

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3633002号

(P3633002)

(45) 発行日 平成17年3月30日(2005.3.30)

(24) 登録日 平成17年1月7日(2005.1.7)

(51) Int. Cl.⁷

F I

H O 1 L 21/027

H O 1 L 21/30 5 1 5 D

G O 2 B 27/00

G O 2 B 27/00 V

H O 1 L 21/30 5 2 7

請求項の数 10 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願平6-226395	(73) 特許権者	000004112
(22) 出願日	平成6年9月21日(1994.9.21)		株式会社ニコン
(65) 公開番号	特開平8-31736		東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(43) 公開日	平成8年2月2日(1996.2.2)	(72) 発明者	森 孝司
審査請求日	平成13年8月6日(2001.8.6)		東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(31) 優先権主張番号	特願平6-94612		株式会社ニコン内
(32) 優先日	平成6年5月9日(1994.5.9)	(72) 発明者	小松田 秀基
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		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
前置審査		審査官	佐藤 秀樹
		(56) 参考文献	特開平06-013289(JP, A)
			特開平05-045605(JP, A)
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 照明光学装置、露光装置及び露光方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光束を供給する光源系と、該光源系からの光束に基づいて複数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からの複数の光束をそれぞれ集光して被照明面を長方形状または円弧状に重疊的に照明するコンデンサー光学系とを有し、

前記オプティカルインテグレータは、光源側から順に、長方形状のレンズ断面を有する複数の第1レンズ素子が第1方向に沿って列状に配列された第1レンズ素子群を該第1方向と直交する第2方向に沿って複数配列して構成される第1レンズ群と、所定形状のレンズ断面を有する複数の第2レンズ素子が前記第2方向に沿って列状に配列された第2レンズ素子群を前記第1方向に沿って複数配列して構成される第2レンズ群とを有し、

前記第2レンズ群を構成する各第2レンズ素子は、前記第1レンズ群を構成する各第1レンズ素子に対して光学的に各々一対一に対応して配置され、

前記第1レンズ素子のレンズ断面の前記第1方向での長さを l_{x1} とし、前記第1レンズ素子のレンズ断面の前記第2方向での長さを l_{y1} 、自然数を m 、前記第2方向に沿って第 k 番目に配列された第1レンズ素子群と、該第 k 番目に配列された第1レンズ素子群に対して隣接する位置に設けられた第 $k+1$ 番目または第 $k-1$ 番目に配列された第1レンズ素子群と、の第1方向に沿ったずれ量を l_{x1} 、前記第2レンズ素子のレンズ断面の前記第1方向での長さを l_{x2} とし、前記第2レンズ素子のレンズ断面の前記第2方向での長さを l_{y2} とするとき、以下の条件を満足することを特徴とする照明光学装置。

10

20

$$l_{x1} / l_{y1} = a, a > 2$$

$$l_{x1} = a l_{y1} / m, m > 2$$

$$l_{x2} / l_{y2} = a / m^2$$

$$(4a + 1)^{0.5} / 2 - 0.5 m (4a + 1)^{0.5} / 2 + 0.5$$

【請求項 2】

前記第 1 レンズ群と前記第 2 レンズ群とは互いに分離して構成されることを特徴とする請求項 1 記載の照明光学装置。

【請求項 3】

前記第 1 レンズ群と前記第 2 レンズ群との少なくとも一方は、光軸の方向に沿って移動、光軸に垂直な面内で移動、または光軸回りに回転可能であることを特徴とする請求項 2 記載の照明光学装置。

10

【請求項 4】

前記第 1 レンズ群と前記第 2 レンズ群とは一体的に構成されることを特徴とする請求項 1 記載の照明光学装置。

【請求項 5】

前記オプティカルインテグレータとは異なる別のオプティカルインテグレータをさらに備えることを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れか一項記載の照明光学装置。

【請求項 6】

前記照明光学装置は、輪帯状の 2 次光源、2 つの偏心した 2 次光源、または 4 つの偏心した 2 次光源を形成し、前記被照明面を傾斜照明することを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れか一項記載の照明光学装置。

20

【請求項 7】

前記オプティカルインテグレータと前記コンデンサー光学系との間に配置されて、前記オプティカルインテグレータが形成する複数の光源像を再形成する再結像光学系を備えることを特徴とする請求項 1 乃至 6 の何れか一項記載の照明光学装置。

【請求項 8】

前記コンデンサー光学系はトーリック型反射鏡を備えることを特徴とする請求項 7 記載の照明光学装置。

【請求項 9】

レチクル上の所定の回路パターンを投影光学系を介してウエハ上に投影露光する投影露光装置において、

30

前記レチクルを保持するレチクルステージと；

前記ウエハを保持するウエハステージと；

請求項 1 乃至 8 の何れか一項記載の照明光学装置と；

を備え、前記被照明面に配置された前記レチクル上の照明領域を照明しつつ前記レチクル及び前記ウエハを移動させることを特徴とする投影露光装置。

【請求項 10】

レチクル上の所定の回路パターンを投影光学系を介してウエハ上に投影露光する投影露光方法において、

請求項 1 乃至 8 の何れか一項記載の照明光学装置を用いて前記被照明面に配置された前記レチクル上の照明領域を照明しつつ、前記レチクル及び前記ウエハを移動させることを特徴とする投影露光方法。

40

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

本発明は、被照明物体を均一に照明する照明光学装置に関するものであり、特に、半導体素子、液晶表示素子等の製造過程中的のリソグラフィ工程で使用される投影露光装置に好適な照明装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

50

従来、投影露光装置としては、投影露光すべき回路が描かれた原板（レチクル）のパターン全体を投影露光光学系（投影レンズ）を介して、感光剤が塗布されたウエハやプレート等の感光基板上に1ショット毎に逐次投影露光する、所謂ステップ・アンド・リピート方式のステッパーが知られており、この装置は、解像力並びスループットの点で優れている。

【0003】

近年においては、より高解像力のもとでより高スループット化を達成するために、スキャン方式の投影露光装置が提案されている。

1つのスキャン方式の投影露光装置として、円弧状のイメージフィールドを有する反射縮小光学系を用いて、レチクル上のパターンをウエハ上に投影露光するものがあり、例えば、Proc. SPIE, 1088 (1989), P424~433において提案されている。

10

【0004】

また別のスキャン方式の投影露光装置として、円形のイメージフィールドを有する通常の投影光学系（フル・フィールドタイプの投影光学系）を用いて、ステップ・アンド・スキャン方式でレチクル上のパターンをウエハ上に投影露光するものがある。例えば、特開平4-196513号公報では縦方向の辺と横方向の辺との長さが異なる長方形状（スリット状）のイメージフィールドをスキャンする方式が提案されており、この提案されている装置は、広い露光フィールドによって高スループット化を実現しながら、より高解像力が確保できるため、上記ステップ・アンド・リピート方式の露光装置に次ぐ将来の露光装置として注目されてきている。

20

【0005】

図13には、代表的なステップ・アンド・リピート方式の露光装置用の照明光学装置を示している。集光鏡としての楕円鏡2の第1焦点21には光源としての水銀ランプ1が配置され、この水銀ランプ1からの光束が楕円鏡の第2焦点22に集光される。この第2焦点22からの発散光束は、コリメータレンズ3により平行光束に変換された後、バンドパスフィルター4を介することにより、所定の露光波長（例えば436nmのg線又は365nmのi線等）の光が選択される。この所定の露光波長の光は、複数のレンズ素子の集合体より構成されるフライアイレンズ5を通過し、このフライアイレンズ5の射出側にはレンズ素子の数に対応する複数の光源像Iaが形成され、ここには所謂、複数の2次光源が形成される。このフライアイレンズ5の射出側に形成される複数の光源像（複数の2次光源）からの複数の光束は、コンデンサーレンズ6によってそれぞれ集光作用を受けて、被照明物体としてのレチクルRを重畳的に照明する。そして、不図示の投影光学系を介してレチクルR上のパターンがウエハ上に投影露光される。

30

【0006】

ここで、図13の照明光学装置の結像関係を様子を示す図14を参照しながらフライアイレンズ5について説明する。このフライアイレンズ5は、図14に示す如く、入射側レンズ面と射出側レンズ面とが双方のレンズ面の焦点位置となるようなレンズ要素5aの集合体で構成されており、このレンズ要素5aの入射面でのレンズ断面形状は、最終的には、被照明物体としてのレチクルR上に拡大投影され、レチクルR上での照明領域の形状を決定することとなる。

40

【0007】

従って、ステップ・アンド・リピート方式の露光装置では、レチクルR上での照明領域の形状はほぼ正形状となっているため、照明装置におけるフライアイレンズを構成するレンズ要素5aは、縦方向の辺と横方向の辺の長さが等しい正方形となるレンズ断面形状を有している。

今、フライアイレンズを構成するレンズ要素5aの焦点距離を f_e とし、このレンズ要素5aの紙面方向（y方向）での長さを l_y 、レンズ要素5aの紙面と直交する方向（x方向）での長さを l_x 、コンデンサーレンズ6の焦点距離を f_{con} 、紙面方向（y方向）での被照射域の長さを L_y 、紙面と直交する方向（x方向）での被照射域の長さを L_x と

50

すると、以下の(1)及び(2)の関係が成立する。

【0008】

【数1】

$$(1) \quad L_x = (f_{con} / f_e) l_x$$

$$(2) \quad L_y = (f_{con} / f_e) l_y$$

さて、以上の照明光学装置を前述のスクリーン方式の投影露光装置に応用する場合を考える。

【0009】

まず、レチクル上のパターンをウエハ上に投影する投影光学系のイメージフィールドが円弧状となっている場合、この円弧状のイメージフィールドに対応する照明領域を正確に形成するには、例えば、図15の(a)に示す如く、レチクル上または照明光学装置中のレチクルと共役な位置には円弧上のイメージフィールドに対応する大きさの開口 a_{IF} を持つ視野絞り FS を設けることが考えられる。

10

【0010】

しかしながら、この場合、図14による照明装置によってレチクル上には正方形状の大きな照明領域が形成されているため、円弧状のイメージフィールドに対応する大きさの開口 a_{IF} を持つ視野絞り FS を単にレチクル上に設けるだけでは、大幅な光量損失を招く。このため、ある程度の光量を確保するには、図15の(a)に示す如く、レチクル上での円弧状のイメージフィールドの円弧長を L_{rx} とし、レチクル上での円弧状のイメージフィールドの幅を L_{ry} とするとき、このレチクル上での円弧状のイメージフィールドをカバーできる長方形状の照明領域 $IA(L_x \times L_y)$ を形成することが必要となる。

20

【0011】

そこで、前述のように、フライアイレンズ5を構成するレンズ要素5aの入射面でのレンズ断面形状はレチクル7上での照明領域の形状を決定する事から、フライアイレンズ5を構成する複数のレンズ要素5aの断面形状を、図15の(a)に示す長方形状の照明領域 $IA(L_x \times L_y)$ と相似となるように構成すれば、比較的高い照明効率が確保できる。なお、この時のフライアイレンズ5の断面形状を図16に示している。

【0012】

また、レチクル上のパターンをウエハ上に投影する投影光学系のイメージフィールドが長方形状となる場合、この長方形状のイメージフィールドに対応する照明領域を形成するには、例えば、図15の(b)に示す如く、レチクル上または照明光学装置中のレチクルと共役な位置には長方形状のイメージフィールドに対応する大きさの開口 a_{IF} を持つ視野絞り FS を設けることが考えられる。

30

【0013】

しかしながら、この場合にも、図14による照明装置によってレチクル上には正方形状の大きな照明領域が形成されているため、長方形状のイメージフィールドに対応する大きさの開口 a_{IF} を持つ視野絞り FS を単にレチクル上に設けるだけでは、大幅な光量損失を招く。このため、高い照明効率を確保するためには、図15の(b)に示す如く、このレチクル上での長方形状のイメージフィールドとほぼ等しい長方形状の照明領域 $IA(L_x \times L_y)$ を形成することが必要となる。

40

【0014】

従って、フライアイレンズ5を構成する複数のレンズ要素5aの断面形状を、図15の(b)に示す長方形状の照明領域 $IA(L_x \times L_y)$ と相似となるように構成すれば、比較的高い照明効率が確保できる。なお、この時のフライアイレンズ5の断面形状を図16に示している。

以上のように、被照明物体としてのレチクル上に形成すべき照明領域の形状に対応させて、フライアイレンズ5を構成する複数のレンズ要素5aの断面形状を決定すれば、比較的高い照明効率を確保することが可能となる。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】

50

スキャン方式の投影露光装置用の照明光学装置におけるフライアイレンズ5は、図15の如く、長手方向での長さ l_x と短手方向での長さ l_y を持つレンズ素子の集合体で構成し、長方形状(スリット状)の照明領域を形成したとしても、照明効率が大幅に低下するという問題を招く恐れがある。

【0016】

この事を図14及び図17に基づいて説明する。まず、図14に示す如く、楕円鏡2により第2焦点22に形成される水銀ランプの像の直径を L_0 、コリメータレンズ3の焦点距離を f_c とする。前述した如く、このフライアイレンズ5を構成するレンズ要素5aは、入射側レンズ面と射出側レンズ面とが双方のレンズ面の焦点位置となるように構成されているため、フライアイレンズ5中の各レンズ要素5aの射出面には直径 L_0' の光源像が形成される。このとき、水銀ランプの像とフライアイレンズ5中の各レンズ要素5aの射出面に形成される光源像 L_0' との間には以下の関係が成立する。

【0017】

【数2】

$$(3) \quad L_0' = (f_e / f_c) L_0$$

ここで、フライアイレンズ5を構成する各レンズ素子の短手方向での長さ l_y と、フライアイレンズ5を構成する各レンズ素子の射出側に形成される光源像の直径との関係が、

【0018】

【数3】

$$(4) \quad l_y < L_0'$$

となる場合には、図17に示す如く、斜線部に相当する部分の光束がフライアイレンズ5の各レンズ要素5aの側面(内面)を照射することとなり、斜線部での光束は照明光として全く利用されずに照明効率が著しく低下する。

【0019】

ところで、投影露光装置用の照明光学装置では、レチクル(又はウエハ等の基板)上の照明領域の形状と共に照明光学装置の開口数 NA_i (以下、照明開口数 NA_i と称する。)が重要な仕様として与えられる。そして、照明開口数 NA_i と投影光学系の開口数との比が一般に値、所謂コヒーレンス・ファクターと呼ばれる量で、ウエハ等の基板上での空間コヒーレンスを決定し、投影光学系の解像力及び忠実度等に大きく影響を与える。この照明開口数 NA_i の決定は、上述の構成をとる照明光学系の場合、図14に示す如く、フライアイレンズ5の射出面に形成される多数の光源像の集まりを面光源(2次光源)と見なし、その位置に配置される開口絞りASの開口径Dにより決定され、コンデンサーレンズ6の焦点距離を f_{con} とすると、以下の関係が成立する。

【0020】

【数4】

$$(5) \quad NA_i = D / (2 f_{con})$$

また、コリメータレンズ3により変換される平行光束(コリメート光)の直径は、ほぼ開口絞りASの開口径Dに一致するようにとり、全光束を有効に利用することが望まれる。このため、楕円鏡の第2焦点22に形成される光源像の最大発散角を α_{max} とすると、以下の関係が成立する。

【0021】

【数5】

$$(6) \quad f_c = D / (2 \sin \alpha_{max})$$

また、投影露光装置用の照明光学装置におけるフライアイレンズ5は、図16の如く、長手方向での長さ l_x と短手方向での長さ l_y を持つレンズ素子の集合体で構成される場合、被照明物体としてのレチクル上に形成される長方形状の照明領域の短手方向での長さ L_y と、フライアイレンズ5を構成するレンズ素子の短手方向での長さ l_y との間には、前述した(2)式の関係が成立する。

【0022】

従って、上記(2)式、(3)式、(5)式及び(6)式より以下の関係が導出される。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 3 】

【 数 6 】

$$(7) \quad l_y / L_0' = (L_y \cdot NA_i) / (L_0 \cdot \sin \max)$$

この(7)式より、被照明物体としてのレチクル上に形成される長方形の照明領域の短手方向での長さ L_y 及び照明開口数 NA_i が照明光学系の仕様として与えられれば、照明効率は楕円鏡によって形成される水銀ランプの像の直径 L_0 とこの水銀ランプの像から発する光の最大発散角 \max との積、即ち $L_0 \times \sin \max$ によってのみ決定され、途中の光学系によらないことが理解される。

【 0 0 2 4 】

ここで、高い照明効率を維持するためには、上式(4)より、以下の関係を満足すること 10
が望まれる。

【 0 0 2 5 】

【 数 7 】

$$(8) \quad l_y / L_0' = 1$$

今、この(8)式を満足させるために、フライアイレンズ5の各レンズ素子の射出側に形成される光源像の径 L_0' を小さくする、即ち $L_0 \times \sin \max$ の値を小さくする手法として、水銀ランプによるアークそのものを小さくする事が考えられる。この場合、水銀ランプ中での対向する電極の間隔を小さくすることでアーク自体を小さくすることができる。しかしながら、投影光学系の色収差補正が可能な露光波長の輝線幅を保ったまま電極の間隔を小さくしようとする、同じ入力電力に対し電流量が大幅に増加することと 20
なるため、この種の露光装置用光源として十分な信頼性と安定性を確保した設計が困難となり、また入力電力に対する発光効率も低下する。

【 0 0 2 6 】

そこで、本発明は上記の問題を全て解消し、スリット状の如き長方形の照明領域、或いは円弧状の照明領域を極めて高い照明効率のもとで形成できる照明光学装置を提供することを目的としている。

【 0 0 2 7 】

【 課題を解決するための手段 】

上記の目的を達成するために、本発明は、光束を供給する光源系と、該光源系からの光束に基づいて複数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 30
テグレータからの複数の光束をそれぞれ集光して被照明面を長方形または円弧状に重畳的に照明するコンデンサー光学系とを有し、

前記オプティカルインテグレータは、光源側から順に、長方形のレンズ断面を有する複数の第1レンズ素子が第1方向に沿って列状に配列された第1レンズ素子群を該第1方向と直交する第2方向に沿って複数配列して構成される第1レンズ群と、所定形状(正方形又は長方形等の矩形状)のレンズ断面を有する複数の第2レンズ素子が前記第2方向に沿って列状に配列された第2レンズ素子群を前記第1方向に沿って複数配列して構成される第2レンズ群とを有し、

前記第2レンズ群を構成する各第2レンズ素子は、前記第1レンズ群を構成する各第1レンズ素子に対して各々一対一に対応して配置され、 40

前記第1レンズ素子のレンズ断面の前記第1方向での長さを l_{x1} とし、前記第1レンズ素子のレンズ断面の前記第2方向での長さを l_{y1} 、自然数を m 、前記第2方向に沿って第 k 番目に配列された第1レンズ素子群と、該第 k 番目に配列された第1レンズ素子群に対して隣接する位置に設けられた第 $k+1$ 番目または第 $k-1$ 番目に配列された第1レンズ素子群と、の第1方向に沿ったずれ量を l_{x1} 、前記第2レンズ素子のレンズ断面の前記第1方向での長さを l_{x2} とし、前記第2レンズ素子のレンズ断面の前記第2方向での長さを l_{y2} とするとき、以下の条件を満足するように構成したものである。

【 0 0 2 8 】

$$l_{x1} / l_{y1} = a, \quad a > 2$$

$$l_{x1} = a l_{y1} / m, \quad m \geq 2$$

$$l_{x2} / l_{y2} = a / m^2$$

$$(4a + 1)^{0.5} / 2 - 0.5 \quad m \quad (4a + 1)^{0.5} / 2 + 0.5$$

なお、本発明で言う正方形とは、互いに隣接した各辺の長さが等しくなる形状であるものと定義し、また本発明で言う長方形とは、互いに隣接した各辺の長さが異なる形状であるものと定義する。

【0029】

【作用】

照明光学装置における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は、各レンズ要素の入射側が被照射面と共役であり、その形状は仕様として与えられるスリット状の如き長方形の被照射面と幾何学的に相似となる。フライアイレンズ中のレンズ要素は、
10
上述した如く、入射側のレンズ面と射出側のレンズ面とが互いに相手のレンズ面の焦点位置の関係にあるような厚肉レンズで構成されているため、それらの厚肉レンズを束ねてフライアイレンズとする場合は、必然的に射出側レンズ面の断面形状と入射側レンズ面の断面形状とが同じとなり、上述したような照明効率の低下を招く。

【0030】

本来、フライアイレンズ中の各レンズ要素の射出側のレンズ面の断面形状は被照射面の形状とは無関係であり、むしろ光源形状により最適な形状に決定されなければならない。従って、

(I) フライアイレンズ中の入射側の各レンズ要素の断面形状は、被照射面と相似な形状である
20

(II) フライアイレンズ中の射出側の各レンズ要素の断面形状は、円形状の光束または円形状の光源像を通過させ得る形状である

(III) フライアイレンズ中の入射側の各レンズ要素及び射出側の各レンズ要素は

ともに平面的(2次元)に隙間無く配置できる形状(例えば、正三角形、正四角形、正六角形)である

(IV) フライアイレンズ中の入射側の各レンズ要素及び射出側の各レンズ要素がそれぞれ同軸であり、それぞれが一対一に対応する

という条件を満足するフライアイレンズを構成すれば良い。

【0031】

従って、本発明は、上記(I)~(IV)の条件を満足するために、オプティカルインテ
30
グレータとしての複数のレンズ素子の集合体で構成されるフライアイレンズを入射側の第1レンズ群と射出側の第2のレンズ群とに2分割し、入射側の第1レンズ群中の各レンズ素子の断面形状を形成すべき長方形の照明領域と相似な形状とすると共に、射出側の第2レンズ群中の各レンズ素子の断面形状をある大きさを持つ円形状の光束又はある大きさを持つ円形状の光源像を通過させる形状とし、各レンズ群中の各レンズ素子の配置構成を最適化したものである。これによって、本発明は、上記(8)式の関係を満足させて高い照明効率を実現しつつ、スキャン方式の投影露光装置用の照明光学装置において要求されるスリット状の如き長方形の照明領域、或いは円弧状の照明領域の形成を可能としたものである。

【0032】

そこで、本発明の原理について図11及び図12を参照しながら説明する。本発明は、図
40
11に示す如く、フライアイレンズは、第1レンズ群中の第1レンズ素子510とこれと対向して対応する第2レンズ群中の第2レンズ素子520との各光軸が一致するように構成されている。そして、入射側の第1レンズ群中の第1レンズ素子510のレンズ断面形状を照射領域の形状と相似となるような形状とし、射出側の第2レンズ群中の第2レンズ素子520のレンズ断面形状を円形状の光束または円形状の光源像Iaを通過させ得るような形状として、各レンズ群のレンズ素子のレンズ断面形状を異ならせしめている。

【0033】

第1レンズ群中の第1レンズ素子510と第2レンズ群中の第2レンズ素子520をそれぞれ隙間なく配置した時の様子を図12に示している。
50

図12は、本発明による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光源側から見た時の様子を示す図であり、図12において、入射側の第1レンズ群を構成する各第1レンズ要素510を実線で示し、射出側の第2レンズ群520を構成する第2レンズ要素を点線で示している。

【0034】

図12に示す如く、照明光学装置の仕様より決定される入射側の第1レンズ群中の第1レンズ要素510の断面形状は、互いに直交した方向での辺の長さが異なるスリット状となる長方形で構成され、この第1レンズ群は、X方向(第1方向)に沿って第1レンズ素子510が複数配列された第1レンズ素子群(51(k-1) ~ 51(K+2))をY方向(第2方向)に沿って複数配置されている。そして、Y方向に沿って複数配置された第1レンズ素子群(51(k-1) ~ 51(K+2))は、X方向に沿って交互に所定量ずれて配置されている。但し、kは2以上の自然数である。

10

【0035】

今、この第1レンズ要素510の断面の長手方向の長さを l_{x1} 、第1レンズ要素510の断面の短手方向の長さを l_{y1} 、自然数をm、Y方向に沿って第k番目に配置された第1レンズ素子群51(k)と、この第1レンズ素子群51(k)に対して隣接した位置に配置されかつY方向に沿って第k-1番目又は第k+1番目に配置された第1レンズ素子群(51(k-1), 51(K+1))と、のX方向に沿ったずれ量を l_{x1} とすると、以下の関係が成立する。

【0036】

【数8】

$$(9) \quad l_{x1} / l_{y1} = a, a > 1$$

$$(10) \quad l_{x1} = l_{y1} / m = l_{y1} \times (a/m)$$

また、射出側の第2レンズ群中の第2レンズ要素520の断面形状は矩形(正方形又は長方形)で構成され、この第2レンズ群は、Y方向に沿って第2レンズ素子520が複数配列された第2レンズ素子群(52(i-1) ~ 52(i+2))をY方向に沿って複数配置されている。そして、X方向に沿って複数配置された第2レンズ素子群(52(i-1) ~ 52(i+2))は、Y方向に沿って交互に所定量ずれて配置されている。但し、iは2以上の自然数である。

20

【0037】

このとき、第2レンズ群を構成する各第2レンズ素子520と第1レンズ群を構成する各第1レンズ素子510とはそれぞれ各々一対一に対応して配置されている。

第2レンズ群を構成する各第2レンズ素子520と第1レンズ群を構成する各第1レンズ素子510との関係について見ると、まず、図12に示す如く、Y方向で隣合った2つの第1レンズ要素510の光軸間のX方向でのずれ量 l_{x1} は、第1レンズ要素510のX方向での長さ l_{x1} (= $l_{y1} \times a$)を1ピッチとした時には、 $1/m$ ピッチとなる。

30

【0038】

今、第2レンズ群を構成する各第2レンズ要素520の断面のX方向の長さを l_{x2} 、第2レンズ群を構成する各第2レンズ要素520の断面のY方向の長さを l_{y2} とすると、図12から明らかな如く、第2レンズ素子520の断面形状は、第1レンズ要素510をX方向でm分割したm個のものをY方向に沿って配列した形状となっている。

40

【0039】

従って、第2レンズ群を構成する各第2レンズ要素520の断面のX方向の長さを l_{x2} 、第2レンズ群を構成する各第2レンズ要素520の断面のY方向の長さを l_{y2} とすると、第1レンズ群中の第1レンズ要素510と第2レンズ群中の第2レンズ要素520との間には、以下の関係が成立する。

【0040】

【数9】

$$(11) \quad l_{x2} = l_{x1} = l_{y1} \times (a/m)$$

50

$$(12) \quad l y_2 = l y_1 \times m$$

このため、上記(11)式及び(12)式より、以下の関係が導出される。

【0041】

【数10】

$$(13) \quad l x_2 / l y_2 = a / m^2$$

従って、上記(13)式より、 $a / m^2 = 1$ 、即ち $a = m^2$ ($a = 1, 4, 9, 16, 25, \dots$) 又は $m = (a)^{0.5}$ (但し、 m は自然数)の時には、第2レンズ群中の各第2レンズ要素520の断面は、互いに直交した方向での辺の長さが等しい正方形形状($l x_2 = l y_2$)となり、この場合、第2レンズ要素520は円形状の光束または円形状の光源像を最も効率良くを通過させることが可能となる。

10

【0042】

これに対して、 a の値が上記以外の実数値(但し、 $a > 1$)をとる場合には第2レンズ要素520のレンズ断面は正方形から若干外れた形状となるが、本発明の目的を実現できる最適な範囲について具体的に説明する。

まず、上記(13)式より、第2レンズ要素520の断面を正方形形状($l x_2 = l y_2$)とするには、 $a = 9$ の時には $m = 3$ となり、 $a = 16$ の時には $m = 4$ となる。

【0043】

しかしながら、 a の値が $9 < a < 16$ の範囲にある時には、 m の値は3又は4の何れかの値をとれば良い事となるが、 m をどの値にすれば良いか検討する。

今、 a の値が $9 < a < 16$ の範囲にある時について考えると、 a の値が9に近い場合に $m = 3$ とすれば、第2レンズ群中の各第2レンズ要素520の断面形状は正方形に限りなく近くなるものの、 a の値が16の値に近い場合に $m = 3$ とすれば、第2レンズ群中の各第2レンズ要素520の断面形状は正方形から長方形に近くなる。例えば、 $a = 10$ 、 $m = 3$ とすると、上記(13)式より、 $l x_2 / l y_2 = 10 / 9$ 、即ち縦横比が10:9となり、第2レンズ群中の各第2レンズ要素520の断面形状は正方形に限りなく近いが、 $a = 15$ 、 $m = 3$ とすると、上記(13)式より、 $l x_2 / l y_2 = 15 / 9$ 、即ち縦横比が15:9となり、第2レンズ群中の各第2レンズ要素520の断面形状は正方形から遠くなる。

20

【0044】

一方、 a の値が16に近い場合に $m = 4$ とすれば、第2レンズ群中の各第2レンズ要素520の断面形状は正方形に限りなく近くなるものの、 a の値が9の値に近い場合に $m = 4$ とすれば、第2レンズ群中の各第2レンズ要素520の断面形状は正方形から長方形に近くなる。例えば、 $a = 15$ 、 $m = 4$ とすると、上記(13)式より、 $l x_2 / l y_2 = 15 / 16$ 、即ち縦横比が15:16となり、第2レンズ群中の各第2レンズ要素520の断面形状は正方形に限りなく近いが、 $a = 10$ 、 $m = 4$ とすると、上記(13)式より、 $l x_2 / l y_2 = 10 / 16$ 、即ち縦横比が5:8となり、第2レンズ群中の各第2レンズ要素520の断面形状は正方形から遠くなる。

30

【0045】

従って、 m の値を3又は4の何れかの値にするかの境界となる a の値は、 $m = 3$ とした時の第2レンズ要素520の断面形状と $m = 4$ とした時の第2レンズ要素520の断面形状とが相似となるように、 $m = 3$ とした時の第2レンズ要素520の断面形状の縦横比と $m = 4$ とした時の第2レンズ要素520の断面形状の縦横比とが逆数の関係となる時の値となる。

40

【0046】

このため、 a の値が $9 < a < 16$ の範囲の場合には、 $a = 12$ 、 $m = 3$ の時、上記(13)式より、 $l x_2 / l y_2 = 12 / 9$ 、即ち縦横比が4:3となり、また、 $a = 12$ 、 $m = 4$ の時、上記(13)式より、 $l x_2 / l y_2 = 12 / 16$ 、即ち縦横比が3:4となる事から、 m の値を決定する上での a の値の境界(以下、境界値と称する。)は、 $a = 12$ となる。よって、 $9 < a < 12$ の時には $m = 3$ となり、 $12 < a < 16$ の時には $m = 4$ となり、この場合には、第2レンズ要素520の断面形状を正方形に近くする事

50

ができる。

【0047】

そこで、以上の場合の一般的な関係を導出する。今、自然数 $m = 1, 2, 3 \dots M - 1, M, M + 1 \dots$ とし、まず、 $M - 1$ と M との間の境界値 a 及び M と $M + 1$ との間の境界値 a とを求める。

$M - 1$ と M との間の境界値 a は $m = M - 1$ とした時の第2レンズ要素520の断面形状の縦横比と $m = M$ とした時の第2レンズ要素520の断面形状の縦横比とが逆数の関係となる時の値であるため、上記(13)式より以下の関係が成立する。

【0048】

【数11】

$$(14) \quad a / (M - 1)^2 = M^2 / a$$

よって、この(14)式は最終的に以下の如くなる。

【0049】

【数12】

$$(15) \quad a = (M - 1) M$$

また、 M と $M + 1$ との間の境界値 a は $m = M$ とした時の第2レンズ要素520の断面形状の縦横比と $m = M + 1$ とした時の第2レンズ要素520の断面形状の縦横比とが逆数の関係となる時の値であるため、上記(13)式より以下の関係が成立する。

【0050】

【数13】

$$(16) \quad a / M^2 = (M + 1)^2 / a$$

よって、この(16)式は最終的に以下の如くなる。

【0051】

【数14】

$$(17) \quad a = M (M + 1)$$

従って、自然数 M の値を基準とした時、 a の値のとり得る範囲は上記(15)式及び(17)式より以下の如くなる。

【0052】

【数15】

$$(18) \quad (M - 1) M \leq a \leq M (M + 1)$$

よって、自然数 M のとり得る範囲は、上記(18)式より、以下の如き範囲となる。

【0053】

【数16】

$$(19) \quad (4a + 1)^{0.5} / 2 - 0.5 \leq M \leq (4a + 1)^{0.5} / 2 + 0.5$$

そして、自然数 M を自然数 m に置き換えると、上式(19)は最終的に、以下の如くなる。

【0054】

【数17】

$$(20) \quad (4a + 1)^{0.5} / 2 - 0.5 \leq m \leq (4a + 1)^{0.5} / 2 + 0.5$$

してみれば、上記(20)式は、第2レンズ要素520の断面形状が正方形となる a の値 ($a = 1, 4, 9, 16, 25 \dots$) を含んでいるため、 a の値を任意の実数値とした場合での一般式であることが理解できる。

【0055】

ここで、上記(20)式は、第1レンズ群中の各第1レンズ要素510の断面と第2レンズ群中の各第2レンズ要素520の断面とは互いに相似な形状となり、照明効率の問題を解消できない場合を含んでいるため、さらに、最適な範囲について検討する。

上記(9)式及び(13)式から明らかな如く、 $m = 1$ の時には、第1レンズ群中の各第1レンズ要素510の断面と第2レンズ群中の各第2レンズ要素520の断面とは互いに相似な形状となり、本発明の目的を達成することができない。従って、第1レンズ要素510の断面と第2レンズ要素520の断面とが相似とならないためには、

10

20

30

40

50

【0056】

【数18】

$$(21) \quad m \geq 2$$

となれば良いことが理解できる。

また、 $m = 1$ とならないための a の値の範囲について検討すると、上記(20)に $m = 1$ を代入すると、以下の如くなる。

【0057】

【数19】

$$(22) \quad (4a + 1)^{0.5} / 2 - 0.5 \leq 1$$

$$(23) \quad 1 \leq (4a + 1)^{0.5} / 2 + 0.5$$

上記(22)式及び(23)式より、 a の値の範囲は、それぞれ以下の如くなる。

【0058】

【数20】

$$(24) \quad a \geq 2$$

$$(25) \quad a \geq 0$$

従って、 a は上式(9)より1以上の実数値であるため、 $m = 1$ とならないための a の値の範囲は、上記(24)式より、

【0059】

【数21】

$$(26) \quad a > 2$$

となる。

以上の事から、本発明を目的を達成するためには、上記(9)式、(10)式、(13)式、(20)式、(21)式及び(26)式より、第1レンズ群と第2レンズ群とは以下の条件を満足することが良いことが理解できる。

【0060】

【数22】

$$(27) \quad l_{x1} / l_{y1} = a, a > 2$$

$$(28) \quad l_{x1} = l_{x1} / m = l_{y1} \times (a / m), m \geq 2$$

$$(29) \quad l_{x2} / l_{y2} = a / m^2$$

$$(30) \quad (4a + 1)^{0.5} / 2 - 0.5 \leq m \leq (4a + 1)^{0.5} / 2 + 0.5$$

従って、これらの(27)式～(30)式を同時に満足すれば、第2レンズを構成する第2レンズ素子の縦横比は、 $1/2 < l_{x2} / l_{y2} \leq 3/2$ の範囲をとり、 $l_{x2} / l_{y2} = 1$ の時(正方形の時)に最も照明効率が高くなるという理想的な状態から若干ずれているが、 $1/2 < l_{x2} / l_{y2} \leq 3/2$ の範囲をとれば、従来のもよりも格段に高い照明効率が達成でき、実質的に本発明の目的を十分に実現することができる。さらに、より十分なる高い照明効率を実現するためには、第2レンズを構成する第2レンズ素子の断面形状は、 $2/3 \leq l_{x2} / l_{y2} \leq 3/2$ の範囲を満足する縦横比を持つ矩形(長方形又は正方形)とすることがより好ましい。

【0061】

なお、図12に示した如く、X方向(第1方向)に沿って第*i*番目に配置された第2レンズ素子群52(i)と、この第*i*番目に配列された第2レンズ素子群52(i)に対して隣接する位置に設けられた第*i*+1番目または第*i*-1番目に配列された第2レンズ素子群(52(i-1), 52(i+1))と、のY方向(第2方向)に沿ったずれ量を l_{y2} とするとき、上記(9)式、(10)式及び(13)式を満足すれば、図12からも明らかな如く、必然的に以下の関係が成立する。

【0062】

【数23】

$$(31) \quad l_{y2} = l_{y2} / m$$

【0063】

【実施例】

10

20

30

40

50

図1は本発明の照明光学装置を走査型投影露光装置に応用した時の照明装置全体の概略的な構成を示している。図1には、図13と共通する部材に同じ符号を付してある。

図1に示す如く、集光鏡としての楕円鏡2の第1焦点21には光源としての水銀ランプ1が配置され、この水銀ランプ1からの光束が楕円鏡の第2焦点22に集光される。この第2焦点22からの発散光束は、前側焦点位置が第2焦点22と一致するように配置されたコリメート光学系としてのコリメータレンズ3により平行光束に変換された後、バンドパスフィルター4を介することにより、所定の露光波長(例えば436nmのg線又は365nmのi線等)の光が選択される。その後、この所定の露光波長の光は、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50に入射する。このフライアイレンズ50は、光源側から順に、第1レンズ素子510の集合体で構成される光源側の第1レンズ群51とその各第1レンズ素子510に対して一対一となるようにそれぞれ対応して配置された第2レンズ素子520の集合体で構成される射出側の第2レンズ群52とで構成されている。

【0064】

この第1レンズ素子510は、光源側に凸面を向けかつ直交した方向で等しい屈折力を持つ平凸レンズで構成され、第1レンズ素子510のレンズ断面は後述する照明領域IAと相似な長方形状(スリット状)を有している。

また、第2レンズ素子520は、射出側(照明面側)に凸面を向けかつ直交した方向で等しい屈折力を持つ平凸レンズで構成され、第2レンズ素子520のレンズ断面は円形状の光束又は円形状の光源像を効率良く通過させるために正形状を有している。

【0065】

そして、互いに対向してそれぞれ一対一に対応する第1レンズ素子510の光軸と第2レンズ素子520の光軸とは互いに一致しており、各レンズ素子の光軸はコリメータレンズ3の光軸Axと平行となっている。

次に、図2を参照しながらフライアイレンズ50の構成をより詳細に説明する。図2にはフライアイレンズ50の様子を示す斜示図を示している。図2に示す如く、光源側の第1レンズ群51は、X方向に沿って第1レンズ素子510が複数配列された第1レンズ素子群(51(1)~51(19))をY方向(X方向に対し垂直な方向)に沿って19列配置された構成を有している。そして、Y方向に沿って19列配置された第1レンズ素子群(51(1)~51(19))は、X方向に沿って交互に所定量ずれて配置されているため、隣合った第1レンズ素子群の各レンズ素子510の光軸がX方向に沿って所定量ずれている。

【0066】

一方、射出側の第2レンズ群52は、Y方向に沿って第1レンズ素子510が複数配列された第1レンズ素子群(52(1)~52(9))をX方向(Y方向に対し垂直な方向)に沿って9列配置された構成を有している。そして、X方向に沿って9列配置された第2レンズ素子群(52(1)~52(9))は、Y方向に沿って交互に所定量ずれて配置されているため、隣合った第1レンズ素子群の各レンズ素子510の光軸がX方向に沿って所定量ずれている。

【0067】

なお、第1レンズ群中のレンズ素子510の数と第2レンズ群中のレンズ素子520の数とは等しい。

以上の図2に示す如き各レンズ群の配置構成によって、コリメータレンズ3からの平行光束は、第1レンズ群51の各第1レンズ要素510を通過してそれぞれ集光作用を受けた後、各第1レンズ要素510に対してそれぞれ一対一に対応する第2レンズ群52の各第2レンズ素子520によってそれぞれ結像される。この結果、図1に示す如く、第2レンズ群52の各第2レンズ素子520の射出面上には、その第2レンズ素子520の数に等しい数でかつある大きさを持つ光源像Ia(2次光源)が形成され、ここには、実質的に面光源が形成される。

【0068】

なお、各第2レンズ素子520の射出側において、ある大きさを持つ光源像Iaが形成される理由は、ある大きさを持つ水銀ランプの像が形成される楕円鏡の第2焦点位置22と第2レンズ素子520の射出側に光源像Laが形成される位置とが、コリメータレンズ3とフライアイレンズ50とに関して共役となっているためである。また、フライアイレンズ50により形成される複数の2次光源位置には、この複数の2次光源の大きさを規定するための円形状の開口を持つ開口絞りASが設けられている。

【0069】

図1に戻って説明すると、フライアイレンズ50の作用によって、フライアイレンズ50の射出側に形成された複数の光源像Ia（第2レンズ群中の第2レンズ素子520の数に相当する数の光源像）の中心から発散する光束は、コンデンサー光学系としてのコンデンサーレンズ6の集光作用によって平行光束に変換され、所定の回路パターンが形成されたレチクルRを重畳するように均一に照明する。このとき、レチクルR上には長方形（スリット状）の照明領域IAが形成されており、この照明領域IAの短手方向は図1の紙面方向（Y方向）であり、照明領域IAの長手方向は図1の紙面と垂直な方向（X方向）である。

10

【0070】

この様に、レチクルRは照明領域IAによって長方形（スリット状）に照明され、レジストが塗布されたウエハW上には、照明された箇所のレチクルRのパターンが両側テレセントリックな投影光学系PL（投影レンズ）を介して投影露光される。

なお、フライアイレンズ50の第1レンズ群51の入射面は被照射面としてのレチクルRと共役である。また、フライアイレンズ50の第2レンズ群52の射出面は投影光学系PLの瞳EPと共役であり、この瞳EPの面上にはフライアイレンズ50による複数の2次光源像が形成されるため、ウエハWはケーラー照明される。

20

【0071】

次に、図3を参照しながら本実施例の走査型投影露光装置における投影装置部分について説明する。

図3には、投影露光装置の投影装置部分の様子を示す斜示図を示している。

図3に示す如く、レチクルRは不図示のレチクルステージによって保持され、矢印に示す方向に移動可能に設けられており、また、ウエハWは不図示のウエハステージによって保持され、レチクルが移動する方向とは逆方向である矢印に示す方向に移動可能に設けられている。そして、レチクルR及びウエハWは、不図示の各ステージによって、投影光学系としての投影レンズPLに関して共役となる関係で保持されている。

30

【0072】

さて、図1に示した照明装置によってレチクルR上には、図3に示す如く、長形状（スリット状）の照明領域IAが形成され、ウエハW上には投影レンズPLによって所定の倍率（例えば、1/10倍、1/5倍等）に縮小された照明領域IA'が形成される。このため、レジストが塗布されたウエハW上には、照明された領域IAでのレチクルRのパターンが投影レンズPLを介して投影露光される。

【0073】

そして、不図示のレチクルステージを介してレチクルRと不図示のウエハステージを介してウエハWを反対方向へ移動させる事により、ウエハW上の1ショット領域SA上には、レチクルRの有効露光領域PA全体の回路パターンが転写される。

40

なお、レチクルRの露光領域PAの周辺部には、帯状のレチクルマークRMa、RMbが形成されており、ウエハの各ショット領域SAには、帯状のウエハマークWMa、WMbが形成されている。そして、一方のレチクルマークRMaとウエハマークWMaは、光軸Ax aを持つ不図示の第1アライメント系にて検出され、他方のレチクルマークRMbとウエハマークWMbは、光軸Ax bを持つ不図示の第2アライメント系にて検出されて、レチクルRとウエハWとが常に正確にアライメントされる。

【0074】

次に、図2にて説明した本実施例のフライアイレンズ50の具体的な配列について図4に

50

基づいて説明する。図4は、入射側の第1レンズ群51の第1レンズ素子510の縦横比を1:4とした場合にフライアイレンズ50を光源側から見た時の様子を示す平面図であり、図4において、入射側の第1レンズ群51を構成する各第1レンズ要素510を実線で示し、射出側の第2レンズ群52を構成する第2レンズ要素520を点線で示している。

【0075】

図4に示す如く、X方向に沿って複数の第1レンズ素子510が列状に配置された第1レンズ素子群51(k)と、この第1レンズ素子群51(k)に対して隣接した位置に配置されかつX方向に沿って複数の第1レンズ素子510が列状に配置された第1レンズ素子群(52(k-1), 52(k+1))とのX方向に沿ったずれ量 l_{x1} は $2l_{y1}$ である。 10

【0076】

一方、第2レンズ群52の各第2レンズ素子520では、X方向のレンズ断面の長さ l_{x2} は $2l_{y1}$ 、Y方向のレンズ断面の長さ l_{y2} は $2l_{y1}$ であるため、各第2レンズ素子520のレンズ断面形状は正方形で構成されている。このとき、Y方向に沿って複数配列された第2レンズ素子520からなる第2レンズ素子群52(k)と、この第2レンズ素子群52(k)に対して隣接した位置に配置された第2レンズ素子群(52(k-1), 52(k+1))とのY方向に沿ったずれ量 l_{x1} は $2l_{y1}$ ($=l_{y2}/2$) である。

【0077】

従って、図4から明らかな如く、本実施例では、フライアイレンズ50中の入射側第1レンズ群51のレンズ素子510が1:4の縦横比を持つ長形状であるにもかかわらず、フライアイレンズ50中の射出側第2レンズ群52の各レンズ素子520のレンズ断面形状は正方形とすることができるため、射出側第2レンズ群52の各レンズ素子520では光量が損失されることなく、極めて高い照明効率のもとで、フライアイレンズ50によってある大きさを持つ複数の2次光源を形成することができる。 20

【0078】

なお、以上の実施例においては、射出側の第2レンズ群52の各レンズ素子520のレンズ断面形状を完全な正方形とした例を示したが、これに限ることなく、各レンズ素子520の断面形状の縦横比が、 $1/2 < l_{x2} / l_{y2} < 3/2$ となる長形状としても、本発明の効果を十分に達成できることは言うまでもない。また、以上の実施例においては、フライアイレンズ50を照明光学系中に1つ配置した例を説明したが、フライアイレンズ50を照明光学系中に直列的に複数配置しても良い。例えば、本発明の図1に示すバンドパスフィルター4とフライアイレンズ50との光路間に、特開昭58-147708号公報の第2図に示されている如く、レンズ断面が正方形または六角形等の従来のフライアイレンズ4(第1オプティカルインテグレータ)及びリレーレンズ系(5,10)を配置して、本発明の図1に示すフライアイレンズ50を第2オプティカルインテグレータとしても良く、さらには、特開昭58-147708号公報の第2図に示されているオプティカルインテグレータ(4,11)を本発明の図1に示すフライアイレンズ50に置き換えても良い。これにより、この2つのオプティカルインテグレータによる構成によって、第2番目のオプティカルインテグレータには第1番目のオプティカルインテグレータにより均一な光束が入射し、第2番目のオプティカルインテグレータによってより均一な光束が被照明物体を照明することとなる。しかも、本発明の図1に示す如く、1つのオプティカルインテグレータ50に対して不均一な照度分布を持つ光束が入射した場合には、開口絞りASにより規定される照明系の実効的な開口数が増加するという恐れがあるが、2つのオプティカルインテグレータを含む構成とすれば、第1番目のオプティカルインテグレータに不均一な照度分布を持つ光束が入射したとしても、第2番目のオプティカルインテグレータには第1番目のオプティカルインテグレータの作用により均一な光束が入射するため、照明系の実効的な開口数が増加するという問題を解消することができる。 30 40

【0079】

次に、図2にて説明したフライアイレンズ50の具体的な構成の別の例について図5に基づいて説明する。図5は、入射側の第1レンズ群51の第1レンズ素子510の縦横比を1:9とした場合にフライアイレンズ50を光源側から見た時の様子を示す平面図であり、図5において、入射側の第1レンズ群51を構成する各第1レンズ要素510を実線で示し、射出側の第2レンズ群52を構成する第2レンズ要素520を点線で示している。

【0080】

図5に示す如く、X方向に沿って複数の第1レンズ素子510が列状に配置された第1レンズ素子群51(k)と、この第1レンズ素子群51(k)に対して隣接した位置に配置されかつX方向に沿って複数の第1レンズ素子510が列状に配置された第1レンズ素子群(52(k-1), 52(k+1))とのX方向に沿ったずれ量 l_{x1} は $3l_{y1}$ である。

10

【0081】

一方、第2レンズ群52の各第2レンズ素子520では、X方向のレンズ断面の長さ l_{x2} は $3l_{y1}$ 、Y方向のレンズ断面の長さ l_{y2} は $3l_{y1}$ であるため、各第2レンズ素子520のレンズ断面形状は正方形で構成されている。このとき、Y方向に沿って複数配列された第2レンズ素子520からなる第2レンズ素子群52(k)と、この第2レンズ素子群52(k)に対して隣接した位置に配置された第2レンズ素子群(52(k-1), 52(k+1))とのY方向に沿ったずれ量 l_{y1} は $3l_{y1}$ ($=l_{y2}/3$)である。

【0082】

20

従って、図4の場合と同様に、図5の例においても、フライアイレンズ50中の入射側第1レンズ群51のレンズ素子510が1:9の縦横比を持つ長方形形状であるにもかかわらず、フライアイレンズ50中の射出側第2レンズ群52の各レンズ素子520のレンズ断面形状は正方形とすることができるため、射出側第2レンズ群52の各レンズ素子520では光量が損失されることなく、極めて高い照明効率のもとで、フライアイレンズ50によってある大きさを持つ複数の2次光源を形成することができる。

【0083】

以上にて述べた実施例のフライアイレンズ50は、図2に示した如く、入射側の第1レンズ群51と射出側の第2レンズ群52とを分離して構成としているため、入射側の第1レンズ群51と射出側の第2レンズ群52との内の少なくとも一方を光軸Axの方向に沿って移動、光軸Axに垂直な面内で移動、あるいは光軸Axの回りに回転させることにより、入射側の第1レンズ群51の複数のレンズ要素510の各光軸と射出側の第2レンズ群52の複数のレンズ要素520の光軸とを厳密に調整することが可能となる。さらには、入射側の第1レンズ群51と射出側の第2レンズ群52との内の少なくとも一方を光軸Axの方向に沿って移動、光軸Axに垂直な面内で移動、あるいは光軸Axの回りに回転させることにより、被照射面(レチクルR、ウエハW)での照度調節、または被照射面(レチクルR、ウエハW)でのテレセントリック性の調節が可能となる。

30

【0084】

なお、以上にて述べた実施例のフライアイレンズ50を構成する第1及び第2レンズ群の各レンズ要素は、平凸レンズに限ることなく、少なくとも1面に屈折力を持つレンズで構成しても良く、さらには、両面に屈折力を持つレンズで構成することも可能である。以上においては、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50を入射側の第1レンズ群51と射出側の第2レンズ群52とを分離して構成した例について説明したが、これに限ることなく、例えば、図6及び図7に示す如く一体的に構成しても良い。

40

【0085】

図6には、図2に示した入射側の第1レンズ群51と射出側の第2レンズ群52との間に所定の厚さを d_{53} を有する硝子基板53を介在させて一体的に構成したフライアイレンズ50の様子を示している。このフライアイレンズ50は硝子基板53上の光源側の各レンズ要素とこれに対応する射出側の各レンズ要素との各光軸を厳密に一致させながら所定の形状をモールド法で形成されている。

50

【 0 0 8 6 】

ここで、光軸 A x 方向に沿った硝子基板 5 3 の厚さ d 5 3 は、フライアイレンズ 5 0 の焦点距離（第 1 レンズ群 5 1 と第 2 レンズ群との合成焦点距離）を f e とし、硝子基板 5 3 の屈折率を n 5 3 とするとき、以下の関係を満足するように構成されている。

【 0 0 8 7 】

【 数 2 4 】

$$(32) \quad d_{53} = n_{53} \times f_e$$

また、図 7 には、図 2 に示した入射側の第 1 レンズ群 5 1 と射出側の第 2 レンズ群 5 2 との間に所定の厚さを d 5 3 を有する硝子基板 5 3 を介在させてこれらを接着剤等で接合した例を示している。

以上の実施例では、被照射面上に長形状の照明領域 I A を形成する例を述べたが、次に、図 8 を参照しながら、被照射面上に円弧形状の照明領域 I A を形成する実施例について説明する。図 8 に示した走査型投影露光装置は、特願平 4 - 3 1 6 7 1 7 及び特願平 5 - 2 7 9 9 3 9 において提案した装置である。

【 0 0 8 8 】

図 8 において、(a) は本実施例の装置を真上から見た時の様子を示す図であり、(b) は(a) の装置を横から見た時の断面構成を示す図である。

図 8 に示す如く、被照射面としてのレチクル R の上方にはレチクル R を均一な円弧照明する照明光学系装置が設けられており、図 5 に示す如く、レチクル R の下方にはレチクル R のパターンをウエハ W 上に転写する投影光学系 P L が設けられている。

【 0 0 8 9 】

まず、光源部 1 0 からは露光のための平行光束が供給さる。図 8 には光源部 1 0 の構成を詳しく示していないが、この光源部 1 0 は、図 1 にて示した如く、水銀ランプ 1 とこの水銀ランプ 1 からの光束を集光する楕円鏡 2 とこの楕円鏡 2 からの発散光束を平行光束に変換するコリメータ光学系としてのコリメータレンズ 3 とから構成されている。光源部 1 0 からの平行光束は、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 5 0 に入射する。このフライアイレンズ 5 0 は図 2 において示した構成を有しており、このフライアイレンズ 5 0 の詳細な説明は省略する。

【 0 0 9 0 】

ここで、このフライアイレンズ 5 0 の入射側の第 1 レンズ群 5 1 を構成する各レンズ素子 5 1 0 の断面形状は、レンズ要素 5 1 0 の断面の長手方向（X 方向）の長さを l_{x_1} 、第 1 レンズ要素 5 1 0 の断面の短手方向（Y 方向）の長さを l_{y_1} 、後述するトーリック型反射鏡 4 0 によって形成される円弧状の照明領域（レチクル R 上での円弧状のイメージフィールド）I A の円弧長を L_{rx} とし、円弧状の照明領域（レチクル R 上での円弧状のイメージフィールド）I A の幅を L_{ry} とするとき、以下の関係を満足するように構成されている。

【 0 0 9 1 】

【 数 2 5 】

$$(33) \quad l_{x_1} / l_{y_1} = L_{rx} / L_{ry}$$

一例として、後述する円弧状の照明領域 I A の円弧の幅と円弧長との比が 1 : 1.6 であれば、フライアイレンズ 5 0 の入射側の第 1 レンズ群 5 1 を構成する各レンズ素子 5 1 0 の断面形状の縦横比は 1 : 1.6 となり、フライアイレンズ 5 0 の射出側の第 2 レンズ群 5 2 を構成する各レンズ素子 5 2 0 の断面形状の縦横比は 1 : 1 の正方形となる。

【 0 0 9 2 】

さて、フライアイレンズ 5 0 を通過した光束は、このフライアイレンズ 5 0 の射出側の位置 A₁ には、フライアイレンズ 5 0 のレンズ作用により、複数の光源像 I a が形成され、ここには、実質的に面光源としての 2 次光源が形成される。この 2 次光源が形成される位置 A₁ もしくはその近傍には、円形状の開口部を有する開口絞り A S が設けられており、これにより、オプティカルインテグレータ 2 により形成される 2 次光源は円形状にされる。

10

20

30

40

50

【0093】

開口絞りASにより円形状となった2次光源の各光源像からは各々光束が射出し、2次光源全体として見れば、図8(a)に示す如く、各射出角を持った平行光束が射出して再結像光学系300に入射する。

再結像光学系300は、フライアイレンズ50により形成された複数の光源像を再形成する機能を有し、この再結像光学系300の入射瞳がフライアイレンズ50により形成される光源像位置 A_1 と一致するように配置されている。

【0094】

この再結像光学系300は、正の屈折力の第1光学系30Aと正の屈折力の第2光学系30Bとで構成されており、第1光学系30Aは、両凸形状の正レンズ31A、両凹形状の負レンズ32A及び両凸形状の正レンズ33Aの3枚よりなる $f \sin$ レンズで構成され、第2光学系30Bは、両凸形状の正レンズ31B、両凹形状の負レンズ32B、両凸形状の正レンズ33B及び光源側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズ34Bの4枚よりなる f レンズで構成されている。

10

【0095】

ここで、第1光学系30Aは、第1光学系30Aの焦点距離を f_1 、2次光源からの入射光束の入射角を θ_1 、第1光学系30Aにより形成される像の像高を y とするとき、 $y = f_1 \sin \theta_1$ の関係を満足し、一方、第2光学系30Bは、第2光学系30Bの焦点距離を f_2 、第1光学系30Aにより形成される像の像高 y からの光束が第2光学系30Bを射出する射出光束の射出角 θ_2 とするとき、 $y = f_2 \theta_2$ の関係を満足する。

20

【0096】

以上の再結像光学系300の構成により、位置 A_1 の2次光源から各射出角を持って射出する平行光束は第1光学系30Aにより集光されて位置 B_1 には長形状の空間像Ibが形成され、この長形状の空間像Ibからの光束は第2光学系30Bにより集光されて平行光束に変換されてコンデンサー光学系としてのトーリック型反射鏡40へ向かう。これを換言すれば、位置 A_1 の2次光源を形成する各点光源からの光束は、例えば図8の(b)の点線で示す如く、第1光学系30Aにより集光されて、位置 B_1 の空間像Ibを重畳的に照明するような平行光束に変換された後、その平行光束は、第2光学系30Bに入射して、第2光学系30B中の負レンズ32B内部の位置 A_2 で一旦集光されて、コンデンサー光学系としてのトーリック型反射鏡40へ向かう。

30

【0097】

このとき、第2光学系30B中の負レンズ32B内部の位置 A_2 には2次光源の実像が形成され、再結像光学系300の射出瞳位置 A_{20} には、再結像光学系300の射出側を任意の角度から見ても常に円形状となる2次光源の虚像が形成される。

従って、再結像光学系300を射出する射出角が零度($\theta = 0^\circ$)の時の平行光束の光束径 $P(0)$ と再結像光学系300を射出する射出角が θ の時の平行光束の光束径 $P(\theta)$ とは等しくなり、再結像光学系300の射出瞳からは一定の径 P_0 を持つ平行光束が供給されるように再結像光学系300を射出する。なお、第1光学系30Aにより形成される空間像Ibの位置 B_1 は、第1光学系30Aの後側(被照明側)の焦点位置と一致すると共に、第2光学系30Bの前側(光源側)の焦点位置と一致している。

40

【0098】

さて、各射出角を持って再結像光学系300を射出した平行光束は、被照明面としてのレチクルR上でトーリック型反射鏡40により円弧状に集光される。

図8の(b)に示す如く、トーリック型反射鏡40は、放物線PAの頂点Oを原点としてこの原点Oを通る対称軸 Ax_0 をZ軸、原点Oを通り対称軸 Ax_0 (Z軸)と垂直な図8の紙面に沿った方向をY軸、放物線PAを $z = y^2$ とすると、対称軸 Ax_0 (Z軸)において頂点Oから所定の距離($3(4) \dots$)だけ離れた位置 Z_0 を通り対称軸 Ax_0 (Z軸)と直交する基準軸 Ax_1 を中心に回転させた放物トーリック形状の回転体の1部よりなり、トーリック型反射鏡40を上方から見た時には、図8の(a)に

50

示す如く、放物トーリック形状の回転体の2つの緯線(40a, 40b)間で形成される円弧型帯状の形状を成している。

【0099】

この時、放物トーリック形状の回転体は、基準軸Ax₁と対称軸Ax₀とに対して垂直で原点(頂点)Oを通る方向をX軸、基準軸Ax₁と対称軸Ax₀との交点Z₀から頂点までの距離(被照明領域の半径)をR_{IA}とするとき、

【0100】

【数26】

$$\left(z - \frac{3}{4\alpha} \right)^2 + x^2 = \left(\frac{3}{4\alpha} - \alpha y^2 \right)^2, \quad 0 \leq y \leq \frac{3^{0.5}}{2\alpha} \quad \dots\dots\dots (34)$$

【0101】

【数27】

$$R_{IA} = \frac{3}{4\alpha} \quad \dots\dots\dots (35)$$

【0102】
の関係をほぼ満足する関数として表現される。

なお、トーリック型反射鏡40は、基準軸Ax₁が再結像光学系300の射出瞳位置A₂₀を通るように構成されており、すなわち、再結像光学系300の射出瞳位置A₂₀とトーリック型反射鏡40の前側(光源側)の焦点位置(光源側の焦点距離fはf=(2)⁻¹)とが一致するように構成されている。

【0103】

従って、再結像光学系300により形成される2次光源の虚像からの平行光束は、トーリック型反射鏡40の被照射面側の焦点位置(被照射面側の焦点距離fはf=(2)⁻¹)上に配置されたレチクルR上の位置B₂において、トーリック型反射鏡40により円弧状に集光される。これを換言すれば、位置A₂₀の2次光源の虚像を形成する複数の点光源の虚像からの光束は、トーリック型反射鏡40によりそれぞれ集光されて、レチクルR上を円弧状に重畳的に均一照明する。よって、レチクルR上にはテレセントリック性が維持された状態で円弧状の照明領域IAが形成される。

【0104】

さて、図9に示す如く、レチクルRとウエハWとの間には等倍で両側テレセントリックな投影光学系PLが設けられており、この投影光学系PLは、基本構成として凹面鏡L1と凸面鏡L2とを有し、さらにレチクルRと凹面鏡L1との間及び凹面鏡L1とウエハWとの間にはそれぞれ光路を折り曲げる反射鏡M₅₁, M₅₂を有している。そして、凹面鏡L1と凸面鏡L2との曲率中心とがほぼ一致しており、この時、凹面鏡L2の曲率半径は凹面鏡L1の曲率半径の半分となっている。

【0105】

ここで、フライアイレンズ50により形成される光源像位置A₁、再結像光学系300により再形成される光源像位置A₂、再結像光学系300の射出瞳位置A₂₀、及び投影光学系PLの入射瞳位置(凸面鏡52の位置又はその近傍の位置)は互いに共役となっており、しかも各位置での光源像及び瞳の形状は共に円形となっている。

【0106】

従って、レチクルR上には、テレセントリック性が維持されながら円弧状照明領域が形成

10

20

30

40

50

されているのみならず、ケーラー照明されていることが理解できる。なお、フライアイレンズ50からそれぞれの射出角で射出する平行光束が第1光学系30Aにより形成される位置 B_1 とレチクルR上の物体面位置 B_2 とは共役となっている。

【0107】

ここで、レチクルRはレチクルステージRSに保持され、ウエハWはウエハステージWSに保持されており、不図示の駆動系によりレチクルステージRS及びウエハステージWSは、露光時において、矢印で示す方向へ移動し、これによって、レチクルR上のパターン全体がウエハW上に露光される。

以上のように、本実施例では、高い照明効率及び一様な開口数のもとで円弧状にしかも均一にレチクルが照明されるため、レチクルR上の回路パターンを短い露光時間でしかも高解像力のもとでウエハW上へ円弧状に転写することができる。

10

【0108】

なお、図9に示した実施例では、投影光学系PLを等倍系とした例を示しているが、言うまでもなく投影光学系PLを縮小系または拡大系で構成して良い。

ところで、近年においては、例えば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50により形成される2次光源の形状を変形させて、レチクルRを傾斜照明することにより、投影光学系が本来有する解像度並びに焦点深度よりも大幅に向上させようという傾斜照明技術が提案されており、大きな注目を集めている。

【0109】

例えば、通常、オプティカルインテグレータの射出側に配置されている開口絞りASにおいて輪帯状(ドーナツ状)の開口部を設けて輪帯状の2次光源を形成し、レチクルRを傾斜照明することにより、投影光学系の解像度並びに焦点深度の改善を図ろうとする輪帯状照明法が知られている。また、この開口絞りASに2つあるいは4つの偏心した開口部を設けて2つあるいは4つの偏心した2次光源を形成し、レチクルRを傾斜照明することにより、輪帯状照明法よりも大きな解像度並びに深い焦点深度を得ようとする特殊傾斜照明法も知られており、この技術は例えば特開平4-101148号公報に開示されている。

20

【0110】

従って、図1及び図8にて示した各実施例の装置をさらに応用し、フライアイレンズ50の射出側に設けられている円形開口を有する開口絞りASの代わりに、図10の(a)に示す如き輪帯状の開口部を有する開口絞りASを配置すれば、この開口絞りASにより形成される輪帯状の光源からの光束は、レチクルR上を一様な開口数のもとで円弧状に均一に傾斜照明できるため、より微細なレチクルパターンを深い焦点深度のもとでウエハW上に忠実に転写することができる。

30

【0111】

また、例えば、図1及び図8において、フライアイレンズ50の射出側に設けられている円形開口を有する開口絞りASの代わりに、図10の(b)に示す如き偏心した4つの開口部を有する開口絞りASを配置すれば、この開口絞りASにより形成される4つの偏心光源からの光束は、レチクルR上を一様な開口数のもとで円弧状に均一に傾斜照明でき、より一層微細なレチクルパターンを深い焦点深度のもとでウエハW上に忠実に転写することができるため極めて有効である。なお、図10に示した開口絞りをを用いる場合には、図1及び図8に示した投影光学系PLは縮小系で構成されることが望ましい。

40

【0112】

【発明の効果】

以上の如く、本発明によれば、照明フィールドが幅の狭い円弧、あるいは長方形であることに起因する光量低下を伴うことなく、高い効率のもとでの均一な照明が可能となる。そして、本発明を投影露光装置に応用すれば、この種の露光装置に必要とされる高いスループットは、水銀ランプ等の不必要な大電力化に依らずに達成できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】長形状の露光フィールドを有する走査型投影露光装置に本発明を適用した場合の一つの実施例を概略的な構成を示した図である。

50

【図 2】図 1 のフライアイレンズ 5 0 の具体的な構成を示す斜示図である。

【図 3】図 1 に示した装置の露光部の構成を示す斜示図である。

【図 4】フライアイレンズ 5 0 の入射側の第 1 レンズ群中の第 1 レンズ要素の縦横比を 1 : 4 とした時に光源側からフライアイレンズ 5 0 を見た時の様子を示す平面図である。

【図 5】フライアイレンズ 5 0 の入射側の第 1 レンズ群中の第 1 レンズ要素の縦横比を 1 : 9 とした時に光源側からフライアイレンズ 5 0 を見た時の様子を示す平面図である。

【図 6】図 2 に示した入射側の第 1 レンズ群 5 1 と射出側の第 2 レンズ群 5 2 との間に硝子基板 5 3 を介在させて一体的に構成したフライアイレンズ 5 0 の様子を示している。

【図 7】図 6 に示したフライアイレンズ 5 0 の別の例を示すための図である。

【図 8】被照射面上に円弧形状の照明領域 I A を形成する走査型投影露光装置の例を示すための図である。 10

【図 9】図 8 に示した装置の露光部の構成を示す図である。

【図 10】(a) は開口絞りに輪帯状の開口部を設けた様子を示す平面図であり、(b) は開口絞りに偏心した 4 つの開口部を設けた様子を示す平面図である。

【図 11】本発明によるフライアイレンズ 5 0 の原理を説明するための図である。

【図 12】本発明によるフライアイレンズ 5 0 の原理的な配置手法を説明するための図である。

【図 13】従来の装置の構成を示す図である。

【図 14】図 13 の装置の結像関係を様子を示すための図である。

【図 15】被照射面上に所望の照明領域を形成するために被照射面上に配置すべき視野絞りの構成を示すための図である。 20

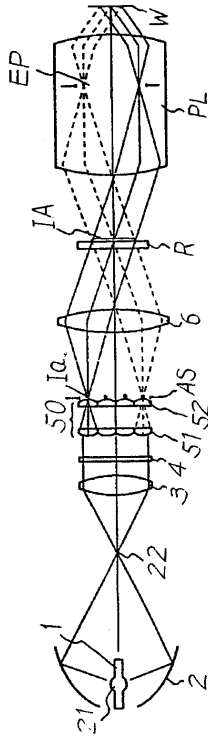
【図 16】図 14 及び図 15 に示す長方形の照明領域 I A を形成するためのフライアイレンズ 5 の断面形状を示す図である。

【図 17】図 16 のフライアイレンズ 5 を用いる事によって照明効率が悪化する様子を示す図である。

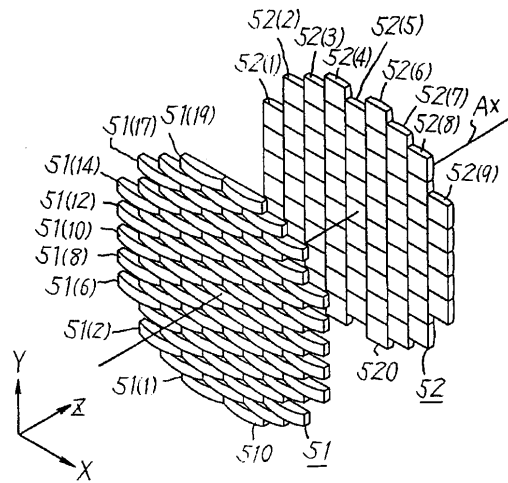
【主要部分の符号の説明】

- 1 水銀ランプ
- 2 楕円鏡
- 3 コリメータレンズ
- 5 0 フライアイレンズ 30
- 5 1 第 1 レンズ群
- 5 2 第 2 レンズ群
- 5 1 0 第 1 レンズ素子
- 5 2 0 第 2 レンズ素子
- 6 コンデンサーレンズ
- 1 0 光源部
- 3 0 0 再結像光学系
- 4 0 トーリック型反射鏡
- P L 投影光学系
- R レチクル 40
- W ウエハ

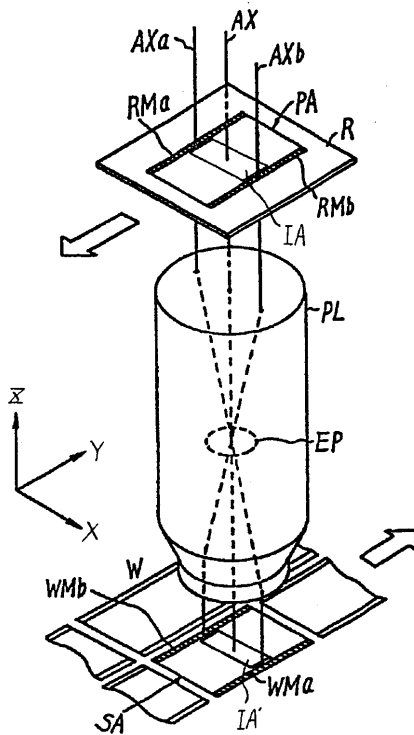
【 図 1 】



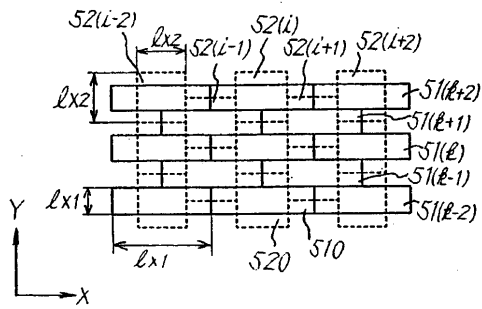
【 図 2 】



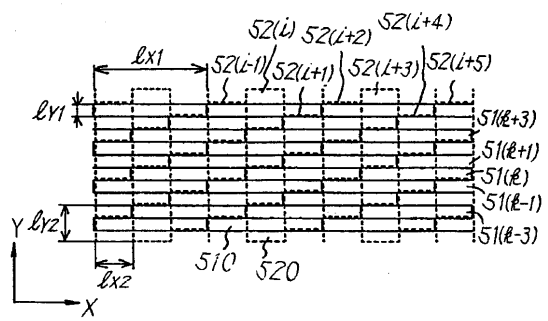
【 図 3 】



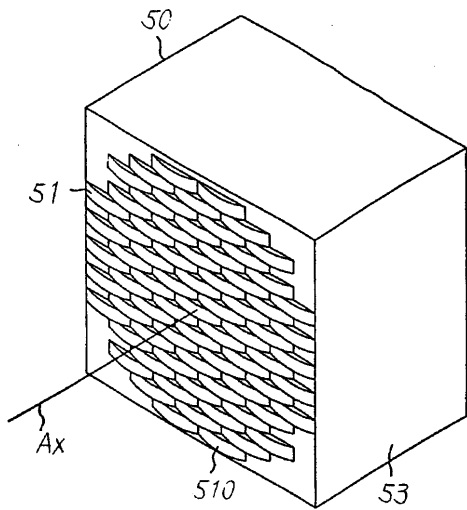
【 図 4 】



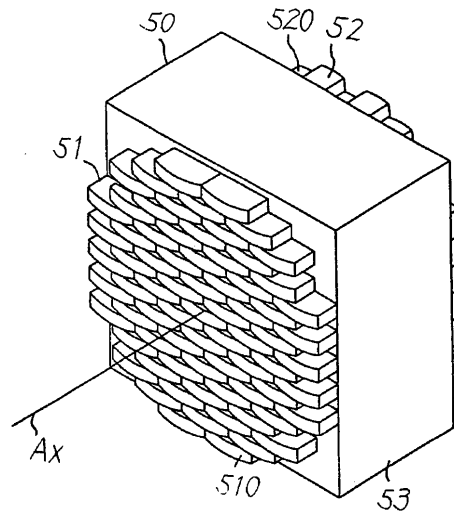
【 図 5 】



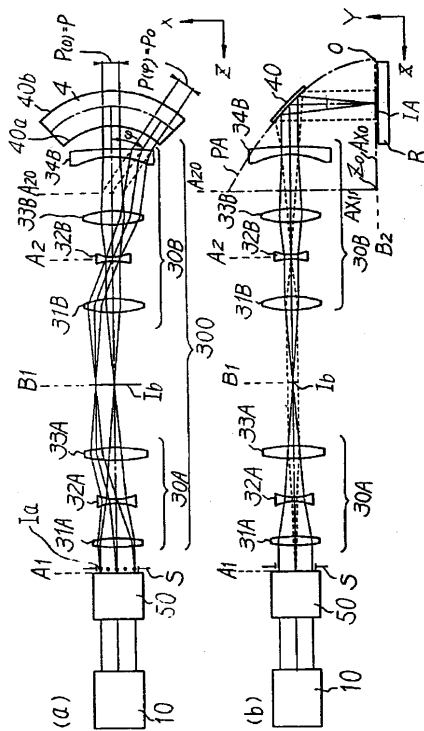
【 図 6 】



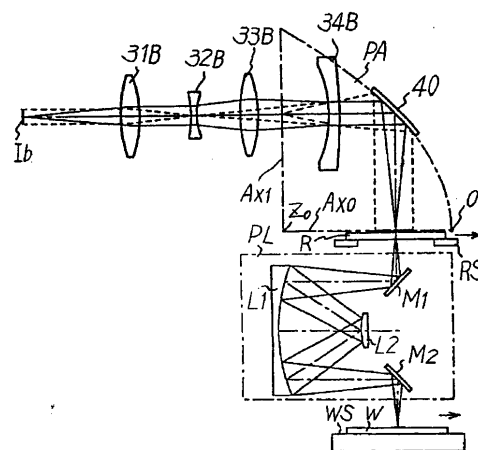
【 図 7 】



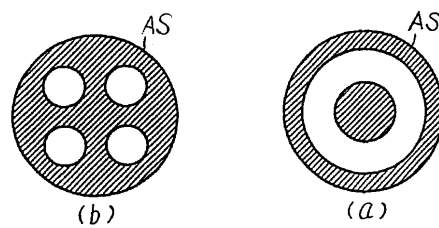
【 図 8 】



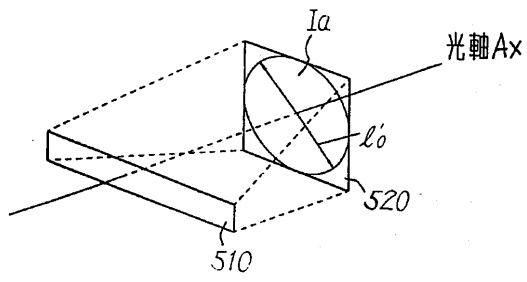
【 図 9 】



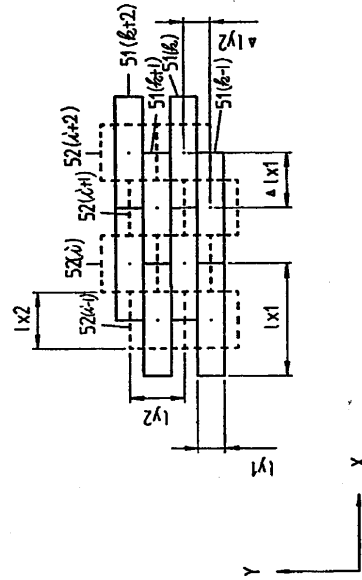
【 図 10 】



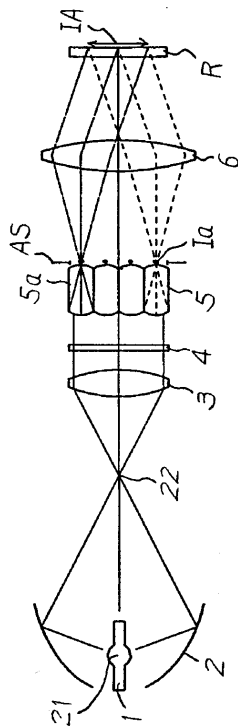
【 図 1 1 】



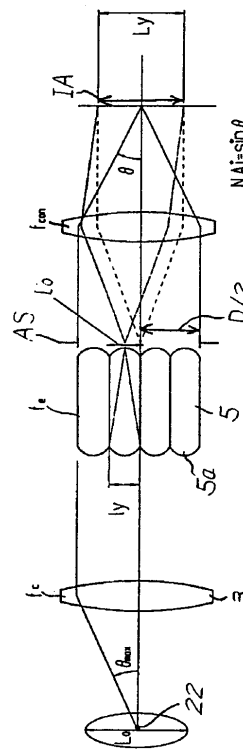
【 図 1 2 】



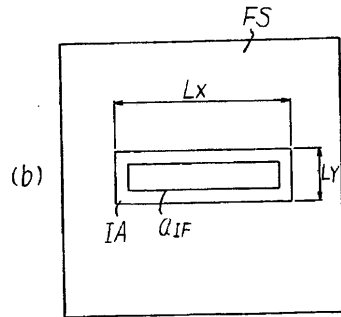
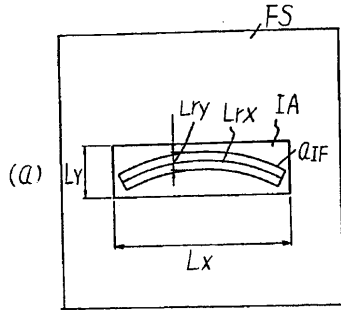
【 図 1 3 】



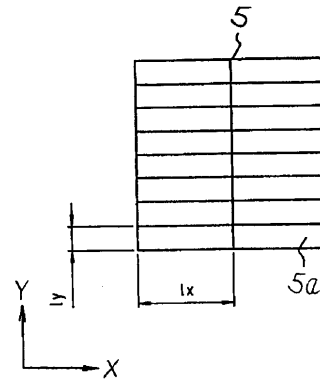
【 図 1 4 】



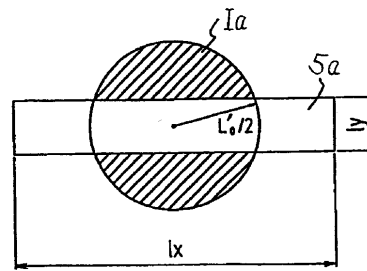
【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

H01L 21/027