インテグレータ107の射出面は、あたかも面P2の位置に複数の光源の虚像が広がった形状の面光源からの光が重畳された状態で照明されることになる。すなわち、第2オプ

10

20

30

40

50

ティカルインテグレータとしてのロッド型インテグレータは、面 P 2 に実質的な面光源を形成する。

そして、ロッド型インテグレータ 107 の射出面またはその近傍の位置 O 3 には、被照射面としてのレチクル 13 の面（面 O 4）での照明範囲を決定するための視野絞りとしてのレチクルブラインド 110 が配置される。このレチクルブラインド 110 の像は、レンズ群 111 A, 111 B からなるレチクルブラインド結像光学系 111 によりレチクル 13 上に投影される。ここで、レチクルブラインド結像光学系 111 の内部の面 P 3 には、所定形状の開口部を有する照明開口絞り 85 が配置される。第 27 図において、フライアイレンズ 55（51）の入射面が位置する面 O 1、リレー光学系 6 中の面 O 2、面 O 3、そして面 O 4（レチクル 13）が互いに光学的に共役となっている。そして、面 P 1、面 P 2、面 P 3 が互いに共役になっており、これらの面 P 1～P 3 は、投影光学系 14 の瞳と共役な位置関係にある。

第 27 図に示すように、第 1 実施形態と同じ構成の第 1 フライアイレンズ 55 が光路中に配置される場合には、ロッド型インテグレータ 107 の入射面（またはその近傍）の面 P 2 へは、第 1 フライアイレンズ 55 の射出面にて偏向された光束により斜め方向から照明される。すなわち面 P 2 には中抜け光束が到達する。このとき、ロッド型インテグレータ 107 の射出面からは、面 P 2 に 4 重極（4 つ目）形状に偏在した形状の光源の虚像が形成されているように観察される。そして、面 P 2 及び面 P 3 が互いに共役であるので、面 P 3 には、4 重極（4 つ目）形状に偏在した形状の光源の実像からなる面光源が形成されることになる。従って、4 重極（4 つ目）形状の開口部を持つ照明開口絞り 85 を用いてレチクル 13 を傾斜照明する際であっても、光量ロスをほとんど生じることなく効率の良い照明を達成できる。なお、第 27 図における第 1 フライアイレンズ 55 の代わりに、上述の第 2～第 4 実施形態と同じ構成の第 1 フライアイレンズや、第 5 実施形態の第 1 フライアイレンズと光学部材とを組合わせたものを用いても良い。また、リレー光学系 106 として、ズーム光学系を適用しても良い。また、ロッド型インテグレータ 107 としては、石英や螢石などの材料からなるガラス棒の内面での全反射を利用するものや、柱形状（円柱形状または多角柱（好適には 4 角柱）形状）中空パイプの内面に反射膜を設けたものなどを適用できる。

なお、上述の第 1 乃至第 6 実施形態の波面分割型オプティカルインテグレータ及び光偏向部材は、各実施形態の組合わせには限られない。例えば、第 1 実施形態のレボルバ 105 に第 2 実施形態の第 1 フライアイレンズと光拡散部材とを組合わせたものや、第 3 実施形態の第 1 フライアイレンズ、第 4 実施形態の第 1 フライアイレンズと偏向プリズムとを組合わせたもの、第 5 実施形態の第 1 フライアイレンズと光学部材とを組合わせたもののうちの少なくとも 1 つを組み込んでも良い。

なお、上述の第 1 乃至第 6 実施形態に示される各要素を電氣的、機械的または光学的に連結することで、本発明にかかる照明装置、または露光装置が組上げられる。

次に、上記の実施の形態の投影露光装置を用いてウエハ上に所定の回路パターンを形成する際の動作の一例につき第 28 図のフローチャートを参照して説明する。

先ず、第 28 図のステップ 101 において、1 ロットのウエハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ 102 において、その 1 ロットのウエハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。その後、ステップ 103 において、第 1 乃至第 6 実施形態の何れかの投影露光装置を用いて、レチクル R 上のパターンの像をその 1 ロットのウエハ上の各ショット領域に順次露光転写する。その後、ステップ 104 において、その 1 ロットのウエハ上のフォトレジストの現像が行われた後、ステップ 105 において、その 1 ロットのウエハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、レチクル R 上のパターンに対応する回路パターンが、各ウエハ上の各ショット領域に形成される。その後、更には上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。

さて、上述の各実施形態において、波面分割型オプティカルインテグレータとして、複数の要素レンズを集積したフライアイレンズを用いたが、このフライアイレンズとして、上

述の各実施形態のフライアイレンズと同じ全体形状を有するようにプレス加工された一体物を用いても良い。

また、上述の各実施形態において、波面分割型オプティカルインテグレータと補助オプティカルインテグレータとの間の光路中に、レチクル13面上でのスペックル（干渉縞）の発生を防止するための1次元（または2次元）振動ミラーを配置しても良い。

また、上述の実施形態で波面分割型オプティカルインテグレータと光偏向部材とを一体に形成した例では、平凸形状の要素レンズの射出面を光軸に対して傾けた構成としたが、この要素レンズの射出面は平面には限られず、凸面または凹面などの曲率を持つ面であっても良い。この場合、曲率を持つ面の軸（面の曲率中心と面の有効領域の中心とを結ぶ軸）を光軸に対して傾ければ良い。

10

また、波面分割型オプティカルインテグレータの要素レンズとしては正屈折力を持つものには限られず、負屈折力を有するものであっても良い。

また、以上の例では、波面分割型オプティカルインテグレータと対応させて光偏向部材を設けたが、光偏向部材のみを設けた構成であっても良い。この場合、光偏向部材はこの光偏向部材に入射する光束を少なくとも6つの光束に波面分割し、これら少なくとも6つの光束を異なる方向へ偏向させることが好ましい。

さて、上記実施形態では露光用照明光として波長が100nm以上の紫外光、例えばg線（波長436nm）、i線（波長365nm）、及びKrFエキシマレーザ（波長248nm）などの遠紫外（DUV）光や、ArFエキシマレーザ（波長193nm）やF2レーザ（波長157nm）などの真空紫外（VUV）光を用いることができる。F2レーザを光源とする露光装置では、投影光学系として反射型光学系または反射屈折型光学系を採用することが好ましく、照明光学系や投影光学系に使われる光学素子（レンズエレメント）は全て蛍石とすることが好ましい。そして、かつF2レーザ光源、照明光学系、及び投影光学系内の空気はヘリウムガスで置換されるとともに、照明光学系と投影光学系との間、及び投影光学系とウエハとの間などもヘリウムガスで満たされる。また、F2レーザを用いる露光装置では、蛍石、フッ素がドーブされた合成石英、フッ化マグネシウム、及び水晶などのいずれか1つで作られたレチクルが使用される。

20

なお、エキシマレーザの代わりに、例えば波長248nm、193nm、157nmのいずれかに発振スペクトルを持つYAGレーザなどの固体レーザの高調波を用いるようにしてもよい。また、DFB半導体レーザ又はファイバーレーザから発振される赤外域、又は可視域の単一波長レーザを、例えばエルビウム（又はエルビウムとイットリビウムの両方）がドーブされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いてもよい。例えば、単一波長レーザの発振波長を1.51~1.59 μ mの範囲内とすると、発生波長が189~199nmの範囲内である8倍高調波、又は発生波長が151~159nmの範囲内である10倍高調波が出力される。特に発振波長を1.544~1.553 μ mの範囲内とすると、193~194nmの範囲内の8倍高調波、即ちArFエキシマレーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られ、発振波長を1.57~1.58 μ mの範囲内とすると、157~158nmの範囲内の10倍高調波、即ちF2レーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られる。また、発振波長を1.03~1.12 μ mの範囲内とすると、発生波長が147~160nmの範囲内である7倍高調波が出力され、特に発振波長を1.099~1.106 μ mの範囲内とすると、発生波長が157~158 μ mの範囲内の7倍高調波、即ちF2レーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られる。なお、単一波長発振レーザとしてはイットリビウム・ドーブ・ファイバーレーザを用いる。

30

また、上述の各実施形態は、ウエハW上の1つのショット領域へのレチクルRのパターン像の露光が終わった後、ウエハステージWSをステップング駆動することによって、ウエハW上の次のショット領域を投影光学系PLの露光領域に移動して一括露光を繰り返して行うステップ・アンド・リピート方式（一括露光方式）や、ウエハWの各ショット領域への露光時にレチクルRとウエハWとを投影光学系PLに対して投影倍率 β を速度比として同期走査する、ステップ・アンド・スキャン方式の双方の投影露光装置に適用できる。

40

50

ところで、投影光学系は縮小系だけでなく等倍系、又は拡大系（例えば液晶ディスプレイ製造用露光装置など）を用いても良い。また、プロキシミティ方式の露光装置などにも本発明を適用できる。

さらに、半導体素子の製造に用いられる露光装置だけでなく、液晶表示素子などを含むディスプレイの製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられる、デバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、撮像素子（CCDなど）の製造に用いられる露光装置などにも本発明を適用することができる。また、レチクル、又はマスクを製造するために、ガラス基板、又はシリコンウエハなどに回路パターンを転写する露光装置にも本発明を適用できる。

以上の通り、本発明は上述の実施形態には限定されず種々の構成をとり得る。

10

【図面の簡単な説明】

第1図は、本発明の第1実施形態にかかる投影露光装置の光学系を示す図である。

第2A図は第1実施形態における第1フライアイレンズの配置、2B図は開口絞りの配置を示す図である。

第3A～3Dは、従来のフライアイレンズの構成、3E図はその照明領域を示す図である。

第4A、4B図は方位角を説明する図である。

第5図は要素レンズの偏角を説明する図である。

第6A～6J図は要素レンズ、6K図はその照明領域を説明する図である。

第7A～7F図は他の要素レンズ、7G図はその照明領域を説明する図である。

20

第8図は第1実施形態の変形例を示す図である。

第9図は第2実施形態にかかる投影露光装置のフライアイレンズ部分の光学系を示す図である。

第10A図は第2実施形態における第1フライアイレンズの配置、10B図は開口絞りの配置を示す図である。

第11A～11Cは、要素レンズの構成、11D図はその照明領域を示す図である。

第12A、12B図は、第2実施形態の第1フライアイレンズの要素レンズとレモンスキンプフィルタとの配列、12C図はレモンスキンプフィルタを使用した場合の照明領域を示す図である。

第13A～13D図は、レモンスキンプフィルタの製造工程を示す図である。

30

第14A～14J図は他の要素レンズ、14K図はその照明領域を示す図である。

第15A図は第3実施形態の第1フライアイレンズの配置、15B図は開口絞りの配置を示す図である。

第16A～16D図は要素レンズ、第16E、16F図は方位角、16G図はその照明領域を示す図である。

第17A～17D、17F～17I図は要素レンズ、17E、17J図は方位角、17K図は配列、17L図はその照明領域を示す図である。

第18A図は第4実施形態にかかる投影露光装置のフライアイレンズ部分の光学系、18Bは第1フライアイレンズと偏向プリズムとの関係を示す図である。

第19図は、第5実施形態にかかる照明装置と該照明装置を備えた投影露光装置の構成を示す図である。

40

第20A図は第1フライアイレンズが設けられたレボルバの構成、20B図は開口絞りが設けられたレボルバの構成を示す図である。

第21A図～21C図は、第1フライアイレンズと円錐形状光学部材との関係を示す図である。

第22Aは光学部材のプリズム作用、22B図はその照明領域、22C図はフライアイレンズと円錐形状光学部材とを透過する光線の光路図、22D図はその照明領域を示す図である。

第23A～23E図は所定面における強度分布を示す図である。

第24A～24C図は第1フライアイレンズと四角錐形状光学部材との関係、24D図は

50

所定面での照明領域を示す図である。

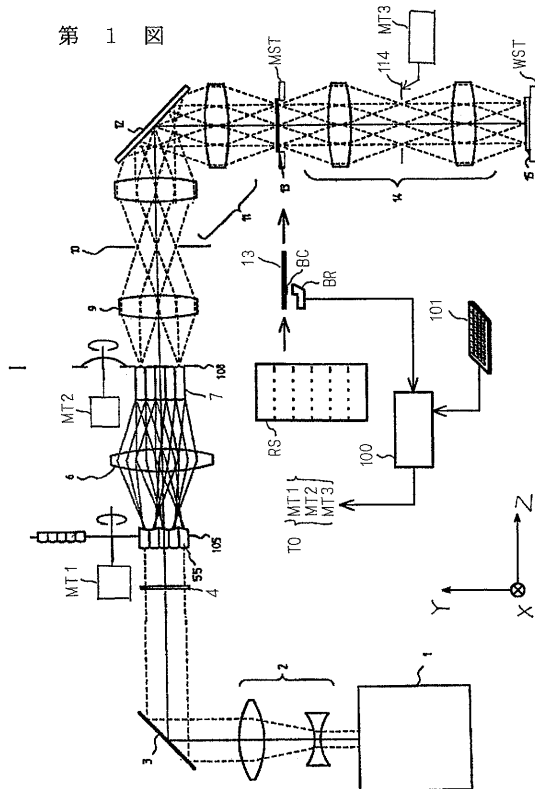
第25A～25D図は、錐形状を有する光学部材の変形例を示す図である。

第26A～26C図は、第1フライアイレンズと光学部材とを別々のレボルバ（ターレット）に設けた例である。

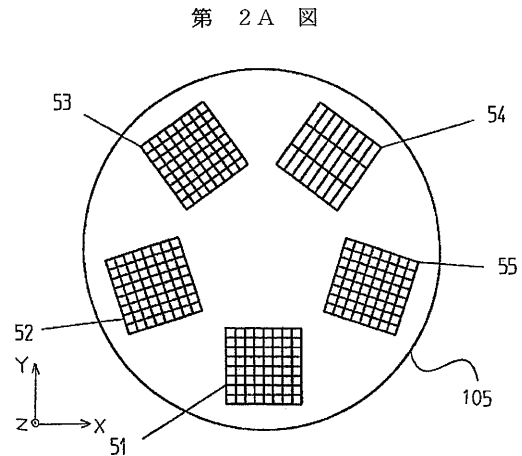
第27図は、第6実施形態にかかる投影露光装置の概略構成を示す図である。

第28図は、所定の回路パターンを露光する工程の流れを説明する図である。

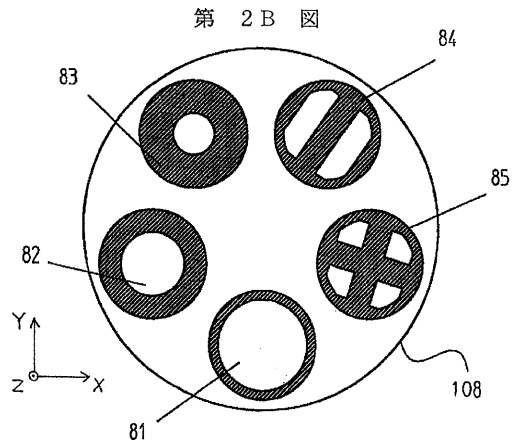
【図1】



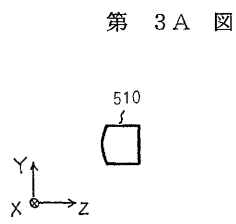
【図2A】



【図 2 B】

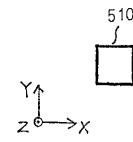


【図 3 A】



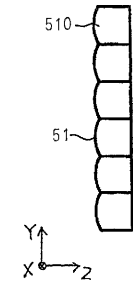
【図 3 B】

第 3 B 図



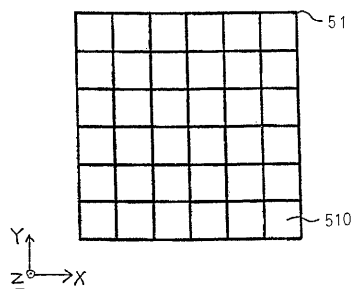
【図 3 C】

第 3 C 図



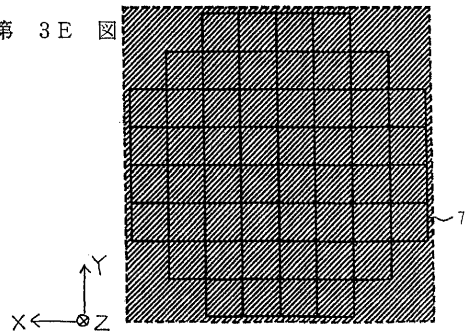
【図 3 D】

第 3 D 図



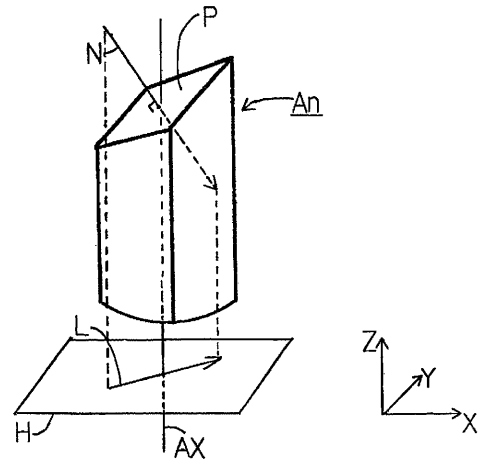
【図 3 E】

第 3 E 図



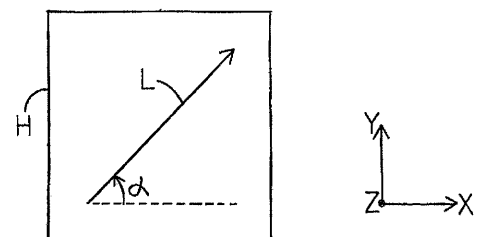
【図 4 A】

第 4 A 図

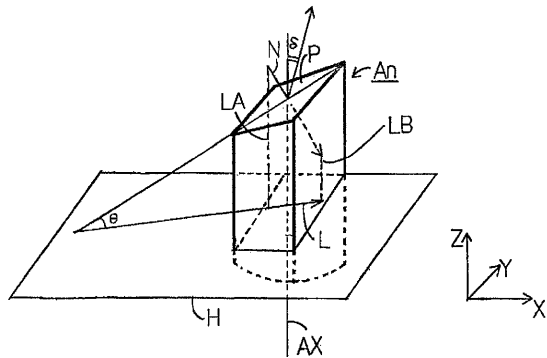


【図 4 B】

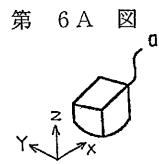
第 4 B 図



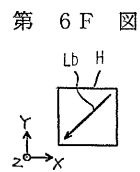
【図 5】
第 5 図



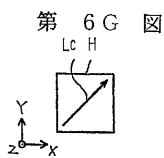
【図 6 A】



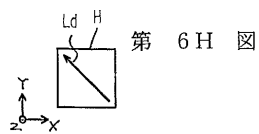
【図 6 F】



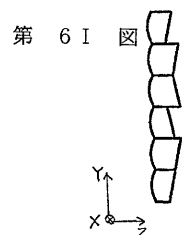
【図 6 G】



【図 6 H】

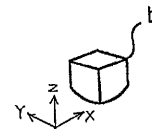


【図 6 I】



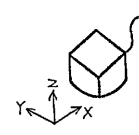
【図 6 B】

第 6 B 図

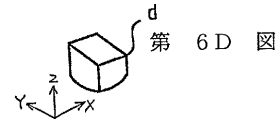


【図 6 C】

第 6 C 図

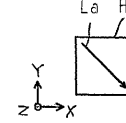


【図 6 D】

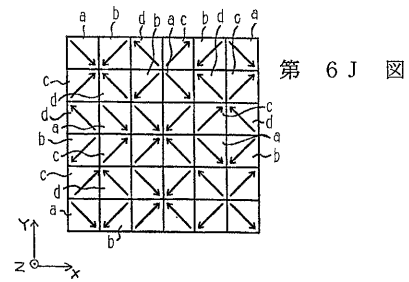


【図 6 E】

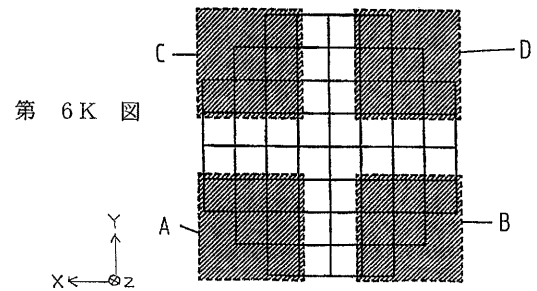
第 6 E 図



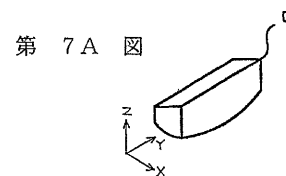
【図 6 J】



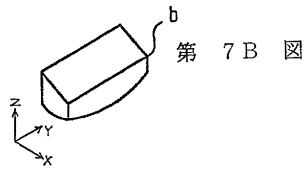
【図 6 K】



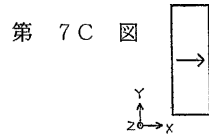
【図 7 A】



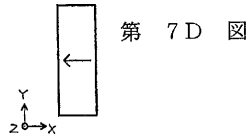
【図 7 B】



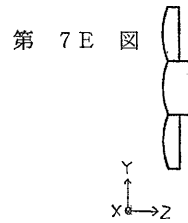
【図 7 C】



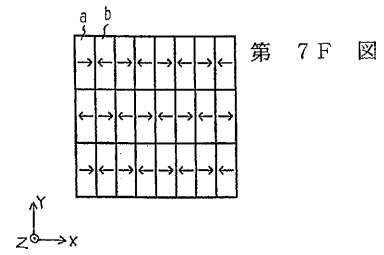
【図 7 D】



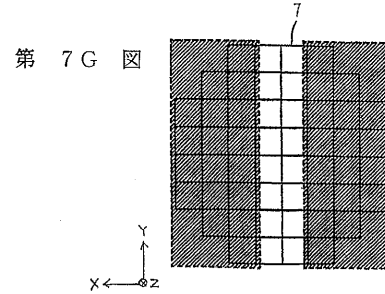
【図 7 E】



【図 7 F】

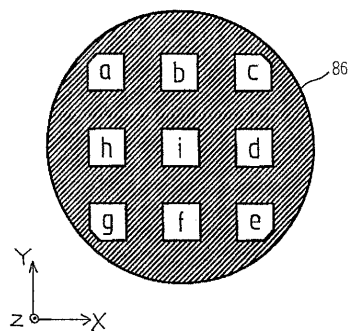


【図 7 G】



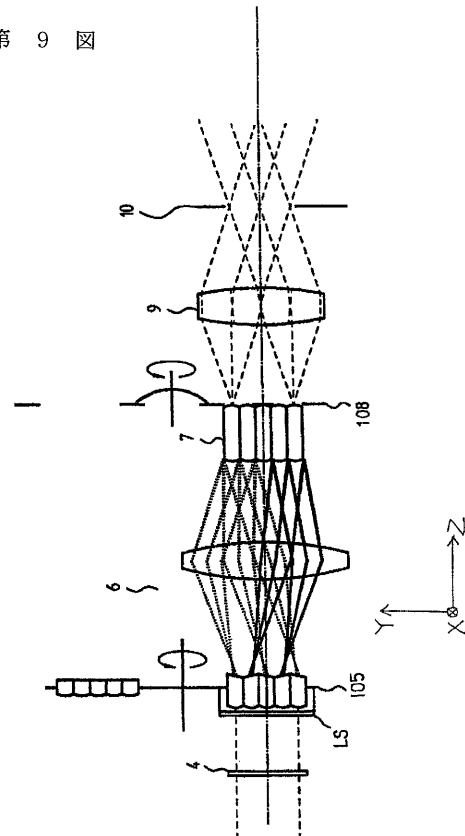
【図 8】

第 8 図



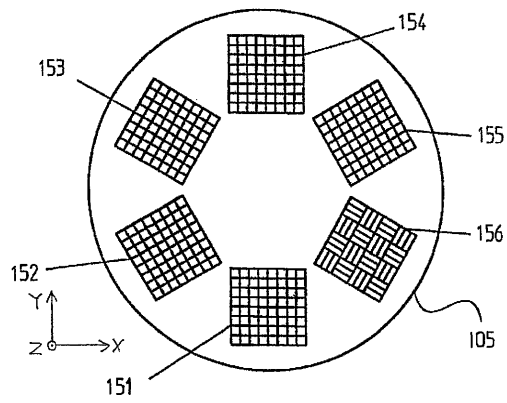
【図 9】

第 9 図



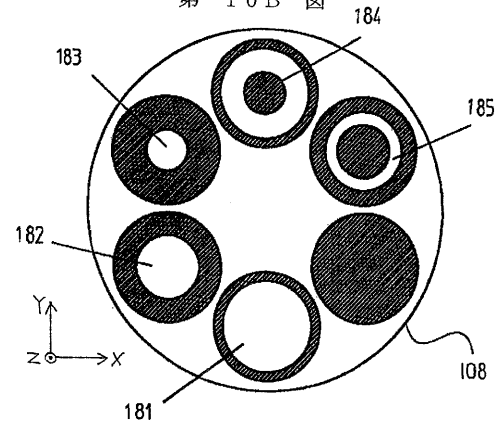
【図 10 A】

第 10 A 図



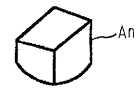
【図 10 B】

第 10 B 図



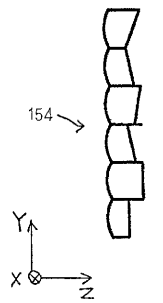
【図 11 A】

第 11 A 図



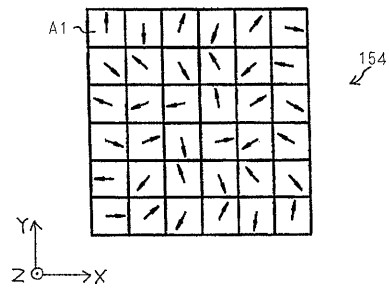
【図 11 B】

第 11 B 図



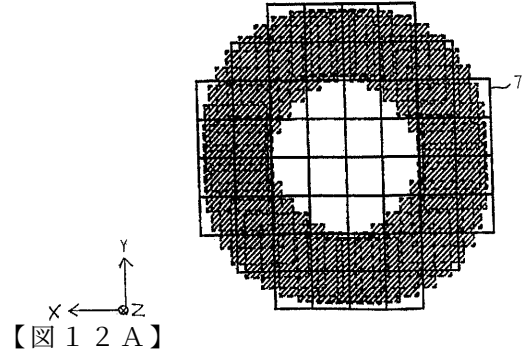
【図 11 C】

第 11 C 図



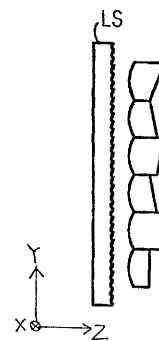
【図 11 D】

第 11 D 図



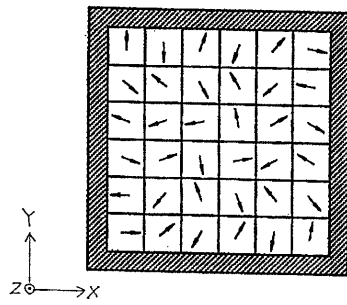
【図 12 A】

第 12 A 図



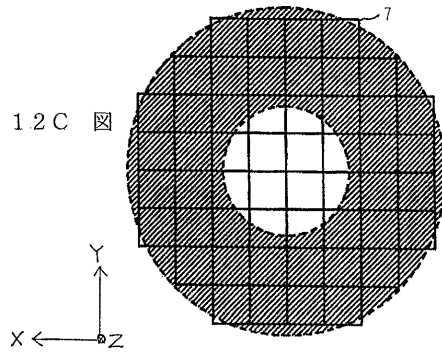
【図 12 B】

第 12 B 図



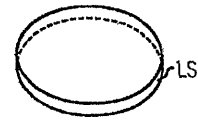
【図 12 C】

第 12 C 図



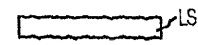
【図 13 A】

第 13 A 図



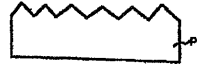
【図 13 B】

第 13 B 図



【図 13 C】

第 13 C 図



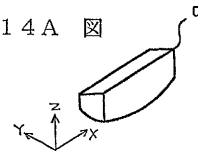
【図 13 D】

第 13 D 図



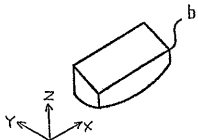
【図 14 A】

第 14 A 図



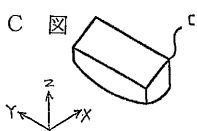
【図 14 B】

第 14 B 図



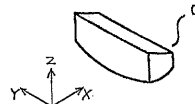
【図 14 C】

第 14 C 図



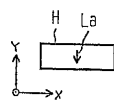
【図 14 D】

第 14 D 図



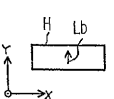
【図 14 E】

第 14 E 図



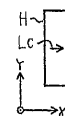
【図 14 F】

第 14 F 図



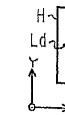
【図 14 G】

第 14 G 図



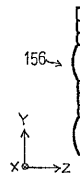
【図 14 H】

第 14 H 図

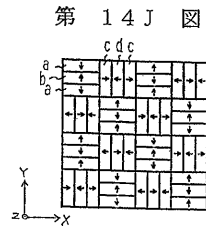


【図 14 I】

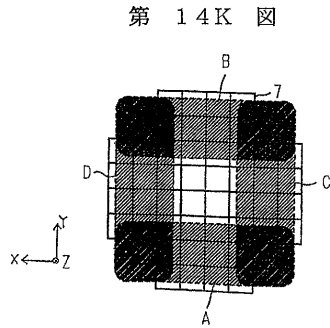
第 14 I 図



【図 14 J】

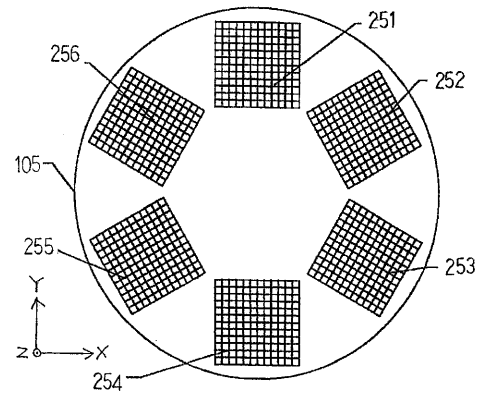


【図 14 K】

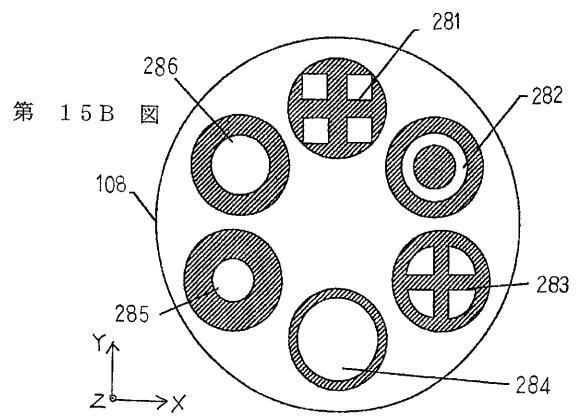


【図 15 A】

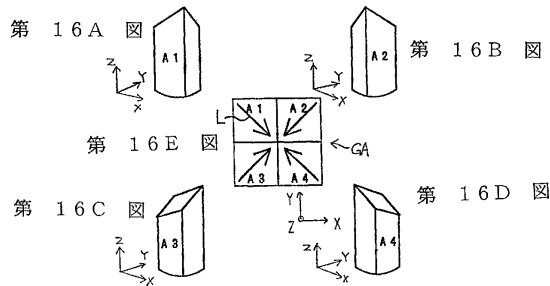
第 15 A 図



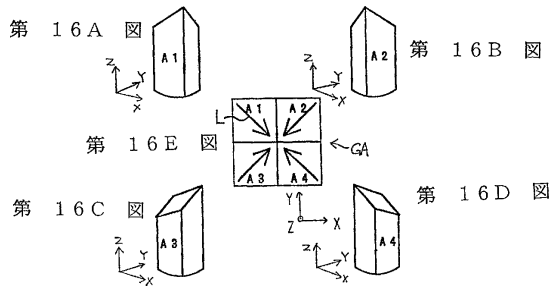
【図 15 B】



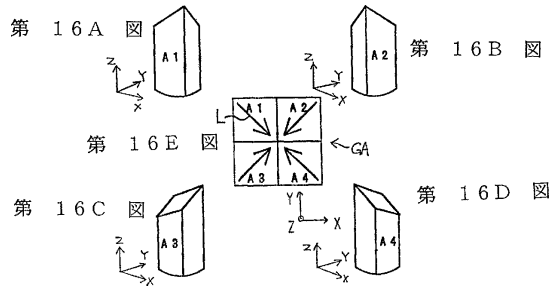
【図 16 A】



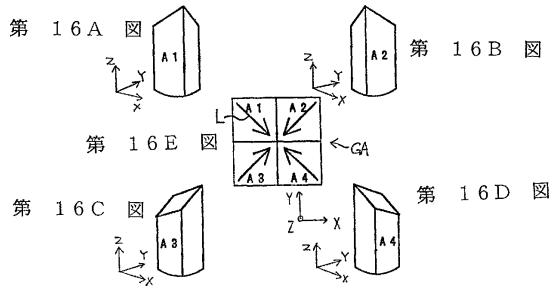
【図 16 C】



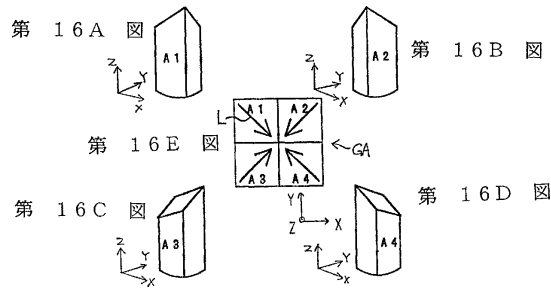
【図 16 B】



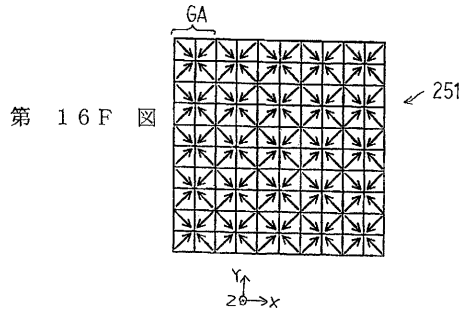
【図 16 D】



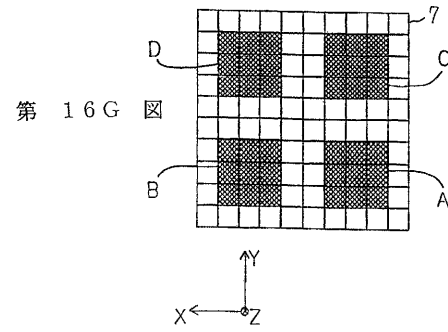
【図 16 E】



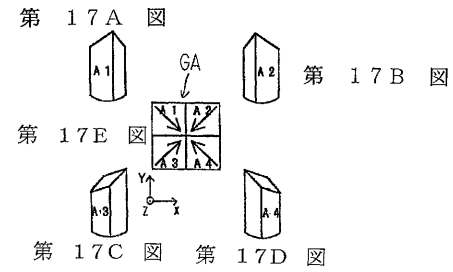
【図 16 F】



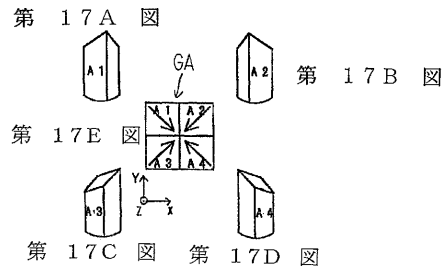
【図 16 G】



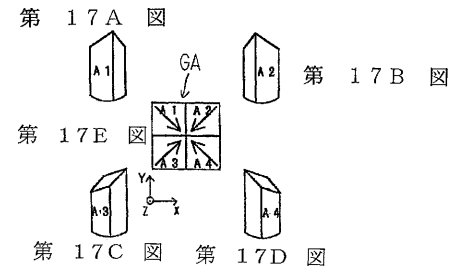
【図 17 A】



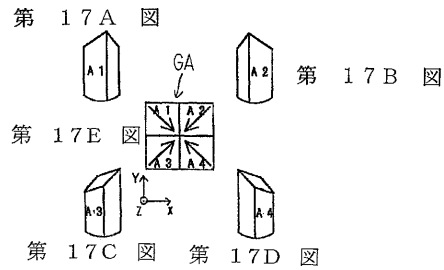
【図 17 B】



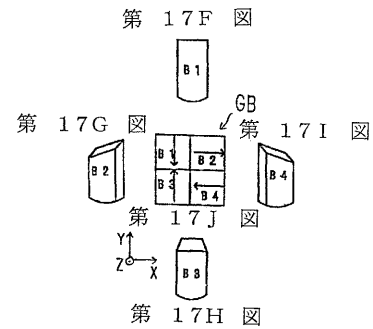
【図 17 E】



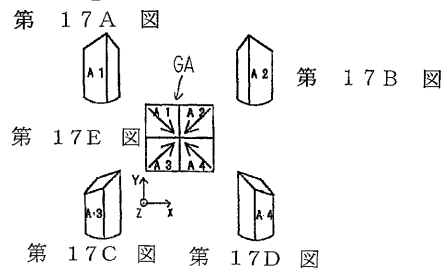
【図 17 C】



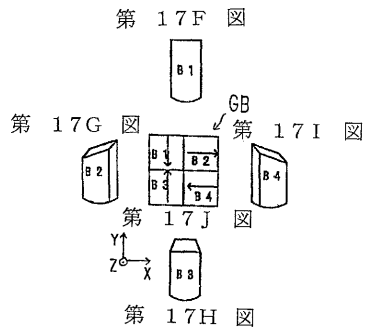
【図 17 F】



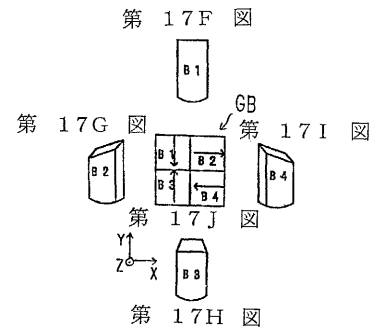
【図 17 D】



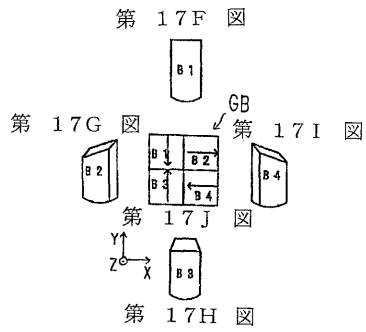
【図 17 G】



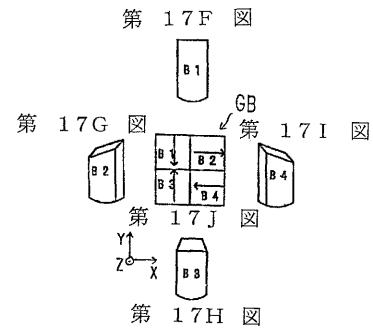
【図 17 I】



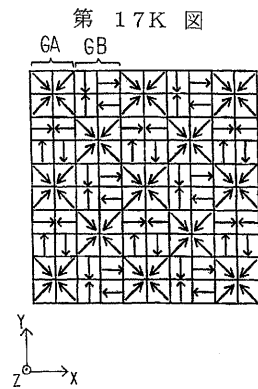
【図 17 H】



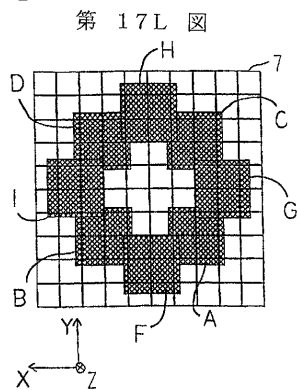
【図 17 J】



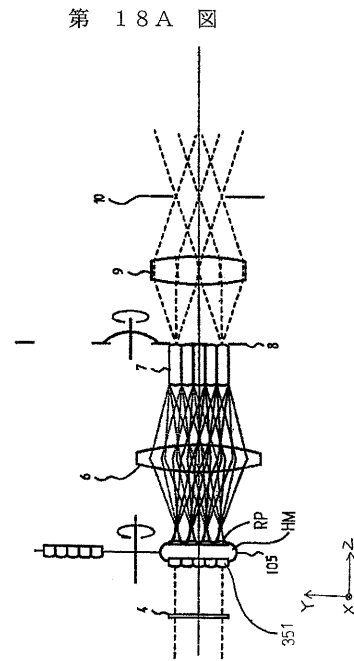
【図 17 K】



【図 17 L】

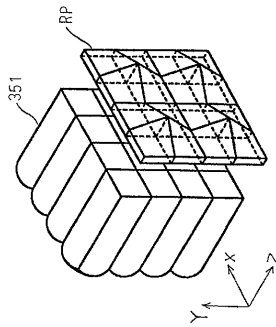


【図 18 A】



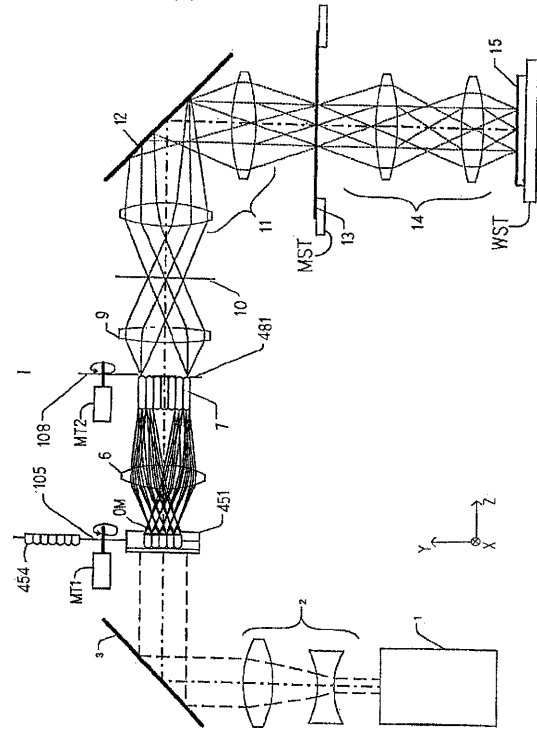
【図 18 B】

第 18 B 図



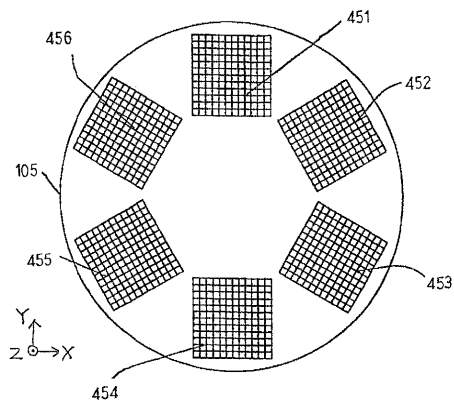
【図 19】

第 19 図



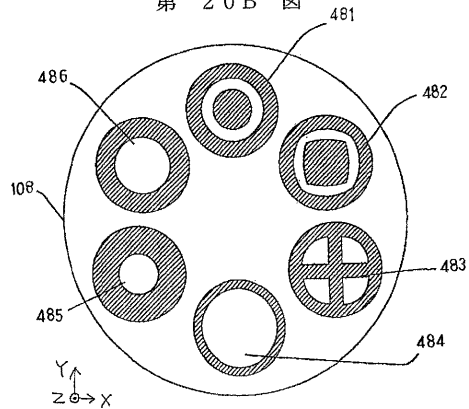
【図 20 A】

第 20 A 図



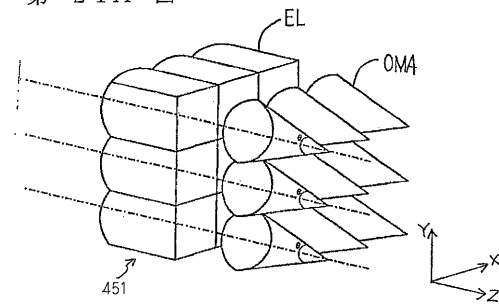
【図 20 B】

第 20 B 図



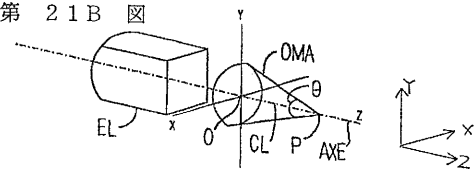
【図 21 A】

第 21 A 図



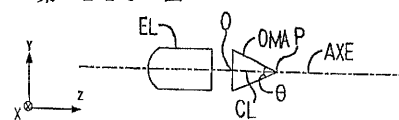
【図 21 B】

第 21 B 図



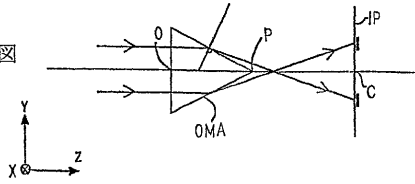
【図 21 C】

第 21 C 図

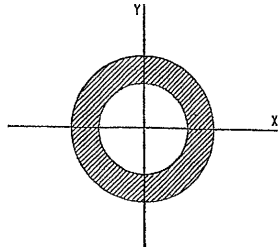


【図 2 2 A】

第 2 2 A 図



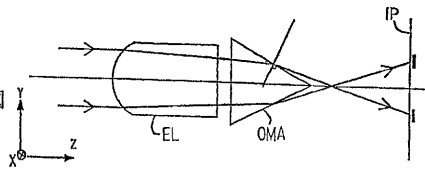
【図 2 2 B】



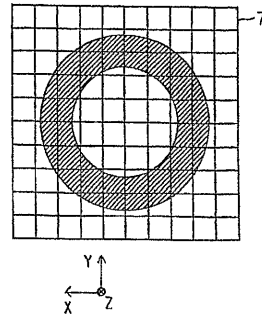
第 2 2 B 図

【図 2 2 C】

第 2 2 C 図



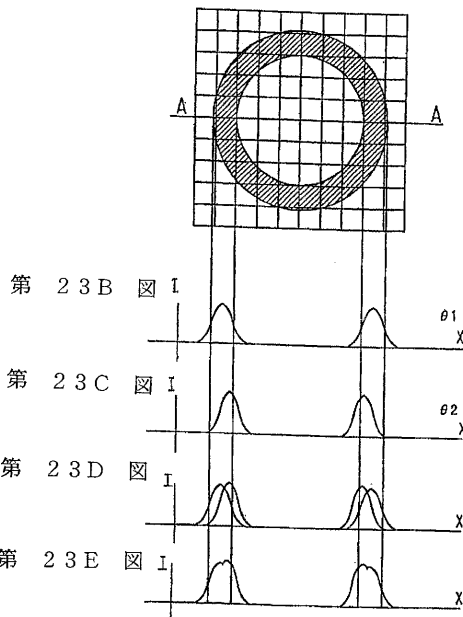
【図 2 2 D】



第 2 2 D 図

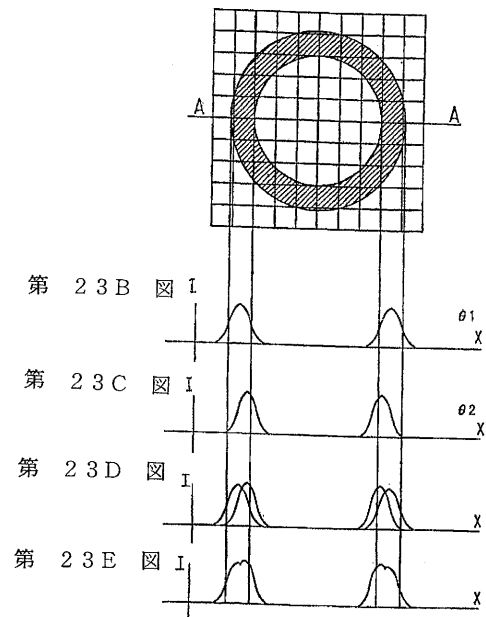
【図 2 3 A】

第 2 3 A 図



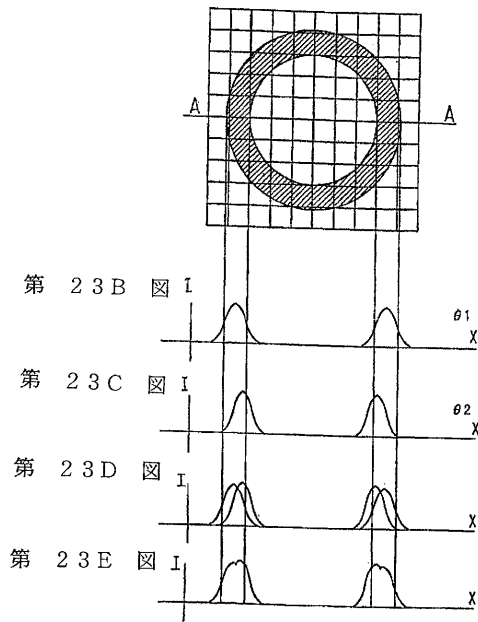
【図 2 3 B】

第 2 3 A 図



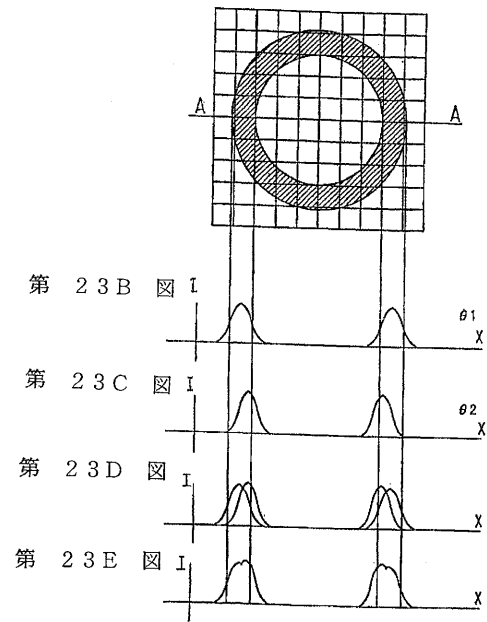
【図 23 C】

第 23 A 図



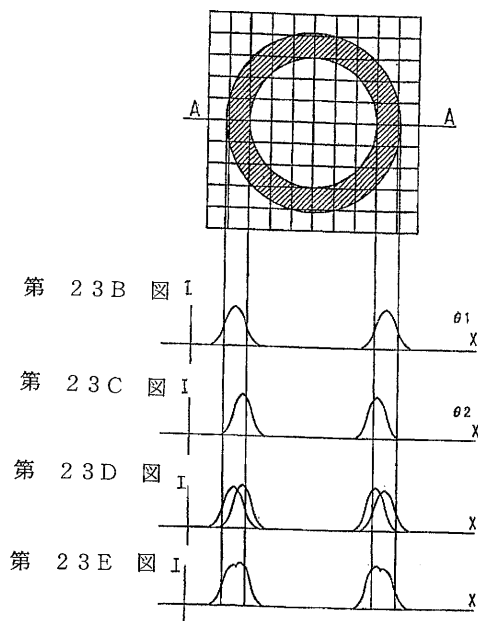
【図 23 D】

第 23 A 図



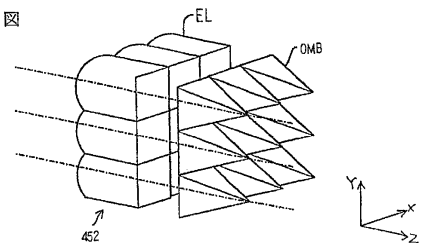
【図 23 E】

第 23 A 図



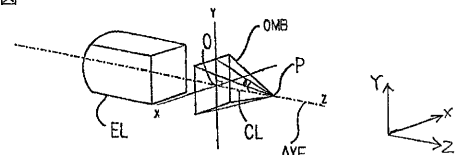
【図 24 A】

第 24 A 図



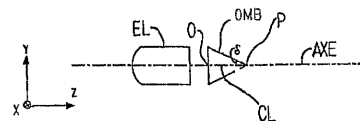
【図 24 B】

第 24 B 図



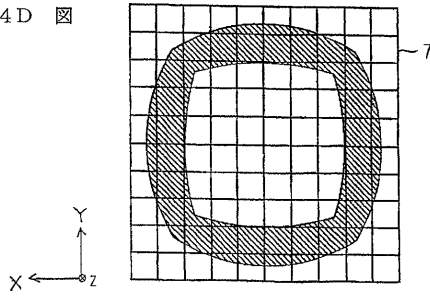
【図 24 C】

第 24 C 図



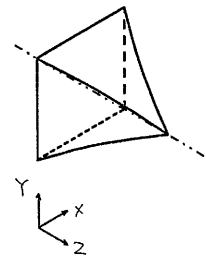
【図 24D】

第 24D 図



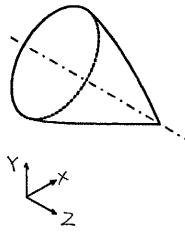
【図 25B】

第 25B 図



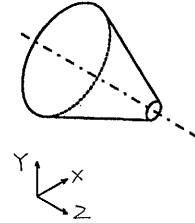
【図 25A】

第 25A 図



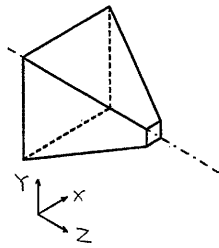
【図 25C】

第 25C 図



【図 25D】

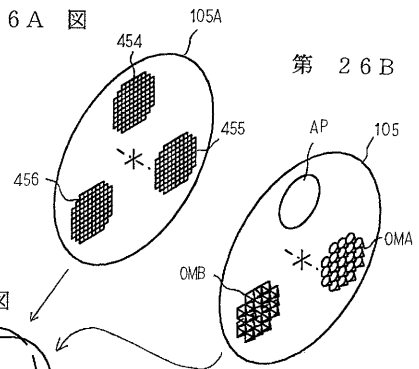
第 25D 図



【図 26B】

第 26A 図

第 26B 図

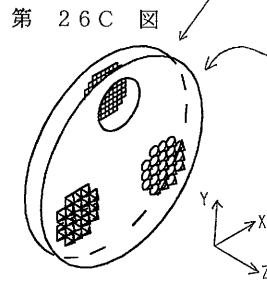
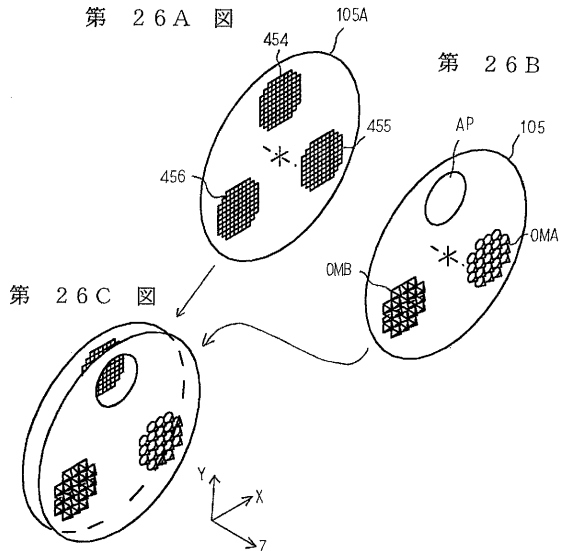


【図 26A】

第 26A 図

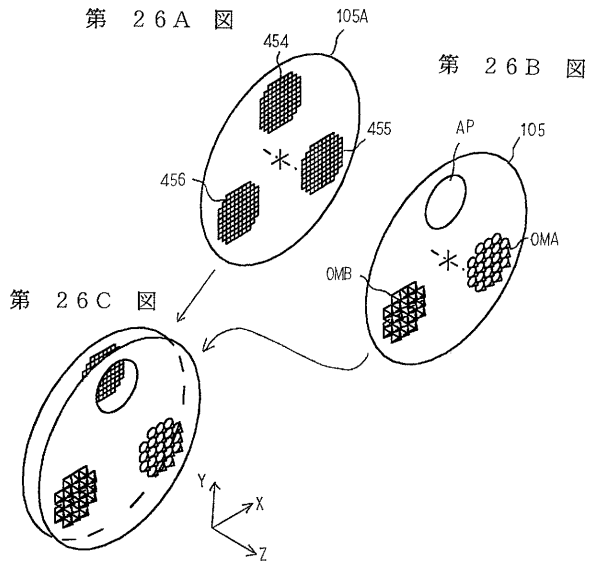
第 26B 図

第 26C 図



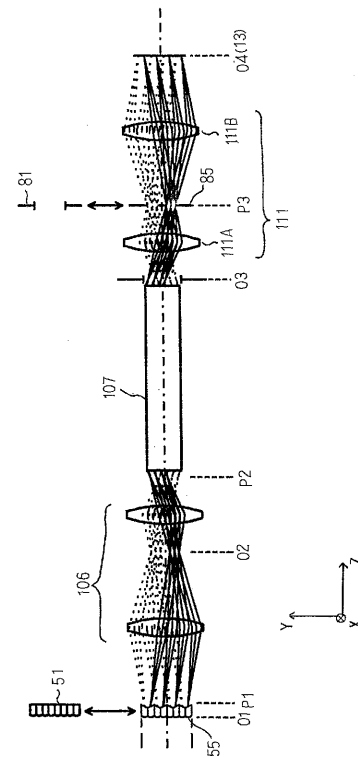
【図 26 C】

第 26 A 図



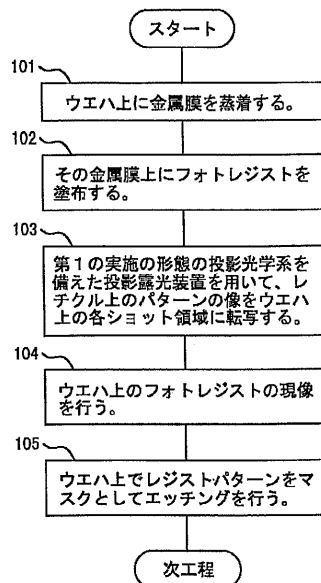
【図 27】

第 27 図



【図 28】

第 28 図



フロントページの続き

(72)発明者 渋谷 真人
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

審査官 岩本 勉

(56)参考文献 特開平07-201697 (JP, A)
特開平09-045607 (JP, A)
特開平06-204123 (JP, A)
特開平10-050599 (JP, A)
特開平04-180612 (JP, A)
特開平11-097340 (JP, A)
特開平05-251308 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/027
G03F 7/20