

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5608233号
(P5608233)

(45) 発行日 平成26年10月15日 (2014. 10. 15)

(24) 登録日 平成26年9月5日 (2014. 9. 5)

(51) Int. Cl.		F I		
HO 1 L	21/027	(2006. 01)	HO 1 L	21/30 5 1 5 D
GO 3 F	7/20	(2006. 01)	HO 1 L	21/30 5 1 6 Z
GO 2 B	3/08	(2006. 01)	GO 3 F	7/20 5 2 1
GO 2 B	3/00	(2006. 01)	GO 2 B	3/08
			GO 2 B	3/00 A

請求項の数 14 (全 41 頁)

(21) 出願番号	特願2012-521970 (P2012-521970)	(73) 特許権者	503263355
(86) (22) 出願日	平成21年7月31日 (2009. 7. 31)		カール・ツァイス・エスエムティー・ゲー
(65) 公表番号	特表2013-501348 (P2013-501348A)		エムペーハー
(43) 公表日	平成25年1月10日 (2013. 1. 10)		ドイツ連邦共和国、7 3 4 4 7 オーバー
(86) 国際出願番号	PCT/EP2009/005555		コッヘン、ルドルフ・エーバー・シュトラ
(87) 国際公開番号	W02011/012148		ーセ 2
(87) 国際公開日	平成23年2月3日 (2011. 2. 3)	(74) 代理人	100092093
審査請求日	平成24年4月26日 (2012. 4. 26)		弁理士 辻居 幸一
		(74) 代理人	100082005
			弁理士 熊倉 禎男
		(74) 代理人	100067013
			弁理士 大塚 文昭
		(74) 代理人	100086771
			弁理士 西島 孝喜

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学ビーム偏向要素及び調節方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ビーム偏向配列上に入射する放射ビーム内の光線の角度分布を変更することによって所定の角度分布に従う光線を有する放射ビームを生成するための光学ビーム偏向要素であって、

所定の光線角度分布内の光線角度に対応する伝播方向を各々が有して、第1の強度分布に従う第1の強度を有する第1の光線の第1の光束を生成する第1の偏向領域(D R 1)に配置された第1の偏向構造と、

前記所定の光線角度分布内の光線角度に対応する伝播方向を各々が有して、前記第1の強度分布とは異なる第2の強度分布に従う第2の強度を有する第2の光線の第2の光束を生成する、前記第1の偏向領域に対して横方向にオフセットされた第2の偏向領域(D R 2)に配置された第2の偏向構造と、

を含み、

前記第2の偏向領域(D R 2)は、前記第1の偏向領域(D R 1)に第1の方向の片側で隣接して配置され、

第3の偏向領域(D R 3)が、前記第1の方向に沿って反対側に前記第1の偏向領域に隣接して配置され、該第3の偏向領域は、前記所定の光線角度分布内の光線角度に対応する伝播方向を各々が有して、前記第1及び第2の強度分布とは異なる第3の強度分布に従う第3の強度を有する第3の光線の第3の光束を生成する第3の偏向構造を含み、

前記第2の偏向構造及び前記第3の偏向構造は、前記所定の角度分布によって定められ

る少なくとも1つのエネルギー分布パラメータに互いに反対の方式で影響を及ぼし、
前記エネルギー分布パラメータは、

- (a) 極均整、
- (b) 楕円率、
- (c) 勾配、及び
- (d) テレセントリック性、

から構成される群から選択された少なくとも1つのエネルギー分布パラメータであり、
前記ビーム偏向要素(BDE)は、屈折ではなく回折によって放射を向け直す回折構造によって形成された偏向構造を含む回折光学要素であることを特徴とする光学ビーム偏向要素。

10

【請求項2】

前記所定の光線角度分布内の光線角度に対応する伝播方向を各々が有して、前記第1、第2、及び第3の強度分布とは異なる第4の強度分布に従う第4の強度を有する第4の光線の第4の光束を生成する第4の偏向構造を含んで、前記第1の方向を横断する第2の方向の片側で前記第1の偏向領域(DR1)に隣接して配置された第4の偏向領域(DR4)を更に含み、該所定の光線角度分布内の光線角度に対応する伝播方向を各々が有して該第1、第2、第3、及び第4の強度分布とは異なる第5の強度分布に従う第5の強度を有する第5の光線の第5の光束を生成する第5の偏向構造を含んで該第2の方向に沿って反対側に該第1の偏向領域(DR1)に隣接して配置された第5の偏向領域(DR5)を更に含み、

20

前記第4の偏向構造及び前記第5の偏向構造は、前記所定の角度分布によって定められる少なくとも1つのエネルギー分布パラメータに互いに反対の方式で影響を及ぼす、

ことを特徴とする請求項1に記載の光学ビーム偏向要素。

【請求項3】

前記第1及び第2の偏向構造によって生成される前記所定の光線角度分布は、前記ビーム偏向要素の遠視野内の多重極空間強度分布に対応し、

前記第1及び第2の強度分布は、強度の極均整、楕円率、勾配、及びテレセントリック性のうちの少なくとも1つにおいて異なる、

ことを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の光学ビーム偏向要素。

【請求項4】

30

前記ビーム偏向要素は、第1の配列で離間した位置に配置された複数の第1の偏向領域(DR1)と、第2の配列で該第1の偏向領域(DR1)の間の離間した位置に配置された複数の第2の偏向領域(DR2)とを含み、

前記第1の配列及び前記第2の配列は、周期的ラスタ配列であり、及び/又は

前記第1の配列における第1の偏向領域(DR1)の相対空間分布が、前記第2の配列における第2の偏向領域(DR2)の相対空間分布と実質的に同じである、

ことを特徴とする請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の光学ビーム偏向要素。

【請求項5】

前記光学ビーム偏向要素は、フレネルゾーン構造(FR)のアレイと、該フレネルゾーン構造の間の隙間に形成された複数の回折CGH構造(CG H)とを含むことを特徴とする請求項1から請求項4のいずれか1項に記載の光学ビーム偏向要素。

40

【請求項6】

照明系であって、

1次光源から放出された1次放射を受光し、かつパターンを担持するマスク上に入射する照明放射を生成するように構成されて、かつ配置された複数の光学要素と、

選択された照明モードに対応して定められた空間強度分布を照明系の瞳面に生成するように構成された腫成形ユニットを形成するいくつかの光学要素と、

を含み、

前記腫成形ユニットは、ビーム偏向配列上に入射する放射ビーム内の光線の角度分布を変更することによって所定の角度分布に従う光線を有する放射ビームを生成するための光

50

学ビーム偏向要素であって、所定の光線角度分布内の光線角度に対応する伝播方向を各々が有して、第1の強度分布に従う第1の強度を有する第1の光線の第1の光束を生成する第1の偏向領域(DR1)に配置された第1の偏向構造と、前記所定の光線角度分布内の光線角度に対応する伝播方向を各々が有して、前記第1の強度分布とは異なる第2の強度分布に従う第2の強度を有する第2の光線の第2の光束を生成する、前記第1の偏向領域に対して横方向にオフセットされた第2の偏向領域(DR2)に配置された第2の偏向構造と、を含む光学ビーム偏向要素を含み、

前記光学ビーム偏向要素(BDE)は、瞳平面内の照明区域の形状及び大きさ及び位置を実質的に変化させることなく照明系の前記瞳面内の所定の空間強度分布内でエネルギー分布を変更する照明系におけるエネルギー分布マニピュレータとして有効であり、

10

前記エネルギー分布パラメータは、

- (e) 極均整、
- (f) 楕円率、
- (g) 勾配、及び
- (h) テレセントリック性、

から構成される群から選択された少なくとも1つのエネルギー分布パラメータであり、

前記ビーム偏向要素(BDE)は、回折によって放射を向け直す回折構造によって形成された偏向構造を含む回折光学要素であることを特徴とする照明系。

【請求項7】

前記ビーム偏向要素(BDE)を照明系(ILL)の光軸(OA)を横断する少なくとも1つの方向に、入射放射ビーム(RB)に相対的に、制御可能に移動するように構成された駆動系(DRI)であって、該入射放射ビームが、該ビーム偏向要素の1つ又はそれよりも多くの選択された領域を照明し、かつ異なる領域が、該駆動系を作動させることによってアドレス指定可能であるような前記駆動系を更に含むことを特徴とする請求項6に記載の照明系。

20

【請求項8】

前記ビーム偏向要素の選択された領域を照明する照明スポットの配列を該ビーム偏向要素(BDE)上に形成する複数の部分ビーム(PB)を生成するのに有効な可変配列を含み、

前記配列は、前記ビーム偏向要素上の異なる選択された領域が該配列の異なる作動モードにおいて照明されるように可変的に制御可能である、

30

ことを特徴とする請求項6、又は請求項7に記載の照明系。

【請求項9】

前記配列は、光源コントローラによって互いに独立して制御することができる複数の光源(LS1、LS2、...)を含む光源配列(LSA)を含むことを特徴とする請求項8に記載の照明系。

【請求項10】

前記瞳成形ユニットは、入射放射ビームを前記ビーム偏向要素上に空間的に分離した照明スポットの周期的ラスタ配列を形成する複数の部分ビーム(PB)に分離するように構成されたビーム分離器(SEP)を含み、

40

前記ビーム分離器は、マイクロレンズアレイを含む、

ことを特徴とする請求項6から請求項9のいずれか1項に記載の照明系。

【請求項11】

前記瞳成形ユニットは、連続的に可変の拡大率を与えるように構成されたズームレンズ群(Z)を含み、

前記ズームレンズ群は、前記ビーム偏向要素(BDE)と照明系の前記瞳平面(PILL)との間に配置される、

ことを特徴とする請求項6から請求項10のいずれか1項に記載の照明系。

【請求項12】

前記瞳成形ユニットは、一方が凹で一方が凸であるアキシコン面を有する1対のアキシ

50

コン要素を含むアキシコン系 (AX) を含み、

前記アキシコン要素のうちの少なくとも一方は、前記アキシコン面の間の距離を調節することを可能にするために照明系の光軸に沿って可動であり、

前記アキシコン系は、前記ビーム偏向要素 (BDE) と照明系の前記瞳平面 (P_{ILL}) との間に配置される、

ことを特徴とする請求項 6 から請求項 11 のいずれか 1 項に記載の照明系。

【請求項 13】

1 次放射を生成する光源と、

前記 1 次放射を照明経路に沿って案内してパターンを担持するマスク上に入射する照明放射を生成する照明系と、

投影経路に沿って案内される投影放射によって前記パターンの像を感放射基板上に投影する投影対物系と、

を含み、

前記照明系は、請求項 6 から請求項 12 のいずれか 1 項に従って構成される、

ことを特徴とする投影露光装置。

【請求項 14】

照明系と投影対物系とを有する投影露光装置の結像特性を調節する方法であって、

照明系に関連付けられた光源と該照明系の瞳平面との間の放射経路に光学ビーム偏向要素 (BDE) を配置して、該瞳平面に所定の空間強度分布を生成する段階と、

第 1 の作動モードにおいて第 1 の偏向領域が、かつ第 2 の作動モードにおいて該第 1 の偏向領域とは異なる第 2 の偏向領域が、ビーム偏向配列上に入射する放射ビーム内の光線の角度分布を変更することによって所定の角度分布に従う光線を有する放射ビームを生成するための光学ビーム偏向要素であって、所定の光線角度分布内の光線角度に対応する伝播方向を各々が有して、第 1 の強度分布に従う第 1 の強度を有する第 1 の光線の第 1 の光束を生成する第 1 の偏向領域 (DR1) に配置された第 1 の偏向構造と、前記所定の光線角度分布内の光線角度に対応する伝播方向を各々が有して、前記第 1 の強度分布とは異なる第 2 の強度分布に従う第 2 の強度を有する第 2 の光線の第 2 の光束を生成する、前記第 1 の偏向領域に対して横方向にオフセットされた第 2 の偏向領域 (DR2) に配置された第 2 の偏向構造と、を含むビーム偏向要素上で照明され、それによって前記照明系の前記瞳平面内の所定の空間強度分布内のエネルギー分布が、該瞳平面内の照明区域の形状及び大きさ及び位置を実質的に変化させることなく変更されるように、該ビーム偏向要素上に入射する放射ビームと該ビーム偏向要素の間に相対変位を発生させる段階と、

を含み、

(i) 極均整、

(j) 楕円率、

(k) 勾配、及び

(l) テレセントリック性、

から構成される群から選択された前記エネルギー分布の少なくとも 1 つのエネルギー分布パラメータが、前記相対変位によって変更され、

前記ビーム偏向要素 (BDE) は、回折によって放射を向け直す回折構造によって形成された偏向構造を含む回折光学要素であることを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学ビーム偏向要素上に入射する放射ビーム内の光線の角度分布を変更することにより、所定の角度分布に従う光線を有する放射ビームを生成するための光学ビーム偏向要素に関する。本発明は、そのようなビーム偏向要素を含む照明系、及び投影露光系の結像特性を調節する方法にも関する。

【背景技術】

【0002】

10

20

30

40

50

マイクロリソグラフィ投影露光方法及びマイクロリソグラフィ投影露光系は、半導体構成要素及び他の微細構造の構成要素を製作するのに使用される。結像される構造のパターン、例えば、集積回路（IC）のような半導体構成要素の層の線パターンを担持又は形成するマスク（レチクル）が使用される。マスクは、投影露光系内で照明系と投影対物系の間の投影対物系の物体平面の領域に位置決めされ、照明系によって供給される照明放射で照明される。マスク及びパターンによって変更された放射は、投影対物系を通じて伝播する投影放射を形成し、この投影放射は、露光される基板上にこのパターンを結像する。基板は、通常は感光層（フォトレジスト）を担持する。

【0003】

マスクのパターンが照明系によって照明される際の光線の角度分布の適切な選択により、マスクによって与えられるパターンの像を改善することができ、プロセスウィンドウを拡大することができることは公知である。マスク上に入射する光線の角度分布は、通常は基板上に投影されるパターンの種類に適合される。例えば、比較的大きいサイズの特徴部は、小さいサイズの特徴部とは異なる角度分布を必要とする可能性がある。理想的には、照明系は、マスク上の照明視野の各点を良好に定められた角度分布を有する光線で照明する。

10

【0004】

マスク上の点の上に入射する光線の「角度分布」という用語は、一般的に、どの照明光方向（又は角度）が照明に寄与し、マスク平面内の特定の点に向けて収束する光線束の合計エネルギーが、光線束を構成する光線が伝播する様々な方向の間で如何に配分されるかを表すのに使用される。本出願に使用する「光線」という用語は、所定の方向に伝播し、ある一定量の放射エネルギーを搬送する「放射束」に対応する。

20

【0005】

ある一定の種類照明系では、マスクを照明する放射の角度分布は、2次（又は実効）光源と捉えることができる照明系の瞳平面内の空間強度分布によって判断される。これらの系では、特定の照明モードは、瞳平面内の空間強度分布の形状を参照することによって一般的に表される。様々な照明モードを特徴付ける上で、1組の主要な照明モード（瞳平面内の空間強度分布の1組の主要形状に対応する）が一般的に使用される。1つの主要照明モードは、0°からある一定の最大角度までの全ての角度からのマスク点の様な照明に対応する「従来照明」であり、この従来照明は、瞳平面内で均一な円盤形の空間強度分布を必要とする。別の一般的に使用される主要強度分布は、瞳平面内の強度分布が環状であり、瞳の中心にいかなる強度も持たない「輪帯照明」である。他の主要照明モードは、瞳平面に2つの強度の極が存在する「二重極照明」、瞳平面に4つの強度の極が存在する「四重極照明」、又は例えば、6つ、9つ、又はそれよりも多い極を有する他の多重極照明設定である。

30

【0006】

本出願では、主要照明モードのうちの1つ又は主要照明モードが有する2つ又はそれよりも多くの空間強度分布の組合せに対応する照明系の瞳平面における事前選択された種類の空間強度分布を「照明設定」と呼ぶ場合がある。

【0007】

異なる照明設定を開発するために様々な方法が提案されている。例えば、制御可能な最大角度を有する従来照明又は環状の制御可能な内側半径と外側半径とを有する輪帯照明を任意的に開発する上で、ズーム系とアキシコン系との組合せであるズームアキシコンを使用することができる。二重極型又は四重極型の照明設定を開発するために、空間フィルタ、すなわち、極が望ましい位置に開口が位置した不透過板又は他の遮光要素を使用することが提案されている。空間フィルタを使用するのは、得られる放射損失が装置の収量を低下させ、従って、所有コストを増加させるので多くの場合に望ましくない。

40

【0008】

従って、照明系の瞳平面に望ましい強度分布を形成する工程において、例えば、回折光学要素（DOE）又は屈折光学要素のような光学ビーム偏向要素を使用することが提案さ

50

れている。一般的に、光学ビーム偏向要素は、照明系のビーム経路内で、照明系に関連付けられた1次放射源と実効(2次)放射源を形成する瞳平面との間に配置される。作動時には、光学ビーム偏向要素は、放射を向け直し、それによってこのビーム偏向要素上に入射する放射ビーム内の光線の角度分布を変化させて、所定の角度分布に従う光線を有する放射ビームを生成する。言い換えれば、光学ビーム偏向要素は、光学ビーム偏向要素と相互作用する放射の角度スペクトル及びエネルギー分布を制御方式で変化させる。この工程では、放射エネルギーは、遮蔽されるのではなく、放射損失を最低限に抑制することができるように向け直される。瞳面上流に光学ビーム偏向要素を位置決めし、これらの間にコンデンサーレンズ系を配置することにより、瞳面内にはほぼあらゆる任意の空間強度分布を生成することができる。望ましい場合には、付加的なズームアキシコン系は、光学ビーム偏向配列によって生成される空間強度分布を少なくとも限られた範囲で変更することを可能にする。

10

【0009】

欧州特許出願EP 0 949 541 A及びEP 1 109 067 A(US 2003/0214643 A1に対応する)は、取りわけ、異なる領域が、例えば、四重極照明モード又は従来照明モードを形成して異なる効果を有することができ、それによって混合された又は「柔らかい」照明モードを開発することができるようにする回折光学要素を説明している。

【0010】

US 2007/0058151 A1は、偏光影響構造を更に含み、指定された方向に向け直された放射が定められた偏光を有することを保証する類似の回折光学要素を説明している。

20

【0011】

US 7,292,393 B2は、異なる環状区画が異なる構造を有し、照明器の瞳平面において異なる空間照明分布を開発する回折光学要素を含む可変照明器を説明している。これらの区画は、回折光学要素を回転させることによって入射レーザービーム内に選択的に配置することができる。

【0012】

US 2007/0024836 A1は、マスク上に入射する光束の角度分布に組合せて影響を及ぼす3つの回折光学要素を有する照明系を説明している。

30

【0013】

マスクにもたらされる照明ビーム内での定められた光線角度分布は、リソグラフィ工程において満たさなければならない複数の要件のうちの1つに過ぎない。他の要件は、1つ又はそれよりも多くのエネルギー分布パラメータを用いて特徴付けることができる光線束の光線にわたる放射エネルギー(又は強度)の分布に関する。

【0014】

時によって照明系から要求される1つの特性は、良好な極均整である。「極均整」という用語は、瞳平面を中心で再分割する分割平面の2つの側の間で放射エネルギーが如何に配分されるかを判断するパラメータを指す。極照明設定では、極均整パラメータ(PB)は、多重極照明設定の2つの直径方向に反対の極の間で放射エネルギーが如何に配分されるかを定量化するのに使用することができる。

40

【0015】

非常に高度な照明系から多くの場合に要求される別の特性は、良好な楕円率である。1つの定義では、「楕円率」という用語は、光軸(z方向)に対して垂直な平面内でx方向及びy方向のような2つの互いに直交する方向を中心とする領域、又は中心からx方向とy方向の間の対角方向に延びる軸を中心とする領域に沿って放射エネルギーが如何に配分されるかを判断するパラメータを指す。多くの場合に、楕円率は、輪帯照明設定、六角形照明設定、又は従来照明設定におけるエネルギー分布を定量化するのに使用される。

【0016】

照明ビームの光線にわたる放射エネルギーの分布を定量化するのに時によって使用される

50

別のエネルギー分布パラメータは「勾配」で表される。勾配は、2次元エネルギー不均衡、すなわち、瞳平面内の1つの基準軸に沿った強度変化を定量化するものとして定めることができる。この軸に沿った強度変化は、基準軸に沿って変化するパラメータによって表すことができる。

【0017】

照明区域上に入射する照明ビームの光線にわたる放射エネルギーの分布を表す上で時によって使用される別のエネルギー分布パラメータは、「テレセントリック性」で表される。1つの定義では、「テレセントリック性」という用語は、「エネルギーテレセントリック性」の意味に使用され、照明区域内の所定の点に向けて収束する光線束のエネルギー重心の空間内での方向（又は角度）を指す。エネルギー重心は、光線束に存在する全ての伝播方向のそれぞれの伝播方向に進むそれぞれのエネルギー量（又は強度）で重み付けした平均を表す。従って、テレセントリック性パラメータは、空間内の異なる方向が特定の点上に入射する全体強度にどの程度寄与するかという問題に関する。

10

【0018】

ある平面内の照明強度のあらゆる空間分布は、上述のエネルギー分布パラメータのうちの1つ又はそれよりも多くを用いて特徴付けることができ、瞳平面内の照明強度の空間分布、又はマスク平面内の点の上に収束する光線束内の放射エネルギー（又は強度）の均整のような照明強度空間分布に関連する別の特性を定量化するのに他の定義によるエネルギー分布パラメータを使用することができることが理解される。

【0019】

20

照明エネルギー分布における誤差の補正は、従来、瞳フィルタリングのような適切な減衰技術を用いて達成されている。US 2008/0284998 A1は、照明系によって生成される極均整誤差を補正するために、レンズの偏心との組合せで複数のラジアル方向に可動なスポークを有する可変瞳フィルタの使用を開示している。投影露光装置内で照明角度分布を適応させるのに適する可変瞳フィルタは、US 6,535,274 B2に開示されている。

【0020】

結像される所定のパターンに適合された特定の照明設定を使用する構造化照明は、リソグラフィ工程の品質を大きく改善するのに役立っている。しかし、作動波長、像側開口数NA、及び他の工程判断パラメータのような同じ公称作動条件下で作動されるほぼ同一又は類似の投影露光系内で同じ種類のマスク及びパターンに対して同じ照明設定が使用されたとしても、計算から予想される結像処理のある一定の品質を常に得ることができるわけではないことが認識されている。例えば、大量の類似の構成要素が製造工場において製造される場合には、いくつかの投影露光系は、通常は並列で作動され、収量を高めるために公称で同じリソグラフィ工程を実行する。印刷された製品では類似の結果が予想されることになるが、同じ投影パラメータを有する同じ種類の投影系が同じ種類のパターンを担持するマスクとの組合せに使用されているにも関わらず、製品品質の変化が観察されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

40

【0021】

【特許文献1】EP 0 949 541 A

【特許文献2】EP 1 109 067 A

【特許文献3】US 2003/0214643 A1

【特許文献4】US 2007/0058151 A1

【特許文献5】US 7,292,393 B2

【特許文献6】US 2007/0024836 A1

【特許文献7】US 2008/0284998 A1

【特許文献8】US 6,535,274 B2

【特許文献9】US 2009/0021715 A1

50

【特許文献10】US 2008/0013065 A1

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0022】

本発明の目的は、構造化照明を使用する場合に製造される製品の品質を改善する機能を有する投影露光系及び投影露光系のための構成要素を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0023】

上記及び他の目的に対処するために、一形態により、本発明は、請求項1の特徴を有する光学ビーム偏向要素を提供する。本発明は、請求項9の特徴を有する照明系、請求項17の特徴を有する投影露光系、及び請求項18の特徴を有し、投影露光系の結像特性を調節する方法を提供する。

10

【0024】

この形態による光学ビーム偏向要素は、光線束内の幾何学的伝播方向（光線角度）分布を実質的に変化させることなく、光線束の光線にわたる放射エネルギー分布の微調整を可能にする。光学ビーム偏向要素の作動中に、光学ビーム偏向要素上に入射する放射ビームを1つ又はそれよりも多くの第1の偏向領域内にあるビーム偏向要素の第1の偏向構造に当てることができる。入射放射ビームの光線と第1の偏向構造との相互作用は、第1の光線が、所定の光線角度分布内の光線角度に対応する伝播方向を有するように射出放射の光線角度分布を生成する。一般的に、入射放射ビームに存在していなかった光線角度が、ビーム偏向要素によって生成される。例えば、光学ビーム偏向要素が、入射放射ビームの殆ど平行な放射の領域に位置決めされた場合には、ビーム偏向要素は、放射の発散を増大させることができる。

20

【0025】

第1の偏向構造を出る第1の光線の第1の光束内の各第1の光線は、第1の偏向構造によって判断される特定の伝播方向、及び同じく第1の偏向構造によって判断される特定の第1の強度を有する。第1の光線の伝播方向の幾何学的な光線角度分布は、光学ビーム偏向要素を設計する対象となった所定の光線角度分布によって表すことができる。第1の光線束の強度又はエネルギーは、所定の光線角度分布に存在する各角度（伝播方向）と特定の第1の強度値を関連付ける第1の強度分布によって特定の方式で表される第1の光線にわたって配分される。

30

【0026】

同じか又は別の作動モードにおいて、入射放射ビームは、第1の偏向領域に対して横方向にオフセットされて配置された1つ又はそれよりも多くの第2の偏向領域に配置された第2の偏向構造を照明することができる。照明される場合、第2の偏向構造は、第2の光線の第2の光束を生成する。各第2の光線は、第1の偏向構造によって生成される第1の光線にも付与される所定の光線角度分布内の光線角度に対応する伝播方向を有する。従って、所定の光線角度分布は、ビーム偏向要素の両方の作動モードにおいて実質的に同じである。

【0027】

40

しかし、第2の光線は、第1の強度分布とは大きく異なる第2の強度分布に従う第2の強度を有する。言い換えれば、光線角度分布は、入射放射ビームによって第1の偏向領域又は第2の偏向領域のいずれが照明されるかに関わらず、実質的に同じである。しかし、射出光線束内の光線にわたる放射エネルギー分布は、照明が第1の偏向領域から第2の偏向領域に（又はその逆に）シフトされる時に所定の方式で変化する。

【0028】

光学ビーム偏向要素の効果は、光学ビーム偏向要素が、照明系の1次光源と照明系の瞳平面（又は光学ビーム偏向要素の遠視野内の平面）との間の放射ビーム経路に導入された場合に生成することができる照明設定の観点から表すことができる。光学ビーム偏向要素によって生成される角度分布は、瞳平面内（又はビーム偏向要素の遠視野内）の空間強度

50

分布に変換される。照明設定の観点から説明すると、光学ビーム偏向要素は、第1の偏向構造が照明される時に特定の照明設定を生成し、第1の偏向構造の代わりに又はそれに加えて第2の偏向構造が照明された場合に、照明設定は実質的に変化せずに留まる。しかし、入射放射が第1の偏向構造から第2の偏向構造に（又はその逆に）シフトされた場合には、空間強度分布内の局所強度分布は、ビーム偏向要素の第1の偏向構造と第2の偏向構造の間の構造差、及び入射放射ビームを受ける第1の偏向構造と第2の偏向構造の相対面積によって定められるターゲット方式で変化する。それによって所定の照明設定においてエネルギー保存の放射エネルギー再配分が得られる。

【0029】

本出願の関連では、照明系の瞳面内の連続的な照明ゾーンの個数及び基本的な配列がビーム偏向要素の異なる作動モードの間で変化しない場合には、同じビーム偏向要素によって生成することができる2つの異なる照明モードを「実質的に同じ設定」に対応するものとして表す。特に、照明モードが第1の照明モードから第2の照明モードに変更される時に、実質的にいかなる光線角度（放射エネルギーの伝播方向）も追加されないか又は完全に消滅しない場合には、2つの設定は「実質的に同じ設定」である。

【0030】

例えば、ビーム偏向要素の実施形態は、従来照明設定（瞳面内の円盤形の照明ゾーン）において、照明ゾーンのサイズ（半径）が、ビーム偏向要素の様々な作動モードにおいて実質的に同じに留まり、一方、極均整を改善するために、エネルギー分布を例えば分割平面の片側から他方の側に向けてシフトさせることによって実質的に変更することができるように空間強度分布を変更するように設計することができる。実質的に同じ設定の範囲で、2%又はそれ未満、1%又はそれ未満、又は0.5%又はそれ未満の程度の照明円盤半径（パラメータ）の軽微な変化を満足できる。

【0031】

ビーム偏向要素の実施形態が二重極照明を生成するように設計される場合には、ビーム偏向要素の異なる作動モードの間で、照明極のラジアル幅が2%よりも大きく変化しない場合、かつ極の方位角方向に測定した極幅が1°よりも大きく変化しない場合に、異なる二重極設定を実質的に同じ設定と見なすことができる。

【0032】

輪帯照明設定を生成するためにビーム偏向要素がアキシコン要素又はズームアキシコン系との組合せに使用される場合には、アキシコン要素がビーム偏向要素の異なる作動モードの間で固定位置に留まり、かつ環状のラジアル幅（ ）が、ビーム偏向要素の異なる作動モードの間で2%よりも大きく変化しない場合に、輪帯照明設定は「実質的に同じ設定」である。四重極照明のような他の多重極照明設定において、類似の定義が成り立つ。

【0033】

更に本出願の関連では、第1の強度分布は、第2の強度分布と、その差が公称で同一の偏向構造を生成する時の製造公差から予想される差よりも実質的に大きい場合に異なる。

【0034】

一方、第1の強度分布においてある一定の伝播方向にある一定の望ましい量の放射エネルギーが存在する場合には、第2の強度分布が設定される場合にも同じ方向に進むある一定の有限量の放射エネルギーが一般的に存在することになる。異なるモードの間の強度変化は、通常は比較的小さい。例えば、第1の強度分布における所定の放射伝播方向における強度と第2の強度分布における所定の放射伝播方向における強度とは、50%、40%、又は30%又はそれ未満を上回っては異なる。例えば、第1の強度分布においてある一定の伝播方向に進む放射が100%の強度を有する場合には、第2の強度分布において、同じ「光線」又は伝播方向は、通常は少なくとも50%、少なくとも60%、又は少なくとも70%の強度を有することになり、その逆も同様である。

【0035】

一般的に、「偏向領域」は、所定の偏向構造を有する単一のセルによって定めることができ、又は偏向構造が偏向領域のセルにおいて複数個にわたって繰り返され、偏向領域の

10

20

30

40

50

規則的又は不規則なセルアレイを定める各々が同じ偏向構造を有する同一セルの配列によって定めることができる。偏向領域の同一セルは、横並びで配置するか又は互いから分離することができる。

【 0 0 3 6 】

屈折偏向構造、すなわち、光を屈折する（回折するのに反して）ように構成された偏向構造が可能である。多くの場合に、偏向構造は、屈折ではなくて回折によって放射を向け直す回折格子構造のような回折構造によって形成される方が好ましい。回折構造を使用することにより、偏向ビームにおける光線角度及び強度の非常に微細な調節が可能になる。ビーム偏向要素が回折構造を含む場合には、このビーム偏向要素を回折光学要素（DOE）で表すことができる。特に、回折光学要素は、コンピュータ生成ホログラム（CGH）とすることができる。

10

【 0 0 3 7 】

1つのビーム偏向要素において異なる種類の偏向構造を組み合わせることができる。例えば、屈折偏向構造を回折構造と組み合わせることができる。CGH構造とも表すコンピュータ生成ホログラム構造を含むことができる異なる種類の回折構造を組み合わせることができる。一部の実施形態では、光学ビーム偏向要素は、フレネルゾーン構造のアレイと、これらのフレネルゾーン構造の間の隙間に形成された複数の回折CGH構造とを含む。フレネルゾーン構造は、光を高い効率で向け直すビーム偏向要素の主構造を形成することができる。フレネルゾーン構造に加えて設けられたCGH構造は、フレネルゾーン構造によって生成される基本的なエネルギー分布の修正を与えるエネルギー調節構造として利用することができる。一般的に、フレネルゾーン構造は、異なる位相厚の隣接ゾーンを通じて伝播する光線の間ターゲット方式で位相シフトを導入する位相段差構造として設計することができる。エネルギー損失が最底限に抑制されるので、位相段差フレネル構造を好ましいとすることができる。代替的に、フレネルゾーン構造は、同心ゾーン内に異なるレベルの減衰を与えるグレースケール構造として設計することができる。

20

【 0 0 3 8 】

フレネルゾーン構造のアレイと、フレネルゾーン構造の間の隙間に形成された複数の回折CGH構造とを含むビーム偏向要素は、本出願において説明するもの以外の有利性を有することができる。例えば、そのようなビーム偏向要素は、ビーム偏向要素のどの部分区域が入射放射ビームを受けるかに依存して照明設定を変更するように構成することができる。

30

【 0 0 3 9 】

第1の偏向領域と第2の偏向領域は、互いに直接に隣接して又は空間的に分離して配置することができる。偏向領域のセル内の偏向構造は、隣接するセルの間の境界領域内にいかなる構造不連続性も存在しないように形成することができる。直近のセルの間で連続的な構造遷移が発生する場合には、不連続境界において場合によって発生する強度変化を回避することができる。隣接セルの間に構造不連続性を存在させることも可能である。一般的に、この種の構造は、隣接セル内の偏向構造を設計するのに大きい自由度を与える。

【 0 0 4 0 】

第2の偏向領域は、第1の偏向領域に第1の方向の片側で隣接して配置することができ、第1の偏向領域に第1の方向に沿って反対側で隣接して、第1及び第2の強度分布とは異なる第3の強度分布に従う第3の強度を有して所定の光線角度分布内の光線角度に対応する伝播方向を各々が有する第3の光線の第3の光束を生成する第3の偏向構造を含む第3の偏向領域を配置することができる。これらの実施形態では、入射放射ビームとビーム偏向要素の間の第1の方向と平行な相対変位は、所定の幾何学的な光線角度分布内の3つ又はそれよりも多くの異なる強度分布の間で選択を行うことを可能にする。第1の偏向構造のみが照明される場合には、純粋な第1の強度分布を得ることができる。それぞれの比率の第1及び第2の偏向構造が照明される場合には、第1の強度分布と第2の強度分布の線形組合せを得ることができる。同様に、第1の偏向構造と第3の偏向構造の両方がそれぞれの面積比率で照明される場合には、第1の強度分布と第3の強度分布の線形組合せを得

40

50

ることができる。

【0041】

偏向構造のどの選択が所定の程度で照明されるかに基づいて、所定の光線角度分布内で漸次的な強度分布変化を得ることができるように、3つよりも多い異なる強度分布を生成する3つよりも多い種類の偏向領域を第1の方向に適切な順序で設けることができる。

【0042】

一部の実施形態では、第2の偏向構造と第3の偏向構造とは、所定の環状分布に対して定められた少なくとも1つのエネルギー分布パラメータに互いに反対の方式で影響を及ぼすように設計される。例えば、第1の偏向構造のみが照明される場合には、基準極均整を生成することができる。極均整は、第1の偏向構造と第2の偏向構造と（又は第2の偏向構造のみ）が照明される場合に基準状況に対して改善することができ、それに対して第1の偏向構造と第3の偏向構造と（又は第3の偏向構造のみ）が照明される場合には、基準状況に対して低下させることができる。従って、ビーム偏向要素及び/又は入射放射ビームの第1の方向と平行な相対移動は、極均整、楕円率、又は勾配のようなそれぞれのエネルギー分布パラメータに対するマニピュレータとして利用することができる。

10

【0043】

一部の実施形態では、ビーム偏向要素は、第1、第2、及び第3の強度分布とは異なる第4の強度分布に従う第4の強度を有して所定の光線角度分布内の光線角度に対応する伝播方向を各々が有する第4の光線の第4の光束を生成する第4の偏向構造を含む第1の偏向領域に第1の方向を横断する第2の方向の片側で隣接して配置された第4の偏向領域を更に含む。入射放射とビーム偏向要素との第2の方向に沿った相対移動は、入射放射ビームによって照明される第4の偏向構造の面積比率に依存する第4の強度分布の寄与によって全体強度分布に影響を及ぼすように利用することができるので、これらの実施形態は、ビーム偏向要素によって生成される空間強度分布内でエネルギー分布を操作するための更に別の自由度を提供する。ビーム偏向要素は、第1、第2、第3、及び第4の強度分布とは異なる第5の強度分布に従う第5の強度を有して所定の光線角度分布内の光線角度に対応する伝播方向を各々が有する第5の光線の第5の光束を生成する第5の偏向構造を含む第1の偏向領域に第2の方向に沿って反対側で隣接して配置された第5の偏向領域を更に含む。第4の偏向構造と第5の偏向構造は、所定の角度分布によって定められる少なくとも1つのエネルギー分布パラメータに互いに反対の方式で影響を及ぼすように設計することができる。

20

30

【0044】

これらの実施形態は、第1の方向及び第2の方向の又は第1及び第2の方向によって定められる平面内のいずれかの他の方向のビーム偏向要素と入射放射ビームの相対変位によって2つの異なるエネルギー分布パラメータ（極均整、楕円率、又は勾配のような）に互いに独立して影響を及ぼすことを可能にする。

【0045】

第1及び第2の偏向領域、並びに任意的な第3、第4、及び更に別の偏向領域の各々は、偏向構造を含むそれぞれのセルから構成されるブロック（又はセル群）を形成することができる。従って、一部の実施形態では、1つのみの連続的な第1の偏向領域、1つのみの連続的な第2の偏向領域、及び任意的に他の強度分布を生成する更に別の単一の連続的な偏向領域が存在する。

40

【0046】

他の実施形態では、ビーム偏向要素は、第1の周期的ラスタ配列で離間した位置に配置された複数の第1の偏向領域と、第2の周期的ラスタ配列で第1の偏向領域に対して横方向にオフセットされて離間した位置に配置された複数の第2の偏向領域とを含む。第2の偏向領域は、ビーム偏向要素の光学的使用区域内で1つ又はそれよりも多くの方向に第1の偏向領域と第2の偏向領域との（任意的に更に別の偏向領域との）交互配列を得るように第1の偏向領域の間に配置することができる。

【0047】

50

これらの実施形態では、第1及び第2の偏向領域、並びに任意的に更に別の偏向領域の偏向構造は、ビーム偏向要素の光学的使用区域にわたって1次元又は2次元のアレイで規則的な方式で配分することができる。従って、射出放射ビームに寄与する第1の偏向領域と第2の偏向領域との面積比率を変更することができる異なる作動モードの間でシフトさせる上で、入射放射とビーム偏向要素の間の僅かな相対変位しか必要ではないように、比較的大きい有効面積の第1の偏向領域、第2の偏向領域、及び任意的な更に別の偏向領域は、比較的小さい相対距離の位置に配置することができる。

【0048】

第1及び/又は第2の偏向領域のラスタ配列は、入射放射ビームをビーム偏向要素上に空間的に分離した照明スポットの周期的ラスタ配列を形成する複数の分ビームに再分割することによってアドレス可能である。

10

【0049】

ビーム偏向要素が、照明系の瞳形成ユニット内に組み込まれる場合には、瞳形成ユニットは、入射放射ビームをビーム偏向要素上に空間的に分離した照明スポットの周期的ラスタ配列を形成する複数の部分ビームに分離するように構成されたビーム分離器を含むことができる。ビーム偏向要素の1つの作動モードでは、全てのスポットは、例えば、第1の偏向領域のみの上に入射することができる。この場合、入射部分ビームによって第2の偏向領域のみが照明される第2の作動モードを得るために、ビーム偏向要素の小さい相対シフトを使用することができる。類似の方式で、それぞれのラスタ配列に配置された任意的な更に別の偏向領域もアドレス可能である。

20

【0050】

より一般論として、照明系は、ビーム偏向要素上にビーム偏向要素の選択された領域を照明する照明スポットの配列を形成する複数の部分ビームを生成するのに有効な可変配列を含むことができ、この配列は、配列の異なる作動モードにおいてビーム偏向要素上の異なる選択された領域が照明されるように可変的に制御可能である。それによって異なる偏向領域を利用するビーム偏向要素の異なる作動モードの間の選択を行うことができる。

【0051】

便利な態様においては、照明系は、連続的か又はいくつかの部分ビームに分離することができる入射放射ビームが、ビーム偏向要素の1つ又はそれよりも多くの望ましい領域をアドレス指定するように、入射放射ビームの入射方向を横断する移動方向、例えば、照明系の光軸と垂直にビーム偏向要素を移動するように構成された駆動系を含むことができる。駆動系を作動させることによって異なる領域がアドレス可能である。代替的に、ビーム偏向要素を固定位置に有し、かつ入射放射を適宜シフト又は再配分させることが可能である。この場合、照明系に関連付けられた光源とビーム偏向要素の間に可変的に制御可能な偏向配列を配置することができる。

30

【0052】

一部の実施形態では、第1及び第2の偏向構造によって生成される所定の光線角度分布は、ビーム偏向要素の遠視野内の多重極空間強度分布に対応し、第1の強度分布と第2の強度分布とは、強度の極均整、楕円率、及び勾配のうちの少なくとも1つにおいて異なる。他の実施形態の偏向構造は、多重極設定又は他の照明設定において他のエネルギー分布パラメータに影響を及ぼすように構造化することができる。例えば、輪帯照明は、比較的幅狭のラジアル幅の照明環状を必要とする場合がある。環状設定の内側及び外側の半径に影響を及ぼすズームアキシコン系を有する照明系では、小さい値を提供するために、ズームアキシコン系の要素の極端な構成を必要とする場合がある。これらの条件の下では、環状ゾーンの比較的均等な照明強度を与えるのは困難である場合があることが観察されている。この事実を時として「極汚損」と呼ぶ。ビーム偏向要素の偏向構造は、主に、極汚損による強度損失を被り、通常望ましいものよりも弱い強度を受け取る環状区域内に放射を偏向することにより、この効果を打ち消すように特別に設計することができる。ビーム偏向要素の偏向構造は、比較的幅狭の環状に対応する環状光線分布を生成するように構造化することができる。この場合、アキシコン要素の極端な構成におけるアキシコン系

40

50

の作動は、完全に回避するか又は実質的に低減することができる。

【 0 0 5 3 】

本発明はまた、1次光源から放出された1次放射を受光し、パターンを担持するマスク上に入射する照明放射を生成するように構成及び配置された複数の光学要素と、照明系の瞳面内に選択照明モードに対応して定められた空間強度分布を生成するように構成された瞳成形ユニットを形成するいくつかの光学要素とを含み、瞳成形ユニットが、本発明の態様による光学ビーム偏向要素を含む照明系にも関する。

【 0 0 5 4 】

本発明はまた、1次放射を生成する光源と、1次放射を照明経路に沿って案内してパターンを有するマスク上に入射する照明放射を生成する照明系と、投影経路に沿って案内される投影放射によってパターンの像を感光放射基板上に投影する投影対物系とを含み、照明系が上述のように構成される投影露光装置にも関する。

10

【 0 0 5 5 】

本発明はまた、照明系と投影対物系とを有する投影露光装置の結像特性を調節する方法にも関し、本方法は、照明系に関連付けられた光源と照明系の瞳平面との間の放射経路に光学ビーム偏向要素を配置して、瞳平面に所定の空間強度分布を生成する段階と、上記又は以下に説明するように構造化されたビーム偏向要素上に入射する放射ビームとこのビーム偏向要素との間に相対変位を生成する段階とを含む。

【 0 0 5 6 】

この調節する方法は、照明系の他の構成要素の位置又は作動モードを修正することなく、所定の照明設定の範囲で放射強度分布を操作又は変更することを可能にする。

20

【 0 0 5 7 】

本明細書に説明するようにビーム偏向要素を利用することにより、様々な露光系の結像特性の間の不均衡を低減することが可能になる。特に、本発明はまた、各々が照明系と投影対物系とを含む第1の投影露光系と少なくとも1つの第2の投影露光系との間で結像特性を整合させる方法にも関し、照明系の各々は、照明系に関連付けられた光源と照明系の瞳平面との間の放射経路に配置されて瞳平面に所定の空間強度分布を生成する光学ビーム偏向要素を含み、第1の照明系内の第1のビーム偏向要素と第2の照明系内の第2のビーム偏向要素とは、実質的に同一構造を有し、第1のビーム偏向要素上と第2のビーム偏向要素上とで同じ領域が照明される時の構成と比較した時に第1の露光系の結像特性と第2の露光系の結像特性との間の不均衡が低減するように、第1のビーム偏向要素上に入射する第1の放射ビームは、第1の領域上に案内され、第2のビーム偏向要素上に入射する第2の放射ビームは、第1の領域とは異なる第2の領域上に案内される。

30

【 0 0 5 8 】

照明系内のビーム偏向要素は、これらのビーム偏向要素が同じ設計規則に従って製造されるという意味で同一とすることができる。従って、偏向要素の間の差は、単に製造工程によってもたらされる公差の範囲内にあると考えられる。第1の照明系内のビーム偏向要素は、第1の作動モードにおいて、特定の偏向領域又は偏向領域の一部が入射放射ビームを受けようとして作動され、それに対して第2の照明系内のビーム偏向要素は、第1の露光系と第2の露光系の両方において設定された所定の光線角度分布の光線角度にわたって若干異なる全体強度分布を与える若干異なる第2の作動モードで作動される。言い換えれば、両方の露光系内のビーム偏向要素は、工程の仕様による同じ空間強度分布であるが、同じ照明設定の範囲で若干異なる強度分布を生成するのに寄与する。強度分布の間の差は、それぞれの露光系の光学性能の間の少なくとも部分的な差を補償し、それによってプリント製品内に性能差が現れないようにするように調節することができる。従って、それぞれの照明系内で若干異なる作動モードで作動される同じ種類のビーム偏向要素を用いて作業することにより、露光系におけるツール間整合を得ることができる。

40

【 0 0 5 9 】

公称で同一の露光系間の性能差は、例えば、光源における僅かな差、使用されるマスクにおける僅かな差、光学要素に使用される材料における僅かな差、及び/又は露光系の光

50

学系内の光学要素配列における僅かな差によってもたらされる可能性がある。本明細書に説明するようにビーム偏向要素を使用することにより、製造される製品の品質に対するこれらの性能差の可能な悪影響を低減することが可能になる。それによって1つの特定の露光系に対して最適化されたリソグラフィ工程を同じ種類の他の露光系に移し換えるか、又は修正することができる。本発明の開示のビーム偏向要素を利用するマスク照明の調節は、非常に高い分解能に最適化されたリソグラフィ工程において特に有利であるとする事ができる。

【0060】

リソグラフィ工程の品質を表す1つの尺度は、基板内に生成される構造の臨界寸法の変化である。照明の照射量の変動は、結像構造の寸法の変動を招く可能性がある。具体的には、照射量が減少する時に、構造は、意図したものよりも幾分肉薄に出現する傾向を有する。同様に、高い照射量は、意図したものよりも幅広に結像する構造を招く可能性がある。いずれの場合も、寸法の変動（臨界寸法の変動又はCD変動）は、仕上がったマイクロ電子デバイス内に欠陥を招く可能性がある。従って、リソグラフィ工程では、低レベルのCD変動が一般的に望ましい。上記又は以下に説明するように、ビーム偏向要素を使用するツール間整合は、異なる投影露光系間のCD変動の差を低減するのに使用することができる。

10

【0061】

本出願では、集積回路の製造における投影露光方法及び投影露光装置の使用への特定の参照が為される。しかし、これらの方法及び装置は、集積光学系、磁気ドメインメモリのための案内及び検出パターン、液晶表示パネル、薄膜磁気ヘッドなどの製造におけるような他の用途に対して使用することができる。

20

【0062】

個々の特徴は、本発明の実施形態として単独又は組合せで実施することができ、又は他の用途分野において実施することができる。更に、これらの特徴は、本出願において保護を主張するか又は本出願の係属中に保護を主張することになるこれらの実施形態自体の権利において保護可能な有利な実施形態を表すことができる。

【図面の簡単な説明】

【0063】

【図1】投影露光装置における対称軸外照明の原理を概略的に例示する図である。

30

【図2】様々な照明モードを略示する図である。

【図3】エネルギー分布パラメータ、すなわち、極均整（図3A、図3B）、楕円率（図3C、図3D）、及び勾配（図3E、図3F）の異なる定義を概略的に例示する図である。

【図4】二重極照明モードに向けて構成された照明系の実施形態を概略的に例示する図である。

【図5】5Aにビーム偏向要素の第1の実施形態の平面図を略示し、5Bにビーム偏向要素の拡大詳細を示す図である。

【図6】二重極照明設定の極均整に影響を及ぼす上で有効なビーム偏向要素の2つの作動モードを6A及び6Bに例示する図である。

【図7】ビーム偏向要素の第2の実施形態の平面図を7Aに示し、第2の実施形態の拡大詳細を7Bに示す図である。

40

【図8】異なる偏向領域から構成されるラスタ配列を有するビーム偏向要素と、ビーム偏向要素の上流にあり、選択偏向領域に向けられた部分ビームを生成するビーム分離器とを含む照明系の瞳成形ユニットの一部を略示する図である。

【図9】セル上に入射する放射ビームRB内に含まれる放射に対する単一のセルの光学効果を示す図である。

【図10】回折ビーム偏向要素内に形成されるセル内の異なる種類の格子構造の光学効果を示す図である。

【図11】異なる強度分布を有する射出光線束を生成する異なる偏向構造を有する異なる種類のセルを有するビーム偏向要素を示す図である。

50

【図 1 2】後焦点面内の強度に寄与するようにいくつかのセルを照明することができる方法の例を示す図である。

【図 1 3】回折ビーム偏向要素が照明系におけるテレセントリック性マニピュレータとして機能することができる方法を 1 3 A 及び 1 3 B に略示する図である。

【図 1 4】可変エネルギー分布マニピュレータとして使用することができる回折ビーム偏向要素の実施形態を示す図である。

【図 1 5】ビーム偏向要素を含む照明系の一部の実施形態を略示する図である。

【図 1 6】フレネルゾーン構造とフレネルゾーン構造の間の隙間に形成されたコンピュータ生成ホログラム構造 (CGH 構造) とを含む透過ビーム偏向要素の実施形態を示す図である。

10

【図 1 7】複合光源と複数の部分ビームによって照明されるビーム偏向要素とを含む照明系の一部の例を 1 7 A 及び 1 7 B に示す図である。

【図 1 8】ビーム偏向要素の単独セル又はセルの部分群を入射放射の部分ビームをそれぞれのセル又はセル群上に案内することによってアドレス指定することを可能にする配列を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0064】

以下に続く好ましい実施形態の説明では、適切である場合には、異なる図に示す同様又は同一の特徴部を同じ参照識別名で表す。

【0065】

20

光学リソグラフィでは、より小さい特徴部を忠実に結像することを可能にする軸外照明を使用することは公知である。この技術を使用すると、パターン化構造 (パターン) を与えるマスクは、焦点深度を増大させることによって工程許容範囲が改善されるように及び/又はコントラストが改善されるように傾斜 (非垂直) 角で照明される。

【0066】

図 1 は、軸外照明の原理を示している。投影露光系の照明系 I L L は、1 次光源 L S から 1 次放射を受光して照明光を形成し、ビーム B が、パターン P A T を保持するマスク M 上にビ入射する。ビームは、従来法では垂直である光軸 O A に対して傾いた角度 θ で傾斜して入射する。入射ビーム B は、マスク M 上のパターン P A T の特徴部によって回折され、これらの特徴部は、フォトレジスト R E S の層で被覆されたウェーハ W 上に投影対物系 P O によって結像されることになる。図 1 には、ゼロ次及び 2 つの 1 次の回折ビーム (0, ± 1) を示している。コヒーレントであるゼロ次と 1 次の方との少なくとも一部が投影対物系 P O によって捕捉されてウェーハ W 上に像を形成するのに使用される場合には、改善された性能を得ることができる。

30

【0067】

が、ビーム B 内の放射の公称作動波長である時に、マスク M 上のパターンの特徴部のピッチ P (又は周期長) が小さい程、回折角 θ は、 $\theta = \lambda / P$ に従って大きくなる。特徴部のサイズが過度に小さくなり、及び/又はその密度が過度に高くなる場合には、投影対物系 P O の瞳が 1 つよりも多い回折次数を捕らえることができず、捕捉することができない点に至ることになる。実際の系では、光源の部分干渉を判断し、従って、露光許容範囲、焦点深度、及び近接効果のような露光工程の性能指数に対して重要な開口角 θ の範囲が存在することになる。

40

【0068】

角度 θ の分布は、有効放射源 (有効光源) の強度分布、又は同等に投影対物系の瞳平面内の強度分布を考慮することによって視覚化することができる。図 2 は、代表的な例を示している。

【0069】

図 2 A は、図に矢印に示しているパラメータ θ によって特徴付けられる単純な軸上照明モードを示している。 θ (多くの場合にコヒーレンス因子とも呼ばれる) の値は、瞳の半径に対する照明強度円盤 (ハッチングしている) の半径の比として従来通りに見積もられ

50

る。

【 0 0 7 0 】

図 2 B は、瞳平面における空間強度分布が、瞳平面に対するフーリエ変換平面であるマスク平面における角度分布に関連することを考慮して、光源の強度分布が軸外照明の入射角度範囲を制限するように環状に拘束される輪帯照明モードを示している。環状は、瞳の半径に対する内側半径及び外側半径の比である値 r_i 及び r_o によって特徴付けることができる。

【 0 0 7 1 】

図 2 C は、その使用が環状モード又はコヒーレントモードに対して改善された結像結果を場合によって与える四重極照明モードの強度分布を示している。従来そのような四重極構成を使用する場合には、投影されるマスクのパターン化構造が、 x 軸と y 軸に沿う直交線の部分パターンを含み、4 つの極の各々が、これらの x 軸と y 軸によってこれらの軸の交点に定められる 4 つの四分円のうちのそれぞれの 1 つに位置するように照明が向けられることが仮定される。

10

【 0 0 7 2 】

特定の用途では、二重極照明モードが使用される。図 2 D は、二重極モードにおける二重極照明強度分布の例を示している。このモードの 2 つの極 P_1 、 P_2 は、結像系の光軸 OA から外れて位置する。例示目的で、図 2 D に例示している 2 つの極を x 軸に沿って位置するように表し、これらの極は、 y 軸と平行に延びる結像線、すなわち、2 つの極を結ぶ極方位軸 POA と垂直に延びる結像線に対して最適になる。時によって x 軸及び y 軸をそれぞれ水平及び垂直と呼ぶが、一般的に、これらの用語は、機械の向きに対するいかなる関係も伴わない。

20

【 0 0 7 3 】

図 2 D に例示しているように、従来系における極 P_1 、 P_2 の幾何学形状は、環状の方位角区画に対応することができる。最大コントラストを得るために 1 次の回折次数が投影対物系の開口を完全に通過しなければならないという要件に起因して、極のラジアル幅 r_p と、極角 θ_p によって定めることができる極の方位角幅（円周方向の幅）とに対して制限がもたらされる。二重極照明では、理論的に理想的なコントラスト及び焦点深度を有する 2 ビーム結像のための条件を発生させるために、有効光源は 2 つの極に拘束される。

30

【 0 0 7 4 】

瞳平面内の空間放射強度分布は、瞳平面内の放射エネルギー（又は強度）分布に敏感な 1 つ又はそれよりも多くのエネルギー分布パラメータによって更に特徴付けることができる。図 3 に関連していくつかの例を説明する。

【 0 0 7 5 】

図 3 A、図 3 B は、瞳平面を中心で再分割する分割平面 DP の 2 つの側の間で放射エネルギーが如何に配分されるかの量的尺度であるパラメータ「極均整 (PB)」の定義に関する。図 3 A では、分割平面 DP は x 方向に沿って延び、一方、二重極照明設定の 2 つの極 P_1 、 P_2 は、垂直な y 方向に向けられる。極均整は、2 つの瞳半域内の積分強度の間の比として定めることができる。二重極照明の場合には、対応する極均整パラメータ PB は、最大強度を有する極の強度と最低強度を有する極の強度の間の比 I_{MAX} / I_{MIN} として定めることができる。従って、両方の極において等しい強度は、 $PB = 1$ をもたらし、極の間の不均等な強度分布は、1 とは異なる極均整値をもたらしことになる。図 3 B では、分割平面 DP は、対応する極均整パラメータ PB が、瞳の上側半域と下側半域の間の強度比に関連するように y 方向に沿って延びている。このパラメータは、極内のエネルギーが瞳の上側半域と下側半域にわたって均等に配分される場合には、 y 方向の 2 つの極の強度の差には殆ど依存しない。しかし、 x 方向に不均衡が存在する場合には、この不均衡は、この極均整パラメータに現れることになる。

40

【 0 0 7 6 】

図 3 C、3 D は、パラメータ「楕円率 (EL)」の定義を示している。一般的に、楕円

50

率は、瞳中心で交わる2つ又はそれよりも多くの軸を中心とする領域に沿って放射エネルギーが如何に配分されるかを判断するエネルギー分布パラメータである。殆どの場合、楕円率は、瞳平面内で2つの互いに直交する方向に関するエネルギー分布を指す。図3Cは、水平/垂直楕円率 $E_{L_{HV}}$ を示している。瞳は、x方向とy方向の間で45°に延びる分割平面によって4つの90°四分円IからIVに再分割される。第1及び第3の四分円I及びIIIは、y方向を中心とし、それに対して第2及び第3の四分円II及びIVは、x方向を中心とする。楕円率を判断するために、四分円の各々内に含まれるエネルギーが別々に積分される。次に、 $E_{L_{HV}} = (I_I + I_{III}) / (I_{II} + I_{IV})$ に従って、y方向を中心とする第1の四分円内のエネルギーと第3の四分円内のエネルギーとの和は、y方向を中心とする第2の四分円内のエネルギーと第4の四分円内のエネルギーとの和によって割算される。図3Dは、図3Cの四分円に対して45°に配置された四分円内の別の定義の楕円率 $E_{L_{ST}}$ を示している。この場合、四分円I及びIIIは、x方向とy方向の間のような中間の対角線を中心とし、楕円率値は、図3に関連して説明したものと同様に計算される。y極を有する二重極照明の楕円率を判断する場合に、第2又は第4の四分円内にいかなる強度も案内されない限り、図3Cの水平/垂直の楕円率は、2つの極の強度の不均整に依存しないことは明らかである。しかし、楕円率 $E_{L_{ST}}$ は、極の各々の内部のエネルギーがy軸に関して均等に配分されない場合には、何らかの変化を示す場合がある。一般的に、楕円率は、最も多くの場合に、輪帯照明設定、六角形照明設定、又は従来照明設定におけるエネルギー分布を定量化するのに使用される。

10

【0077】

20

図3E、3Fは、照明設定のエネルギー分布を表す上でエネルギー分布パラメータ「勾配 (GRAD)」を判断することを有利とすることができる状況を示している。基本的に、勾配は、瞳平面内の1つの所定の方向に沿う強度変化として表すことができる2次元エネルギー不均衡を表す。図3Eの例では、強度は、負のy値から正のy値に向けて連続して増大し、勾配は、関数 $E(y)$ の傾きによって表すことができる。図3Fでは、関数 $E(y)$ は、瞳中心において最小値を有し、エネルギーが、瞳の中心から縁部に向けてラジアル方向に増大することを示している。

【0078】

図4は、二重極照明モードに向けて構成された投影露光系における照明系ILLの実施形態を略示している。1次光源LSによって供給される1次放射は照明系ILLによって変換され、パターンPATを担持するマスクM上の照明視野IF内に入射する照明放射が供給される。放射は、パターンPATによって回折され、投影対物系(図示せず)を通じて伝播する投影放射を形成し、投影対物系は、マスクのパターンをレジスト層で被覆されたウェーハのような基板上に結像する。

30

【0079】

照明系ILLは、2つの極P1とP2とによって特徴付けられる二重極照明設定に対応する照明系の瞳平面P_{ILL}における所定の空間強度分布によって形成される有効光源ESを発生させる瞳成形ユニットPSUを含む。有効光源ESが形成されるP_{ILL}は、マスクMが位置する投影対物系の物体平面OSに対するフーリエ変換面である。従って、有効光源ESの空間光強度分布は、マスクM上に入射する照明放射の角度分布を判断する。フーリエ変換を実施するために、コンデンサー系CSが設けられる。

40

【0080】

投影対物系の瞳面は、照明系の瞳面P_{ILL}に対して光学的に共役である。従って、マスクの不在時には、有効光源ESにおける強度分布と同等の空間強度分布を投影対物系の瞳面内に形成することができる。パターンを担持するマスクが照明系と投影対物系の間に入れた場合には、投影対物系の瞳平面内の強度分布は、更にマスクパターンPATの特性に対応する回折情報を含む。

【0081】

図4の図は、大きく簡略化したものであり、正確な縮尺のものではない。特にこれは、様々な光学ユニットを少数の光学要素のみで表すことを意味する。実際にはこれらのユニ

50

ットは、有意により多くのレンズ及び他の光学要素を含むことができる。次に、照明系をより詳細に説明する。

【0082】

約193nmの作動波長の1次放射を放出するエキシマレーザは、1次放射源LSとして機能する。他の波長、例えば、248nm又は157nmも考えられている。エキシマレーザによって放出される放射は、ビーム送出系BDによって照明系ILLに案内されてビーム拡大ユニットEXPに入射し、放射束は、ビーム拡大ユニット内で幾何学的光学流束を変化させることなく拡大される。ビーム拡大ユニットは、図示のようにいくつかのレンズを含むことができ、又は例えばミラー配列として達成することができる。放射は、ビーム拡大ユニットEXPから矩形断面を有する実質的に平行な放射ビームRBとして射出

10

【0083】

ビーム拡大ユニットEXPを通過した後に、放射ビームの光線は、回折光学要素(DOE)で形成された透過光学ビーム偏向要素BDE上に入射する。回折光学要素BDEは、放射を望ましい伝播方向にエネルギー損失を殆ど伴わずに偏向する偏向構造として機能する所定の回折格子構造を各々が有する小さいセルの2次元ラスタ配列を含む。エネルギー損失は、15%よりも少ない程度、例えば、5%と15%の間にあるとすることができる。ビーム偏向要素は、図示の実施形態では、発散が導入されるように各入射光線を偏向する回折格子で形成された偏向構造を含む。これは、ビーム偏向要素上の各位置において、放射がある一定の角度範囲で回折されることを意味する。図4ではこの回折を2つの発散光線R1、R2に分割される軸線方向光線において略示している。すなわち、回折光学要素BDEは、入射放射の角度分布を修正し、遠視野強度分布に影響を及ぼす。

20

【0084】

回折ビーム偏向要素BDEは、異なる角度分布を生成する別のビーム偏向要素で容易に置換することができるように、交換ホルダH内に受け取られる。ホルダHに関連付けられた駆動系DRIは、照明系を組み込む投影露光装置の中央制御ユニットCUから受信される駆動信号に応答して、ホルダと、ホルダ内に受け取られるビーム偏向要素BDEとを照明系の光軸OAに対して垂直な平面(x-y平面)内で制御可能に移動するように構成される。従って、駆動系を作動させることにより、ビーム偏向要素BDEの異なる領域を放射ビーム経路に連続的にシフトさせることができる。移動は、x方向、y方向におけるもの、又はx駆動とy駆動との組合せ作動に依存していずれかの横断方向におけるもの

30

【0085】

この移動は、例えば、ビーム偏向要素を傾斜させるx/y平面内の軸の回りの回転を含むことができる。図4では、ビーム偏向要素BDEの傾斜移動を曲線双方向矢印TIに示している。傾斜角は、1°又はそれよりも大きい程度、例えば、約1°と約5°の間にあるとすることができる。ビーム偏向要素が傾斜された場合には、入射放射の入射角及び照明区域を若干変更することができる。傾斜は、照明される偏向領域の有効構造を変更することができること、及び/又は入射放射に対して作用する偏向領域の空間形状及び位置をビーム偏向要素を傾斜させることによって若干変更することができることを主な理由として、放出放射のエネルギー分布を変更するのに寄与することができる。更に、正確な法線入射から逸れる回折ビーム偏向要素の緩やかな傾斜は、0次の回折回数における望ましくない強度を低減するのを促進することができることを見出されている。0次の回数におけるそのような残差強度は、例えば、位相段階回折光学要素における段差面の製造中のエッチング深さの不正確性からもたらされる可能性がある。従って、傾斜は、ビーム偏向要素によって生成される強度分布を改善することができる。

40

【0086】

回折光学要素BDEは、回折ビーム偏向要素から射出する発散光線を平行化するズームレンズ群Zの前側焦点面FFPに位置決めされる。この場合、ズームレンズ群Zを調節す

50

ることにより、放射束の直径を変更することができる。ズームレンズ群を出る少なくとも実質的に平行化された光線束は、次に、対向する円錐面を有するアキシコン要素の対 A X に入射する。両方のアキシコン要素が接触状態にある一定の場合には、アキシコン対 A X は、平行平面の面を有する板の効果をもたらし、両方のアキシコン要素が移動して離れた場合には、アキシコン要素の間隔は、放射エネルギーのラジアル方向に外向きのシフトをもたらす。この場合、円盤の断面を有する光線束は、リング（又は環状）の断面を有する光線束に変換されることになる。アキシコン要素は、当業技術でそのように公知であるから、本明細書ではより詳細に説明しない。

【 0 0 8 7 】

参照識別名 P_{ILL} は、照明系 I L L の瞳平面を表す。瞳平面 P_{ILL} の直前には、複数のマイクロレンズアレイを含むことができる光学ラスタ要素 F D E が配置される。光学ラスタ要素 F D E は、照明系瞳平面 P_{ILL} 内に複数の 2 次光源を生成する。2 次光源は、x 方向と y 方向とに沿って異なる発散を有する光を生成することができる。例えば、マスク上でスリット形状の照明視野が望ましい場合には、光学ラスタ要素 F D E の射出側開口数は、x 方向に 0.28 から 0.35 の範囲、y 方向に 0.07 から 0.09 の範囲にあるのものとすることができる。図 4 では、光学ラスタ要素 F D E によって導入された発散を 2 つの異なる 2 次光源から射出する発散光線 R 3、R 3、R 4、R 4 で略示している。

10

【 0 0 8 8 】

光学ラスタ要素 F D E から射出する発散光線は、コンデンサー系 C S に入射する。コンデンサー系の前側焦点面は系瞳平面 P_{ILL} と一致し、以下では後焦点面を中間視野平面 I F P と呼ぶ。この場合、系瞳平面内の特定の 2 次光源から射出する発散光束は、平行光線束としてコンデンサー系 C S を離れ、中間視野平面 I F P を完全に照明する。一方、同じ角度の下に 2 次光源から射出する全ての光線は、中間視野平面 I F P 内の単一の点に収束することになる（図 4 の点描区域を参照されたい）。

20

【 0 0 8 9 】

中間視野平面 I F P 内又はその近くに視野絞り F S が位置決めされる。結像対物系 I O は、中間視野平面 I F P を露光作動中にマスク M が位置決めされる像平面に対して光学的に共役にする。この像平面をマスク平面とも呼び、像平面は、その後の投影対物系（図示せず）の物体平面 O S に対応する。この場合、結像対物系 I O は、中間視野平面 I F P に配置された視野絞り F S をマスク M 上に結像し、少なくとも y 方向に沿って延びる短側辺において照明視野 I F の鮮明な縁部を保证する。

30

【 0 0 9 0 】

照明系（有効光源 E S）の瞳面の軸線方向の図を示す挿入図 4 A によって示しているように、照明系は、強度が y 方向に瞳の外縁にのみ存在するように（図 2 D とも比較されたい）、光軸 O A から外れて x 方向に対して対称に配置された 2 つの強度極 P 1、P 2 を有する二重極照明を与えるように構成される。この空間強度分布は、回折ビーム偏向要素 B D E とズームアキシコン系 Z A との組合せ作用によってもたらされ、アキシコン要素は、相補円錐面の間に間隔が設けられるように分離される。回折光学要素 B D E が、y 方向の周りの 2 つの楔形の角度ゾーン内に光線を偏向するのに対して、ズームアキシコン系は、光軸上にいかなる強度も存在しないように光線をラジアル方向に外向きに向け直す。この構成では、回折光学要素によって生成される光線角度分布は、極の方位角幅（極角）を定める。極のラジアル位置及びラジアル幅は、ズームアキシコン系の適切な分離によって調節される。

40

【 0 0 9 1 】

次に、二重極設定を生成するのに使用される光学ビーム偏向要素 B D E の第 1 の実施形態を図 5 を参照してより詳細に説明する。図 5 A は、照明系の光軸と平行な方向、すなわち、入射放射ビーム R B の光線方向に対してほぼ平行な方向にビーム偏向要素 B D E の平面図を示している。図 5 B は、図 5 A 内で円によって示している拡大詳細図を示している。基本的にビーム偏向要素は、作動波長のレーザ放射に対して透過性を有する溶融シリ

50

カ (SiO_2) 又はフッ化カルシウム (CaF_2) のような光学品質材料から作成された平行平板を含む。ビーム偏向要素 B D E は、屈折ではなく回折によって入射放射の経路変更を行う回折光学要素 (D O E) である。回折光学要素 B D E は、基本的にエネルギー損失を伴わずに放射を望ましい伝播方向に偏向する偏向構造として機能する所定の回折格子構造を各々が有する小さい矩形セル C 1、C 2、C 3、... の 2 次元ラスタ配列を含む。矩形セルは、互いに直接に隣接し、ビーム偏向要素の光学的使用断面を隙なしに埋める。回折セルは、回折光学要素の所定の領域を埋めるセル群を形成するように配分される。回折構造は、望ましい角度分布に基づく逆算によって生成される。そのような要素をコンピュータ生成ホログラム (C G H) と表す。

【 0 0 9 2 】

回折光学要素の中心の周りに形成された矩形の第 1 の偏向領域 D R 1 は、同じ回折構造を各々が有する同一第 1 のセル C 1 の配列を含み、それによってこの同じ回折構造は、第 1 の偏向領域のセル内で複数個にわたって繰り返される。第 1 の偏向領域のサイズは、ビーム偏向要素が入射放射ビームを中心とする第 1 の作動位置に配置される場合に、入射放射が第 1 のセル C 1 のみを照明するように、入射放射ビームの断面形状よりも x 方向と y 方向の両方において幾分大きい。図 5 A では、第 1 の作動位置における放射ビームのフットプリント R B 1 を破線に示している。

【 0 0 9 3 】

第 1 のセルの各々は、回折光線において同じ光線角度分布を発生させるように構造化される。この光線角度は、幾何学的な光線角度分布が瞳平面内の照明ゾーン (極) の幾何学形状を定めるように照明系の瞳平面内の光線位置に変換される。更に、回折放射の強度 (エネルギー) は、第 1 のセル上に入射する全体強度が、第 1 のセルによって発生する異なる回折角又は伝播方向にわたって如何に配分されるかを表す第 1 の強度分布に従って様々な光線方向にわたって配分される。第 1 の強度分布は、2 つの極 P 1、P 2 内の強度が、極の内側の全ての位置において均一な強度を有し、かつ極の外側で実質的にいかなる強度も持たないトップハット関数に基本的に対応するように定めることができる。更に、強度レベルは、両方の極内で同じであることが意図される。

【 0 0 9 4 】

y 方向に第 1 の偏向領域 D R 1 の直近には、全てが基本的に同じものである第 2 の偏向構造を各々が有する第 2 のセル C 2 で構成された矩形の第 2 の偏向領域 D R 2 が存在する。照明された第 2 のセルの組は、第 1 の偏向領域の第 1 のセルによって同様に生成される幾何学的な光線角度分布に属する伝播方向を各々が有する第 2 の光線の第 2 の光束を生成する。従って、第 2 のセルが照明されると、回折放射は、第 1 及び第 2 の極内の同じ照明領域に向けて案内される。しかし、第 2 の光線は、第 1 の強度分布とは異なる第 2 の強度分布に従う第 2 の強度を有する。言い換えれば、第 1 のセル C 1 と第 2 のセル C 2 とは、回折光線において実質的に同じ光線角度 (伝播方向) を生成するが、発生した光線角度にわたる放射エネルギーの分布は、第 1 のセルと第 2 のセルとの間で異なる。

【 0 0 9 5 】

更に、ビーム偏向要素の右上コーナは、第 3 のセル C 3 内に構成された第 3 の偏向構造群によって形成された第 3 の偏向領域 D R 3 を含む。第 3 のセル内の第 3 の偏向構造の各々は同じであり、第 1 のセル及び第 2 のセルと同じ光線角度分布を発生させる。しかし、発生した光線角度分布を有する光線にわたる強度分布は、第 1 及び第 2 の強度分布とは異なる。

【 0 0 9 6 】

更に、光学ビーム偏向要素は、第 1 の偏向領域 D R 1 の直近でそれに対して x 方向に横方向にオフセットされた第 4 の偏向領域 D R 4 を含む。第 4 の偏向領域は、第 4 のセル C 4 内に第 4 の偏向構造を含み、第 4 のセルの各々は、第 1、第 2、及び第 3 の偏向領域によって同様に発生する光線角度分布内の伝播方向 (又は光線角度) を全てが有する第 4 の光線の第 4 の光束を生成する。しかし、これらの第 4 の光線にわたる強度分布は、第 1、第 2、第 3 の偏向領域の強度分布とは異なる。第 1 の偏向領域の他の側部には、図 5 A に

10

20

30

40

50

略示しているように更に別の偏向領域が配置される。

【0097】

異なる偏向領域DR1、DR2、DR3、DR4等が有する異なるセル内の全ての偏向構造は、ビーム偏向要素の位置に対してフーリエ変換関係にある瞳平面内の特定の二重極空間強度分布に変換される実質的に同じ幾何学的光線角度分布を生成することは理解されるものとする。しかし、第1のセルC1は、回折光線において第2のセル、第3のセル、又は第4のセルとは異なる強度分布を生成する。従って、瞳平面内の照明ゾーン(極)内の空間放射強度分布を入射放射ビームによって照明されるセルの適切な個数と種類とを選択することによって変更することができる。例えば、第1の偏向領域内の第1のセルC1は、二重極照明の2つの極内に一様な強度分布が存在するように構造化することができる。第2の偏向構造にある第2のセルC2は、強度分布の楕円率ELが、第1の偏向領域によって生成される楕円率と比較して低下するように構造化することができる。この状況を「EL」に示している。第3の偏向領域内の第3のセルC3は、第2のセルC2と同じ楕円率(EL)を発生させるが、全体エネルギーが極の間でシフトされ、極均整PBが第1又は第2のセルによって生成される強度分布におけるものよりも小さくなる(PBに示す)ように構造化することができる。それとは対照的に、第4の偏向領域DR4内の第4のセルC4は、第1の偏向領域DR1内の第1のセルと同じ空間強度分布及び楕円率値を生成するが、極にわたって異なるエネルギー分布を生成して極均整(PB)を低下させるように構造化される。

10

【0098】

当業者は、そのような光学ビーム偏向要素が有効であり、かつ瞳平面内の所定の空間強度分布内で、すなわち、瞳平面内の照明区域の形状、サイズ、及び位置を実質的に変化させることなくエネルギー分布を連続的に変更する照明系内のエネルギー分布マニピュレータとして使用することができることを理解する。これは、図5Aの概略図面から理解することができる。第1の作動位置では、入射放射ビームは、第1の偏向領域DR1の上に入射し(フットプリントRB1に示している)、それによって第1のセルC1によって生成される光線角度を有する光線の角度分布及び第1のセルにのみ対応する第1の強度分布を発生させる。ビーム偏向要素のこの中立位置で得られるエネルギー分布が、印刷された構造において不十分な結果しか生成しないことが見出された場合には、別の強度分布を生成する偏向構造が瞳平面内の強度分布の形成に寄与するように入射放射ビームに対してビーム偏向要素を横方向にシフトさせることにより、同じ極にわたるエネルギー分布を変更することができる。この例では、入射放射ビームが、第1の偏向領域DR1内の第1のセルだけではなく、第2、第3、及び第4の偏向領域内の第2のセル、第3のセル、及び第4のセルも照明するように、光学ビーム偏向要素は、x-y平面内でx方向とy方向とに対角線方向SHに沿ってシフトされる。ビーム偏向要素の第2の作動位置における放射ビームのフットプリントRB2を一点鎖線に示している。第2、第3、及び第4のセルが、この時点で入射放射ビームによって照明される単独セルの相対個数にほぼ比例する程度で瞳平面内の全体強度分布に寄与するという事実起因して、エネルギー分布は、この時点で修正され、低い楕円率(EL)及び低い極均整(PB)がもたらされる。第1、第2、第3、及び第4のセルの相対寄与は、入射放射ビームに対するビーム偏向要素の移動量(及び方向)に依存して連続的に変更することができる。

20

30

40

【0099】

この例示的な説明から、図5のビーム偏向要素を入射放射ビームに対する変位量における方向に基づいて、2つの異なるエネルギー分布パラメータ、すなわち、極均整PBと楕円率ELとを互いに独立して又は組合せで変更するように作動させることができることは明らかである。具体的には、極均整(PB)を低下させるか又は増大させるかのいずれかを行う上で、x方向のみの移動を使用することができる。また、楕円率(EL)を低下させるか又は増大させるかのいずれかを行う上で、y方向のみの移動を使用することができる。x方向とy方向の間の任意の方向の移動は、極均整と楕円率の両方を適切なシフト方向とシフト長さとを選択することにより、連続的に調節可能な量だけ変更することができる

50

【0100】

図6は、y方向に沿って極を有する二重極照明設定における極均整を入射放射ビームRBに対して回折ビーム偏向要素をシフトさせることによって如何に操作することができるかを略示している。図6Aに示す第1の構成では、ビーム偏向要素BDEは、入射放射ビームが第1の偏向領域DR1内のセル上のみ入射する中立位置に配置される。セルの回折偏向構造は、照明系の瞳 P_{ILL} 内に二重極照明を生成するように構造化される。上部にある部分図は、強度Iが2つの極P1、P2の間で如何に配分されるかを示している。この例では、左手側の第1の極P1は、右手側の第2の極P2よりも大きいエネルギーを受け取る。強度の不均衡を極均整PB1に示している。極にわたるエネルギー分布の不均衡は、露光工程の不十分な像品質に現れる可能性がある。像品質は、2つの極にわたるエネルギー分布を修正することによって改善することができる。これを図6Bに略示している。この第2の構成では、ビーム偏向要素BDEは、関連付けられた駆動系DRIにより、入射放射ビームRBが、第1の偏向領域DR1内の第1のセルと第2の偏向領域DR2内の第2のセルの両方を第1の偏向領域DR1に対して横方向にオフセットされて照明するようにシフトされる。この領域は、瞳の右側の極により大きい強度を案内し、左手側により小さい強度を案内し、それによってある一定量の放射強度を左手側から右手側にシフトさせる偏向構造を有するセルを含む。ビーム偏向要素は、両方の極が実質的に同じ強度を受け取る位置に制御可能にシフトさせることができ、この状況を極均整PB=1に示している。

10

20

【0101】

次に、回折ビーム偏向要素BDEの第2の実施形態を図7及び図8に関連して解説する。ビーム偏向要素は、入射放射ビームに対するビーム偏向要素の位置の僅かな移動により、ビーム偏向要素によって生成される空間放射分布において非常に高速の変化をもたらすように使用することができる。図7Aに示しているように、ビーム偏向要素は、隙間なしに光学的使用区域全体を埋める直交アレイに配置された矩形の上位セルAの2次元配列を含む。図7Bに示しているように、各上位セルAは、3列3行で配置された9個のセルC1からC9のような所定の個数のセルに再分割される。各セルC1からC9は、単極設定又は四重極設定のような特定の照明設定に従って所定の光線角度分布を有する強度分布を生成する回折構造を有する。光線角度分布は、ビーム偏向要素が、入射放射ビームがビーム偏向要素上の何処に入射するかに関係なく、対応する空間強度分布形状を生成するように、上位セルA内の全てのセルにおいて実質的に同じである。

30

【0102】

しかし、セルの偏向構造は、所定の設定範囲のエネルギー分布に関して異なる。この目的のために、ビーム偏向要素は、上位セルAの縁部長さに従う周期性で周期的に繰り返す偏向構造を含む。y方向と平行な1つの周期性方向では楕円率ELは増大が、それに対して極均整は一定である。直交x方向では楕円率は一定であり、極均整が変化する。例えば、上位セルAの左下コーナにある第1のセルC1は、第1の楕円率EL1及び第1の極均整PB1を発生させる。y方向に隣接するセルC2及びC3内では、極均整は同じままに留まり、それに対して楕円率は、セルC2内の第2の楕円率EL2及びセルC3内の第3の楕円率EL3に変更される。上位セルAの第1のセルC1に対して1つのy周期分オフセットされて隣接する上位セルAの第1のセルC1内では、エネルギー分布パラメータPB1及びEL1は、第1のセルC1内のものと同じであり、y方向の周期性を示している。x方向では、類似の方式で楕円率は一定に留まり、極均整が変化する。具体的には、第4のセルC4は、第1の楕円率EL1及び第2の極均整PB2を生成し、第7のセルC7は、第1の楕円率EL1及び第3の極均整PB3を生成する。隣接する上位セルA内に続くセルC1は、第1のC1の構造と同一であり、x方向の周期性を示している。

40

【0103】

セルC1、C1、C1のような同じ強度分布を与える全てのセルは、第1の周期的ラスタ配列で離間した位置に配置された第1の偏向領域と見なすことができ、隣接する第2

50

のセルは、第1の偏向領域に対して横方向にオフセットされた第2の周期的ラスタ配列で離間した位置に配置された第2の偏向領域と見なすことができる。この実施形態は、第3の周期的ラスタ配列で離間した位置に配置された第3の偏向領域も含む。

【0104】

入射放射ビームが、ラスタ配列のそれぞれのセル上に照明スポットを形成する部分ビームに分離される場合には、各ラスタ配列内で同じ強度分布を生成するセルを同時にアドレス可能である。図8は、そのようなビーム偏向要素BDEをアドレス指定するように構成された瞳成形ユニットのいくつかの構成要素を示している。この概略図では、第1の偏向領域DR1をハッチングに示しており、それに対して第1の偏向領域の間の空間に配置された偏向領域DR2は無地である。ビーム偏向要素BDEは、光軸OAに対して垂直な平面内でビーム偏向要素をシフトさせるように構成された駆動系DRIに関連付けられた保持構造H内に受け取られる。

10

【0105】

ビーム送出によって供給される放射ビームRBは、拡大ユニットEXPによって直径が拡大される。拡大ユニットとビーム偏向要素BDEの間にはビーム分離器SEPが配置される。ビーム分離器は、ビーム分離器SEPの照明チャンネル数に対応する個数の部分ビームPBに入射放射ビームを幾何学的に分割する複数の光学チャンネルを形成するレンズ又はレンズ系のラスタ配列を含むマイクロレンズアレイを含む。光線が光軸OAに対して基本的に平行にビーム偏向要素上に入射するように全ての部分ビーム内でほぼ共直線の光線を供給するために、ビーム分離器とビーム偏向要素の間に更に別のレンズアレイを配置することができる。ビーム偏向要素の領域内では、部分ビームは、照明される偏向領域のラスタ配列に対応するビーム偏向要素の単独セルにサイズ及び位置が対応する照明スポットを形成する。

20

【0106】

図8の例では、全ての部分ビームは、2つの種類のビーム偏向領域のみを有するビーム偏向要素内で第1の偏向領域DR1を照明する。図7の実施形態では、ビーム偏向要素が、ビーム分離器によって供給される規則的なパターンの照明スポットに対して適切に位置決めされた場合に、第1のセルC1、C1、C1のみが部分ビームによって照明されるように、照明を再分割することができる。

【0107】

図示していない代替の実施形態では、ビーム分離器は、ビーム偏向要素に向けられた部分ビームをもたらず複数の透過開口を有する不透過マスクを含む。1つ又はそれよりも多くのマイクロレンズアレイのような比較的複雑で高価な光学要素を省くことができるが、通常、穿孔マスクは、多くの用途において望ましくない場合がある有意な放射損失をもたらす。

30

【0108】

交互配置(ネスト)構成にある偏向領域の周期的ラスタ配列から構成される2つ又はそれよりも多くの組を有する実施形態では、望ましい幾何学的光線角度分布及び望ましい強度分布を各々が有する射出ビーム(多数の部分ビームから構成される)を生成するために、多数の単独偏向領域を同時に照明することができる。同時に、他の偏向領域が照明されるような入射ビームに対するビーム偏向要素の(又はその逆の)ごく僅かの移動により、強度分布の迅速な変更を行うことができる。入射放射ビームによって照明される偏向領域の種類を完全に変更するのにごく僅かな相対変位しか必要とされないため、この構成は、所定の照明設定の範囲で強度分布の非常に高速な変更を可能にする。

40

【0109】

図7及び図8に関連して説明した異なる効果を有する偏向領域から構成される2つ又はそれよりも多くの交互配置された周期的ラスタ配列を利用するという概念は、完全に異なる照明設定が望ましい場合に、これらの照明設定の間で切り換えを行う上で利用することができる。例えば、図8の第1の偏向領域は、特定の二重極照明を生成するように構成化することができ、それに対して第2の偏向領域DR2は、四重極照明を生成するように

50

構造化することができる。従って、ビーム偏向要素上に入射する部分ビームによって生成される照明スポットの規則的アレイに対するビーム偏向要素の僅かな移動により、二重極照明と四重極照明の間的高速な変更を提供することができる。

【0110】

次に、光学ビーム偏向要素の更に別の特性及び異なる実施形態におけるこれらの特性の用法を図9及びそれ以降に関連して説明する。これらの実施形態では、ビーム偏向要素BDEは、屈折ではなく回折によって入射放射の経路変更をもたらす回折光学要素(DOE)の形態にある。従って、以下に続く説明の状況では、「ビーム偏向要素(BDE)」という用語と「回折光学要素(DOE)」という用語とを交換可能に使用することができる。

10

【0111】

一般的に、回折光学要素は、偏向構造上に入射する放射ビームRBを構成する放射を基本的にエネルギー損失なしにセル内の回折格子構造の特定の構造によって定められる望ましい伝播方向に偏向する偏向構造として有効な所定の回折格子構造を各々が有する小さいセルの2次元ラスタ配列を含むことができる。DOE内には数百個又は数千個のセルが存在することができる。図9は、ビーム偏向要素を組み込む光学系の光軸と平行なものとすることができる基準方向REFと平行にセル上に入射する放射ビームRB内に含まれる放射に対する単一のセルCの光学効果を示している。図9の実施形態では、単独セルCの照明ゾーンは、放射エネルギー又は放射強度が、放射エネルギーを受け取る全ての伝播方向に同じである放射円錐として成形された光線ペンシル(光線束又は部分光線束とも呼ぶ)を生成する。図9は、いくつかの代表的な伝播方向を表す矢印を示しており、この場合、矢印の長さは、矢印によって表す対応する立体角分割区画内で伝播する放射強度に比例する。伝播方向は、空間において基準方向に対する角度を定める方向パラメータ $u(u, v)$ によって定めることができる。図9の右手側の図は、光線ペンシルによって含まれる全ての伝播方向 u において強度 I が非ゼロ定数 I_0 であり、他の全ての方向において強度がゼロであることを示している。

20

【0112】

図10は、回折ビーム偏向要素内に形成されたセルC10内の異なる種類の格子構造の光学効果を示している。この実施形態では、回折格子は、異なる伝播方向の強度が伝播方向にわたって変化し、最外側光線方向の間のある一定の伝播方向がいかなる強度も全く持たない光線ペンシルをセルC10が発生させるように構造化される。具体的に、放射ビームRBの放射は、2つの空間的に分離した光線ペンシルに回折され、各光線ペンシル内では、基準方向に対して大きい角度を有する伝播方向の強度が大きく、基準方向に近い伝播方向に向けてほぼ線形に低下する。図9及び図10は、偏向構造によってもたらされる空間放射強度分布を偏向構造の適切な設計によってターゲット方式で選択することができることを示している。

30

【0113】

図11のビーム偏向要素BDEによって例示的に示しているように、ビーム偏向要素は、異なる強度分布を有する射出光線束を生成する異なる偏向構造を有する異なる種類のセルを有することができる。一般的に、ビーム偏向要素は、2つ又はそれよりも多くの異なる種類のセル又は2つ又はそれよりも多くの異なるセル群を有することができ、セル群の各セルは、基本的に同じ回折構造を有する。図11の例では、文字「A」で表す回折セル(種類Aのセル)は、伝播方向A5に最大強度を伝播方向A1に最低強度を有し、これらの方向の間で強度の線形低下を有する光線束を生成する。一方、セルAから空間的に分離して位置した「B」で表すセルは、同じ伝播方向(同じ回折角)を網羅するが、異なる強度分布を有する射出光線束を生成する。具体的には、方向B5(方向A5と平行な)に伝播する放射は、最低量の放射エネルギーを搬送し、それに対して方向B1(方向A1と平行な)に伝播する放射は、セルBによって向け直された最大量の放射エネルギーを搬送する。言い換えれば、両方のセル(種類A及び種類B)は、同じ伝播方向に強度を有する光線束を生成するが、伝播方向にわたる放射強度の分布は、異なる種類のセルの間で異なる。

40

50

【 0 1 1 4 】

ビーム偏向要素の異なる位置に配置された異なるセルは、光線ペンシル（光線束）が放出される光源と見なすことができ、各光線ペンシルは、それぞれの伝播方向とこの伝播方向に沿って進む強度とによって特徴付けられる。異なるセルによって放出される放射は、ビーム偏向要素から同じ伝播方向（又は角度）の下で射出する全ての光線が、ビーム偏向要素の遠視野内に位置する平面内の共通の単一の位置 P に収束するように、ビーム偏向要素の遠視野領域内で重なることになる。言い換えれば、ビーム偏向要素における光線角度（又は伝播方向）は、遠視野内の特定の位置（又は位置）に変換される。同時に、ビーム偏向要素上の異なる位置は、遠視野内の異なる光線角度に対応する。一般的に、ビーム偏向要素の遠視野は、ビーム偏向要素の異なる位置から射出する放射エネルギーの重ね合わせによって特徴付けられる。

10

【 0 1 1 5 】

ビーム偏向要素の異なる位置又はセルから放出される放射の正確に合致する重ね合わせは、ビーム偏向要素の下流の適切な位置に光学変換系 K を配置することによって達成することができる。図 1 1 に示している配列では、ビーム偏向要素 B D E のセルは、光学変換系 K（焦点距離 F_K を有する）の前側焦点面 F F P に配置される。この場合、異なるセルから放出される放射エネルギーの正確に合致する重ね合わせが、光学変換系の後焦点面 B F P 内で得られる。この配列では、後焦点面 B F P を「重ね合わせ平面」で表すことができる。 F_K が光学変換系 K の焦点距離である時には、ビーム偏向要素 B D E と重ね合わせ平面の間の距離は、光学変換系 K の焦点距離の 2 倍である。

20

【 0 1 1 6 】

この配列では、光学変換系 K によって実施される変換は、フーリエ変換に対応し、ビーム偏向要素 B D E 上のある放出点における特定の伝播方向範囲（立体角）が、後焦点面 B F P 内の特定の照明区域 I A に変換されるという効果を有する。この効果は、前側焦点面内の各伝播方向が後焦点面内の特定の位置 P（ x, y ）に変換されることに起因する。その結果、前側焦点面内の伝播方向の立体角は、後焦点面内の照明区域に変換される。一般的に、同じエネルギー重心伝播方向 u （ u, v ）を有する全ての部分光線束は、後焦点面 B F P 内の同じ位置 P（ x, y ）の周りの区域内に重ね合わされる。

【 0 1 1 7 】

一般的に、光学変換系は、前側焦点面内の角度が後焦点面内の位置に（及びその逆に）変換され、前側焦点面内の立体角が後焦点面内の区域に（及びその逆に）変換されるようなフーリエ変換を実行する。この変換を次式によって表すことができる。

30

$$P(x, y) = F_K \sin u(x, y)$$

及び

$$dR(x, y) = F_K d \sin u(x, y)$$

これらの式において、 $d \sin u$ という項は、光線束のエネルギー重心からの光線束の許容範囲（又は広がり）を表し、 $\sin u(x, y)$ という項は、光線束のエネルギー重心伝播方向を表す。

【 0 1 1 8 】

顕著なことには、前側焦点面内の（ビーム偏向要素における）光線束の射出点の位置は、強度量だけを考慮する限り、後焦点面内の放射エネルギーの重ね合わせに対していかなる影響も持たない。図 1 1 には、これを A 及び B における別々の光線ペンシルによって後焦点面 B F P 内に生成される強度分布を示す右手側の概略図によって示している。実線は、セル A を出る放射によって生成される強度分布を表しており、破線は、セル B を出る放射によって生成される強度分布を表している。セル A によって生成される最大強度を有する光線 A 5 によって生成される強度寄与とセル B によって生成される最低強度を有する光線 B 5 の強度とは、後焦点面内の同じ位置（A 5 + B 5）において重なることは明らかである。この重ね合わせは、光線 A 5 と B 5 とが互いと平行であり、すなわち、同じ伝播方向を有することに起因する。同様に、前側焦点面の近くで互いと平行な光線 A 1 と B 1 とは、照明区域の A 1 + B 1 における下側縁部において重なる。異なるセルによって生成され

40

50

る全ての強度にわたる積分は、後焦点面内の照明区域内で、この実施形態では照明区域内の全ての点において均一な強度をもたらす。しかし、各位置 P は、異なる方向（角度）から全体強度への異なる寄与を受け取る。

【 0 1 1 9 】

更に、z 方向に対して垂直な x - y 平面内での偏向構造（セル A、B）と入射放射との相対変位は、重ね合わせ平面（後焦点面 B F P）内での位置 P（x, y）を変化させない。

【 0 1 2 0 】

図 1 1 に関連して例示的に説明した重ね合わせの原理は、ビーム偏向要素の異なる作動モードを可能にする。一般的に、後焦点面内の照明区域は、入射放射ビームによって照明されるセルからのみ放射強度を受け取る。各照明セルは、それぞれの偏向構造によって判断されるそのセルの特定の偏向特徴に従って重ね合わせに寄与する。後焦点面内の照明区域内の強度分布の特徴は、入射放射ビーム R B によって照明されるセルの個数及び種類を選択することによって修正することができる。図 1 2 は、いくつかのセル C 1、C 1 などを後焦点面内の強度に寄与するように如何に選択することができるかの一部の例を示している。図 1 2 A の例では、入射放射ビーム（ビーム偏向要素上でハッチングに示している矩形のフットプリント）は、15 個のセルを含む矩形の区域を照明する。x - y 平面内での入射放射に対するビーム偏向要素の変位及び / 又はビーム偏向要素に対する入射放射ビームの変位は、異なる組のセルをアドレス指定するのを可能にする。図 1 2 B は、寄与するセルの選択をビーム偏向要素上の 2 つ又はそれよりも多くの区域を照明する 2 つ又はそれよりも多くの部分ビームに再分割することにより、又はビーム偏向要素内のセルを照明する 1 つ又はそれよりも多くの更に別の光源を追加することによって達成することができることを示している。

【 0 1 2 1 】

本明細書に詳細に説明する実施形態では、ビーム偏向要素の各セルは、基本的に同じ所定の光線角度分布で伝播方向を有する放射を生成する。しかし、強度分布は、所定の伝播方向（又は光線角度）分布内で、異なる種類のセルにおいて異なる。一般的に、互いに隣接するセル、隣接するセル行、又は隣接するセル列の間の強度分布の差は比較的小さく、例えば、約 1 % と 5 % の間程度である。

【 0 1 2 2 】

以下に続く例は、セルによって生成される光線角度（伝播方向）分布が全てのセルにおいて同じであるが、所定の光線角度分布にある光線にわたる放射エネルギー（又は強度）分布が異なるセルの間で異なることができる各々が特定の偏向構造を有する複数のセルを有するビーム偏向要素の用法を説明する。設計におけるいくつかの自由度は、これらの限定条件の下に留まる。最初に、光線束を構成する光線にわたる強度分布は、偏向構造を適切に構造化することによって調節することができる。次に、異なるセルは、射出光線束における所定の伝播方向にわたって同じか又は異なる放射エネルギー分布を有することができる。照明されるセルの各々に対して全放射流束が変化しない条件の下では、上述のことは、放射強度を所定の方式で（基本的にエネルギー損失なしに）再配分させるように偏向構造を構成することができることを意味する。

【 0 1 2 3 】

次に、マイクロリソグラフィ投影露光装置における照明系のような照明系内でテレセントリック性マニピュレータとして機能することができる回折ビーム偏向要素の実施形態を図 1 3 A、図 1 3 B に関連して以下に説明する。図 1 3 A は、後焦点面が前側焦点面に対するフーリエ変換平面である（図 1 1 と比較されたい）前側焦点面 F F P と後焦点面 B F P とを定める焦点距離 F_K を有する光学変換系 K を略示している。回折ビーム偏向要素（回折光学要素）は、前側焦点面 F F P に配置される。簡略化のために、3 つの異なる種類のセル、すなわち、セル A、セル B、及びセル C のみを示している。光学変換系によって定められる光軸に対して基本的に平行な放射ビームを受ける場合に、セルの各々は、照明されると、それぞれのセルによって生成される全ての伝播方向の光線を含む円錐光線束（

10

20

30

40

50

放射円錐)を放出する。光線角度(伝播方向)分布は、全ての3つの種類のセルA、B、Cにおいて同じである。図13Aは、セルAから放出された代表的な光線A1、A2、A3、セルBから放出された代表的な光線B1、B2、B3、及びセルCから放出された代表的な光線C1、C2、C3を示している。この図では、光線A1、B1、C1(概略図では上方に進む)は、互いに平行であり、すなわち、これらの光線は、前側焦点面の近くで同じ伝播方向を有する。同様に、光線A2、B2、C2は、互いに平行である(かつ光線A1、B1、C1に対して傾いている)。最後に、光線A3、B3、C3(図では下向き方向に進む)は、互いに平行である

【0124】

異なる伝播方向に進む相対強度を矢印の長さによって示している。比較的大量の放射エネルギーが方向A1に沿って進み、より少ない量が方向A2に沿って進み、更に少ない量のエネルギーが方向A3に沿って進む。共通の射出点から射出する(又は共通の点に向けて収束する)光線束内に含まれる放射エネルギーの分布は、「エネルギー重心光線」又は簡潔に光線束の「エネルギー重心」又は「エネルギー中心」と呼ぶことができる仮想光線によって特徴付けることができる。エネルギー重心光線は、それぞれの伝播方向に進むそれぞれのエネルギー量(又は強度)によって重み付けされた光線束に存在する全ての伝播方向の平均を表す。エネルギー重心の方向は、剛体の重心(COG)の位置と同様に判断することができる。

10

【0125】

上述の例に戻ると、セルAから放出される円錐光線束にわたる放射エネルギー分布は非対称(不均整)であり、エネルギー重心ECは、方向A1とA2の間のどこかに位置する。

20

【0126】

セルCによって生成される強度分布も非対称であるが、反対方向に非対称であり、従って、エネルギー重心光線は、光線C2とC3の間のどこかに進む。最後に、セルBは、全ての伝播方向にわたって均等な放射エネルギー分布を有する光線束を生成し、従って、エネルギー重心方向は、入射放射と平行に(光線B2と平行に)延びている。

【0127】

図13Bは、左列に円錐光線束におけるエネルギー状態を示しており、参照符号A、B、及びCは、セルA、B、及びCそれぞれによって生成された放射円錐を通る断面に対応する。「+」符号は、円錐の中心に位置する円錐の各々が有する幾何学的中心GCを表す。この図では、エネルギー重心ECの位置を小さい円で印している。

30

【0128】

ここで、入射放射が、全ての3つの種類のセルA、B、及びC上に入射する場合を考察する。図11に関連して上述したように、光学変換系Kの上流で(前側焦点面FFPの近くの円錐先端の領域内)である一定の伝播方向に沿って互いと平行に進む全ての光線は、後焦点面BFP内の同じ位置P(x, y)に向けて、この位置の上に入射する全体強度へのそれぞれの寄与を伴って収束することになる。従って、前側焦点面FFP内で互いに対して横方向にオフセットされたセルA、B、Cから放出された光線A1、B1、C1は、後焦点面BFP内の共通点P1上に入射する。しかし、前側焦点面上の各角度が、後焦点面BFP上の位置に変換され、前側焦点面における各位置が、後焦点面における特定の角度に変換されることに注意すると、方向A1、B1、及びC1に進む放射は、異なる方向から(すなわち、異なる角度で)共通点P1上に入射することが明らかである。点P1上に入射する光線の相対強度に起因して、P1に向けて収束する円錐のエネルギー中心E1は、基準方向REFに対して傾斜され、光線A1に対応する方向と光線B1に対応する方向の間に位置する。図13Aでは、点P1上に入射する光線円錐のエネルギー中心E1を太線の破線で印している。同様にして、全く反対の方向にセルA、B、及びCを出る放射(光線A3、B3、及びC3)は、後焦点面内の点P3に向けて、それぞれの強度を伴って収束し、それによって基準方向に対してE1と反対の方向に傾斜されたエネルギー中心E3を有する光線円錐を生成する。点P2上に入射する光線円錐は、各々が同量のエネルギーを搬送する光線A2、B2、C2内に含まれる放射から構成される。それぞれのエネルギー重心E2は、基準方向と平行に向けられる。

40

50

【 0 1 2 9 】

この簡略化した例は、回折ビーム偏向要素が、放射のエネルギー重心に対応する角度又は方向が照明区域 I A にわたって変化する放射束を光学変換系 K の後焦点面内に生成するのに有効であることを示している。この有効性は、照明区域にわたるエネルギーテレセントリック性の変化に対応する。本出願に使用する「エネルギーテレセントリック性」という用語は、基準方向に対するエネルギー重心の方向の相対的な向きを特徴付けるのに使用することができる。好ましくは、基準方向は、光学変換系 K によって定められる光軸と平行なものとすることができる。この場合、後焦点面内の所定の位置 P におけるテレセントリック性は、この位置に対応するエネルギー重心の方向と基準方向の間に定められる傾斜角 T C によって表すことができる。図 1 3 の例では、テレセントリック性は、点 P 1、P 2、及び P 3 を含む照明区域にわたって空間的に変化する。

10

【 0 1 3 0 】

この例は、後焦点面（又はそれと光学的に共役な平面）における照明区域内のテレセントリック性状態を調節することを特定の目的としたエネルギー分布マニピュレータとしてビーム偏向要素を使用することができることも示している。例えば、入射放射が、種類 A 及び種類 B のセル上にしか入射しないように案内される場合には、それぞれのエネルギー中心の方向は、全ての 3 種類のセルが照明される図 1 3 A に示している状況に対してシフトすることになる。照明区域上に入射する放射を生成するのにビーム偏向要素のセルから構成される異なる部分集合を任意的に選択する効果を図 1 3 B の右列に関連して略示する。「A + B」で表す上側の円では、セル A から放出された放射とセル B から放出された放射との重ね合わせを幾何学的中心（「+」記号）と純 A 状態におけるエネルギー中心の位置との間のどこかにあるエネルギー重心に示している。同様に、下側の図「A + C」は、種類 B 及び C それぞれのセルから放出された放射の重ね合わせを有する状況を示している。

20

【 0 1 3 1 】

ここで、可変エネルギー分布マニピュレータとして使用することができる回折ビーム偏向要素（回折光学要素）の実施形態を図 1 4 A、図 1 4 B に関連して以下に説明する。この実施形態では、様々なセル内の偏向構造は、エネルギー分布における楕円率を補正又は調節するように最適化される。図 1 3 A、図 1 3 B の図と同様に、回折光学要素は、入射放射ビームのエネルギー再配分に関して異なる特徴を有する A、B、及び C という名称の 3 つの異なる種類のセルを有する。矢印の方向は、部分光線束内に含まれる放射エネルギーの伝播方向を表し、矢印の長さは、それぞれの強度量を表す。各種類のセルは、図 1 4 B の左列にある断面に示しているように、円錐光線束を生成する。光線 A 1、A 3、B 1、B 3、及び C 1、C 3 は、y - z 平面内の放射方向を表す。A 2、B 2、及び C 2 という名称の矢印対は、y - z 平面に対して垂直な x - z 平面内の放射方向を表す。例示目的のみこれらの矢印を別々に示している。図 1 3 A、図 1 3 B の実施形態の場合と同様に、放射円錐の幾何学的中心 G C は、円形断面の中心に位置する。しかし、強度は、円錐内の全ての方向の間で均等に配分されない。代替的に、強度は、円錐の幾何学的中心の周りの中心領域内で一般的に高く、放射円錐の外縁に向けて全ての方向に連続的に低下する。図 1 4 B の左列に示しているように、種類 B のセルによって発生する立体角にわたる放射エネルギー分布は、幾何学的中心 G C に関して回転対称であり、すなわち、強度は、入射ビームの方向に沿って最大値を有し、全てのラジアル方向に同じ角度関数に従って徐々に低下する。一方、セル A 及び C によって生成される放射束内では、円錐の外縁と比較して高い強度のゾーンは、一般的に、楕円形の形状を有する。セル A によって生成される放射束では、楕円形ゾーンの長軸は、x 方向に延びるのに対して、種類 C のセルによって生成される放射束では、楕円の長軸は、y 方向に向けられる。種類 A 及び C のセル内の偏向構造は、放射円錐の幾何学的中心 G C に対して 2 重ラジアル対称性を有するが、いかなる回転対称も持たない強度分布を有する光線束を生成する。更に、強度分布の対称性に従ってエネルギー中心 E C は、光線束の幾何学的中心 G C と常に一致する。

30

40

【 0 1 3 2 】

図 1 3 の実施形態と図 1 4 の実施形態とを比較すると、図 1 4 のセルの各々は、放出放

50

射束内に対称強度分布を生成し、それに対して図13の実施形態のセルは、エネルギー中心が、放射束の幾何学的中心に対して角度によってオフセットされる（偏心する）ような非対称強度分布を生成することに注意すべきである。

【0133】

本出願の関連では、偏向構造は、エネルギー重心の方向が放射束の幾何学的中心の方向と一致する場合に、放出光線束内に「対称強度分布」を生成する。一方、光線束の幾何学的中心に対応する方向と光線束のエネルギー重心に対応する方向とが一致せず、これらの方向の間に有限角を含む異なる方向に沿って位置する場合には、偏向構造を「非対称強度分布」を生成するもので表す。

【0134】

異なる種類の偏向セルによって生成される放射エネルギーの重ね合わせの効果を光学変換系Kの後焦点面BFPにおける状況を示す図14Aの右手側に例示している。図13Aの場合と同様に、図14Aは、放射が、光学変換系Kの後焦点面BFP内に位置する照明区域内の3つの空間的に分離した点P1、P2、及びP3上に如何に入射するかを略示している。光学変換系は、入射側（前側焦点面）の伝播方向（又は角度）を射出側（後焦点面）上の位置（位置）に変換するので、同じ伝播方向を有する全ての光線A1、B1、及びC1は、ビーム偏向要素を出ると、それぞれの部分強度を伴って共通の点P1に向けて収束し、それによってセルCがセルA及びBよりも相対的に大きいエネルギーに寄与することに起因してz方向に向けて傾いたエネルギー中心方向E1を有する収束放射円錐を発生させる。点P2に向けて収束する放射束は、エネルギー重心E2がz方向と平行であるようにエネルギー的に対称である。セルCによって生成される光線C1内に含まれる相対強度と光線C3内に含まれる相対強度とが同じマグニチュードを有し、同様にセルAによって生成される光線A1内に含まれる相対強度と光線A3内に含まれる相対強度とが同じマグニチュードを有することに起因して、点P3に向けて収束する光線束内のエネルギー分布は、点P1に向けて収束する光線束内のエネルギー分布と同じである。それによって点P3に向けて収束する光線束内のエネルギー重心E3の方向は、点P1に向けて収束する光線束内のエネルギー重心E1と平行になる（すなわち、E1 = E3）。言い換えれば、図14Aの実施形態において後焦点面上に入射する放射のテレセントリック状態は、照明区域の外縁において（P1及びP3において）同じである。従って、テレセントリック性は、後焦点面内の照明区域にわたって僅かしか変化しない。それとは対照的に、非対称セルによって生成される図13の実施形態では、テレセントリック性において比較的大きい局所変化が存在する。

【0135】

図14Bは、ビーム偏向要素内でどの種類のセルが照明されるかに依存する様々な強度重ね合わせを示している。例えば、種類A及び種類Bのセルのみが照明される場合には、重ね合わせ強度（A + B）は、x方向に長軸を伴って延びる楕円ゾーンに似る。セルBからの放射とセルCからの放射とを重ねることにより、y方向に延びる長軸を有する楕円分布B + Cがもたらされることになる。他の組合せが可能である。

【0136】

図14Bは、生成される強度分布の形状又は形態をセル毎に徐々に変化させることができることを略示している。強度分布形状の変化は、水平方向及び/又は垂直方向に、すなわち、2次元セルアレイの行及び/又は列に沿って発生させることができる。この実施形態では、比較的高い強度を有する部分立体角領域の楕円率の特徴は、異なる種類のセルAとBとCとの間で変化する。より少ない個数又はより多い個数の異なる種類のセルをビーム偏向要素に存在させることができることは言うまでもない。射出放射を生成する特定の関連において実際に照明される各種類のセルのセル種類及びセル数量に基づいて「モーフィング効果」を得ることができる。所定の放射立体角の範囲のエネルギー分布は、入射放射によってどの種類のセルが照明されるか、及び各種類のセルが何個照明されるかを選択することによって変更することができる。それによって放射エネルギーが光学系を通じて伝播する際の所定の角度（又は伝播方向）範囲でエネルギー分布を変更することができるエネル

10

20

30

40

50

ギ分布マニピュレータを開発することが可能になる。

【 0 1 3 7 】

図 1 5 は、例えば、マイクロリソグラフィのための投影露光系内に使用することができる照明系の実施形態の一部を略示している。概略的なレイアウトは、図 4 に関連して詳細に説明した照明系 I L L の対応する部分と類似のものとする事ができる。簡略化の目的で、対応する構成要素又は群を同じ参照識別名で表す。図 1 5 に示している構成要素は、エキシマレーザのような 1 次光源 L S によって放出された放射を変換し、照明系の中間視野平面 I F P 内に照明区域 I A (照明視野)を照明強度 I の分布に関して、更に、照明強度がこの照明区域上に入射する方向に関して所定の特徴を伴って生成するように組合せて機能する。

10

【 0 1 3 8 】

図 4 の実施形態の場合と同様に、照明系は、照明系の瞳平面 P_{ILL} 内に所定の空間強度分布によって形成される有効光源を発生させる瞳成形ユニット P S U を含む。有効光源が形成される瞳平面 P_{ILL} は、中間視野平面 I F P に対するフーリエ変換面であり、更に、中間視野平面 I F P は、マイクロリソグラフィ処理のマスク (レチクル) が位置する投影対物系 (図示せず) の物体平面に対して光学的に共役な位置にある。フーリエ変換を実施するために、コンデンサー系 C S が設けられる。中間視野平面 I F P の下流の構成要素は、図 4 に示しているものと類似のものとする事ができる。

【 0 1 3 9 】

光源 L S によって放出された放射は、ビーム送出系 B D によってビーム拡大ユニット E X P 内に案内され、ビーム拡大ユニット E X P は、照明系の光軸 O A に対して基本的に平行に伝播する全ての光線を有する実質的に平行な放射から構成される射出放射ビーム R B を形成する。放射ビーム R B は、回折光学要素 (D O E) で形成された透過光学ビーム偏向要素 B D E 上に入射する。回折光学要素は、放射を基本的にエネルギー損失なしにビーム偏向要素の光学的下流で望ましい伝播方向に偏向する偏向構造として機能する所定の回折格子構造を各々が有する小さいセル C 1、C 2 のような 2 次元ラスタ配列 (行及び列) を含む。

20

【 0 1 4 0 】

回折ビーム偏向要素 B D E は、投影露光装置の制御ユニット C U によって制御される駆動系 D R I に関連付けられた交換ホルダ H 内に受け取られる。駆動系は、光軸 O A に対して垂直な x - y 平面内でビーム偏向要素を入射放射ビームに対して連続的にシフトさせるように構成される。従って、回折光学要素の移動は、どの単一のセル群 (又は複数のセル群) が、放射ビームに配置されるか、従って、照明区域上に入射する照明放射に寄与するかを選択することを可能にする。

30

【 0 1 4 1 】

ビーム偏向要素は、この回折ビーム偏向要素から射出する発散放射を平行化する光学変換系 K の前側焦点面 F F P に位置決めされる。光学変換系は、任意的に 1 対のアキシコン要素を有するズーム系を含むことができ、又は固定焦点距離を有し、アキシコン要素を有する又は持たない光学変換系のような異なる設計を有することができる。図 1 3 及び図 1 4 に関連して詳細に説明されているように、光学変換系は、フーリエ変換を実施して、光学変換系の前側焦点面内の回折光学要素を出る放射の光線角度 (伝播方向) を後焦点面 B F P 内の位置に変換し、前側焦点面内の位置を後焦点面 B F P 内の伝播方向 (角度) に変換する。

40

【 0 1 4 2 】

視野定義要素 F D E の第 1 のラスタアレイ R A 1 は、光学変換系の後焦点面又はその近くに配置される。第 1 のラスタアレイ R A 1 は、各々が正の屈折力を有するマイクロレンズ M L の形態にある複数の第 1 のラスタ要素を含む。ラスタ要素は、行と列とで配置され、互いの間に間隙を実質的に持たずに互いに直接に隣接して配置される。図 1 5 の子午断面図は、y 方向に列を構成する 4 つのマイクロレンズを示している。マイクロレンズは、照明区域 I A において望ましい矩形形状に対応する 1 以外のアスペクト比を有す

50

る矩形形状を有する。視野定義要素は、第1のラスタアレイRA1が位置する後焦点面に対するフーリエ変換平面である照明系の瞳面 P_{ILL} 又はその近くに配置された正の屈折力を有するマイクロレンズの形態にある第2のラスタアレイ要素から構成される第2のラスタアレイRA2を含む。第1及び第2のラスタアレイRA1及びRA2は視野定義要素FDEの構成要素であり、ラスタアレイ内の対応するマイクロレンズによって定められる複数の光学チャンネルI、II、III、IVを形成する。従って、視野定義要素FDEは、基本的にフライアイコンデンサーと同様に構成される。実際の実施形態では、視野定義要素は、数百の光学チャンネルのような多数の光学チャンネルを有することができる。

【0143】

第2のラスタアレイRA2のマイクロレンズは、コンデンサー系CSと共に、第1のラスタアレイRA1のマイクロレンズを中間視野平面IFP内に結像し、個々の第1のラスタアレイ要素の像は、中間視野平面内で重ね合わされる(完全に重なり合う)。それによって光学インテグレーターの光混合効果が得られる。

【0144】

図13及び図14に関連して上述したように、回折ビーム偏向要素内の偏向構造の特定の設計は、光学変換系の後焦点面BFP内の点に入射する放射のエネルギー重心の方向を判断することを可能にする。更に、入射方向は、どの種類のセルが照明されるか、従って、後焦点面上に入射する放射を生成するのに使用されるかを適切に選択することによって変更することができる。ここで、これらの機能が、照明区域IA内の照明強度の特徴に影響を及ぼすことを如何に可能にするかを以下に説明する。

【0145】

この例では、ビーム偏向要素は、図13に関連して説明したものと類似の非対称強度分布を生成するセルを有することができる。従って、光学チャンネルI及びIIは、放射が光学チャンネルに傾斜して入射するように、エネルギー重心E1、E2の方向が光軸OAとの有限角を含む放射を受ける。光軸の反対側に配置されたチャンネルIII及びIVでは、エネルギー重心E3、E4の方向の上記と反対の傾斜が生成される。

【0146】

チャンネルの各々内に連続して配置されたマイクロレンズと、その下流に配置されたコンデンサー系のうちの関連付けられた部分とは、理想的な(収差のない)結像系を形成しない。代替的に、光学作用は、入射部分ビームが、光軸に対して基本的に平行に進むか、又は光軸に対して実質的に傾いているかに依存して異なる。光軸に対して基本的に平行に進む入射部分ビームは、照明区域内に照明区域にわたって基本的に一定の強度分布を生成することになるのに対して、入射放射が光学チャンネルに傾斜して入射する場合には、すなわち、光軸に対する有限角の下では、光学チャンネルによって与えられる強度勾配が一般的に生成されることになる。これらの効果の詳細説明は、特許出願US 2009/0021715 A1に、特に、その図1から図6に関連して示されている。それぞれの情報は、引用によって本明細書に組み込まれている。

【0147】

図15の例示的な実施形態では、光学チャンネルI及びIIを通過する放射は、照明区域内の全体強度分布に対して、最低強度値が照明区域の上側縁部にあり、最大強度値が下側縁部にある照明区域にわたる勾配(実線I+II)を有する部分強度に寄与することになる。一方、光軸に対して反対方向に向けて傾斜された第3及び第4のチャンネルIII及びIVに入射する放射は、最大値を照明区域の上側縁部に有し、最低値を下側縁部に有する勾配(一点鎖線III+IV)を生成することになる。両方の場合に、勾配は線形とすることができる。

【0148】

照明区域IA内での強度の重ね合わせに起因して、照明区域にわたる全体強度は、破線I-IVに示しているように、照明区域内の全ての位置にわたって一定である。しかし、照明区域内の各位置において受け取られる強度寄与は、強度が入射する照明方向(又はチャンネル)に関して照明区域にわたって変化する。例えば、上側縁部にある視野点P1は

10

20

30

40

50

、チャンネルⅠ及びⅡからよりもチャンネルⅢ及びⅣから相対的に大きいエネルギーを受け取る。下側縁部にある視野点P3では反対のことが成り立つ。中心点P2は、全てのチャンネル(すなわち、方向)から基本的に同じエネルギー寄与を受け取る。従って、照明区域内のエネルギー重心の方向(又は角度)は、照明視野にわたって空間的に変化し、これは、照明視野にわたってテレセントリック性(エネルギーの)状態の空間変化が存在することを意味する。言い換えれば、照明区域内の全体強度は、照明区域にわたって基本的に一定であるが、強度の角度分布は、照明区域にわたって空間的に変化する。

【0149】

図15に示している後焦点面内に入射する放射のエネルギー重心E1からE4の方向は、ビーム偏向要素BDEの特定の位置に対して提供した単なる例として用いたものに過ぎず、照明されるセルの選択、すなわち、偏向領域の選択に応じて発生することに注意されたい。後焦点面が照明される方向にわたるエネルギーの角度分布に対する調節は、照明系の瞳平面P_{ILL}内の空間強度分布を変更することなく、すなわち、照明設定を変更することなく同じビーム偏向要素が有するセルの異なる組(すなわち、別の偏向領域)を照明することによって行うことができる。従って、セルの異なる組が照明されるように図15に示している位置に対してビーム偏向要素を変位させることにより、照明区域IA上に入射する照明放射のエネルギーテレセントリック性特性をターゲット方式で変更することができる(図6と比較されたい)。

【0150】

図16は、エネルギー分布マニピュレータとして使用することができる透過ビーム偏向要素BDEの別の実施形態を示している。ビーム偏向要素は、同一フレネルゾーン構造の行と列とで構成された規則的な2次元アレイで配置された複数の円形フレネルゾーン構造FRを含む。円形フレネルゾーン構造の間には、菱形の間隙空間が形成される。ビーム偏向要素の本体上のフレネルゾーン構造の間の隙間には、CGH構造とも表すコンピュータ生成ホログラム構造CGHが形成される。ビーム偏向要素は、溶融シリカ又はフッ化カルシウム又は入射紫外放射に対して十分な透過性を有する別の材料で作成された板状本体を有する。フレネルゾーン構造及びCGH構造は、リソグラフィ工程のような適切な微細構造化工程によって透過性の本体の片側に形成することができる。ビーム偏向要素の全体の有利区域の50%よりも多くが回折フレネルゾーン構造で覆われる。

【0151】

フレネルゾーン構造とCGH構造は、両方共に入射放射ビームからビーム偏向要素の遠視野内に円形空間強度分布を生成するのに有効な回折偏向構造である(図16の右側を参照されたい)。従って、ビーム偏向要素が瞳成形ユニット内に適切に組み込まれると、所定のコヒーレンス因子を有する従来照明が、このビーム偏向要素によって生成される。

【0152】

ビーム偏向要素の照明領域を完全に覆うフレネルゾーン構造とCGH構造との組合せは、CGH構造のみを含む回折ビーム偏向要素と比較して、ビーム偏向要素の効率(又は伝達率)を高めるのに有利であることができる。これは、以下の考察から理解することができる。例えば、リングゾーン内に8段階の位相厚を有する位相段差型の回折フレネル構造は、約94%の理論最高効率に達することができることが研究によって示されている。本明細書に使用する効率という用語は、回折ビーム内の強度比率を入射ビーム内のエネルギー比率で割算したものを表す。一方、8段階CGH構造は、理論的に約90%の最高効率に達する。従って、フレネルゾーン構造を使用することにより、ビーム偏向要素の全体効率(又は伝達率)が高まるように考えられている。従って、フレネルゾーン構造とCGH構造との組合せは、CGH構造のみを有する回折ビーム偏向要素と比較した場合に、ビーム偏向要素の全体効率を高めることができる。一方、フレネルゾーン構造に加えてCGH構造を設けることにより、ビーム偏向要素によって生成される幾何学的光線角度分布内のエネルギー分布に関して高い柔軟性が与えられ、それによって例えば照明系の瞳面内の空間強度分布を微調整することが可能になる。

【0153】

10

20

30

40

50

図17は、上記に解説した実施形態によるビーム偏向要素BDEをビーム偏向要素の特定のセル又はゾーンに各々が関連付けられた複数の部分ビームPBを含む入射放射を供給する特定の構成との組合せで含む照明系の一部分の2つの例を17A及び17Bに示している。これらの配列の各々は、これらの図には示していない光源コントローラによって互いに独立して制御することができる複数の光源LS1、LS2、...などを含む光源配列LSAを含む。この実施形態では、複合光源が有する各個別光源LS1、LS2、LS3等は、点灯構成(×を書き込んだ矩形に示している)と消灯構成(空白の矩形に示している)との間で制御を行うことができる高効率発光ダイオード(LED)である。複合光源とビーム偏向要素の間には、マイクロレンズアレイMLAが、マイクロレンズアレイの単一のレンズが複数の光源のうちの1つからの放射を集光し、かつ基本的にビーム偏向要素のセル又はゾーンのうちの1つのみの上に入射する部分ビームPBを形成するように配置される。個別光源は、2つ又はそれよりも多くの単独セルを含むビーム偏向要素のセルの部分集合に関連付けることができる。

10

【0154】

図17Aに示している状況では、第1、第3、第4、及び第6の個別光源LS1、LS3、LS4、及びLS6は点灯しており、それに対して他の光源LS2及びLS5は消灯している。従って、ビーム偏向要素のセル又はセル群C1、C3、C4、及びC6のみがビーム偏向要素を出る放射に寄与し、図示の瞬間に作動状態に使用される第1の偏向領域を組合せで形成する。セルC1、C2のような各々は、射出部分ビーム内に同じ幾何学的光線角度分布を生成するのに有効である。しかし、セル又はセル群は、幾何学的光線角度分布を構成する光線にわたる強度分布に関して異なる。従って、光学ビーム偏向要素は、所定の瞬間にどのセル群が複合光源によって照明されるかに依存するエネルギー分布マニピュレータとして有効である。

20

【0155】

図17Aは、全ての単独セルが同じ種類の偏向構造(例えば、回折格子、CGH構造、又はフレネルゾーン構造)で作成されるのに対して、図17Bのビーム偏向要素は、フレネルゾーン構造を有するセルと、フレネルゾーン構造の間の隙間にCGH構造を有する領域とを組み合わせる図16に示している一般的な種類のものである。

【0156】

一般的に、ビーム偏向要素との組合せで、個々にアドレス可能な単独光源を有する複合光源を組み合わせる配列は、所定の設定範囲の異なるエネルギー分布の間で非常に高速に切り換えを行うことを可能にする。切り換え時間は、例えば、5ms又はそれ未満の程度のものであることができる。この高速な切り換えは、異なる構成の間で切り換えを行うのにビーム偏向要素を機械的に移動する必要がないことに起因する。

30

【0157】

複合光源又は光源配列LSA内での複数の発光ダイオードの使用は、単なる例に過ぎない。他の複合光源が可能である。例えば、単一の入射レーザビームからの放射は、複合光源の光源として機能する2次光源を形成するように集束させることができる複数の部分ビームに適切なビーム分離器によって分離することができる。ビーム偏向要素の単独セル又はセルの部分群は、次に、例えば、適切なシャッターを使用することによって2次光源のうちの1つ又はそれよりも多くを点灯又は消灯することにより、個々にアドレス可能である。

40

【0158】

図18は、入射放射の部分ビームPBをそれぞれのセル又はセル群に案内することにより、ビーム偏向要素BDEの単独セル又はセルの部分群を別々にアドレス指定することを可能にする別の配列を示している。入射放射は、例えば、複数の個々に制御可能な発光ダイオードを含む複合光源又は光源配列LSAにより、又は共通の入射レーザビームから生成された2次光源によって供給される。単独光源の各々に関連付けられたレンズ又はレンズ群を有するマイクロレンズアレイMLAは、共通の光軸に対して基本的に平行な光線を有する複数の平行な部分ビームPBを生成する。部分ビームの各々の全体の輝度を別々に

50

【 0 1 6 5 】

B D E 回折ビーメ偏向要素

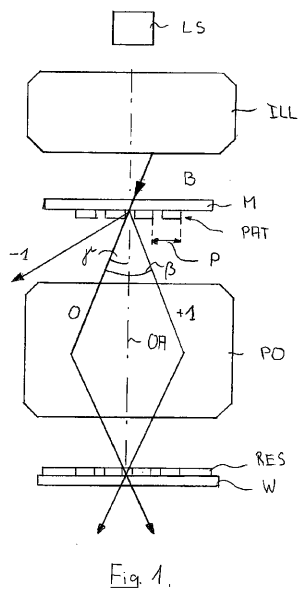
D R 1 第 1 の偏向領域

D R 2 第 2 の偏向領域

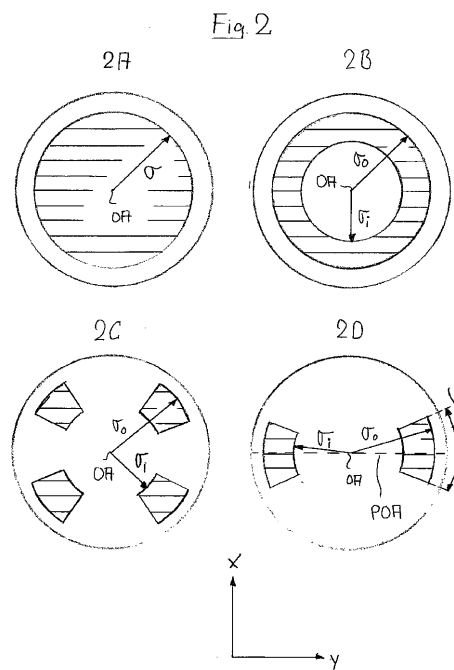
D R I 駆動系

R B 入射放射ビーメ

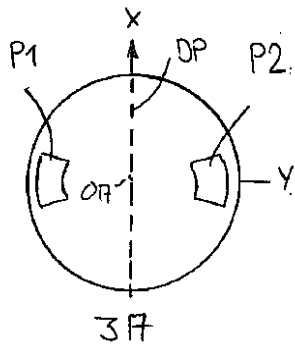
【 図 1 】



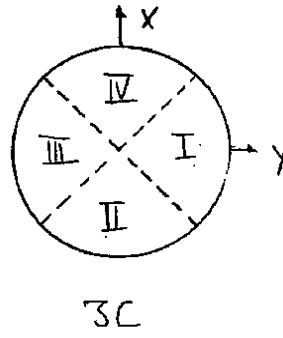
【 図 2 】



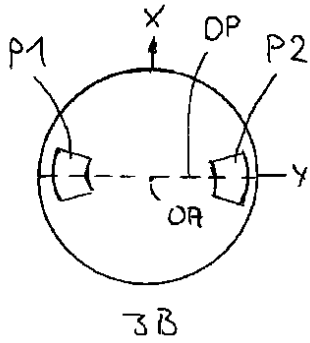
【図3A】



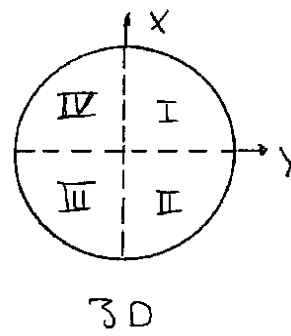
【図3C】



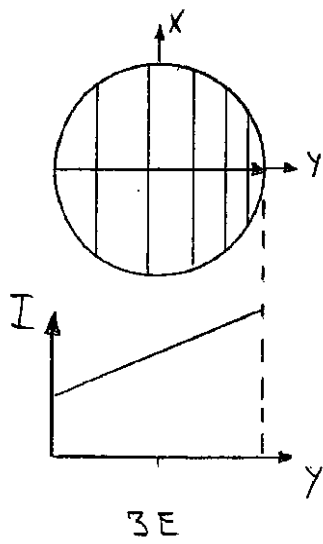
【図3B】



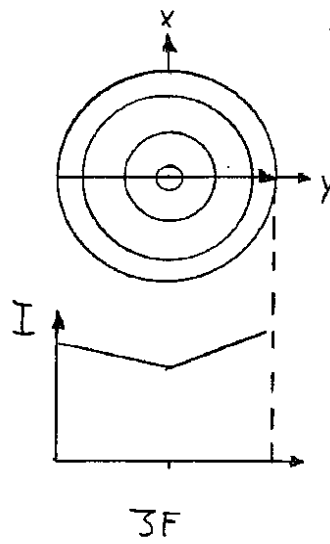
【図3D】



【図3E】



【図3F】



【 図 4 】

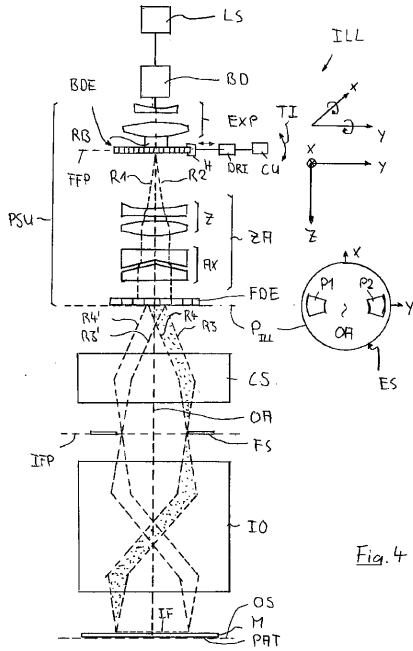
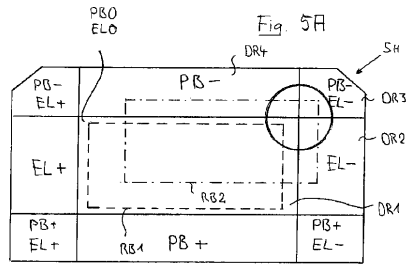
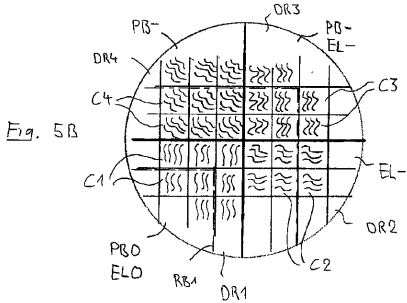


Fig. 4

【 図 5 A 】

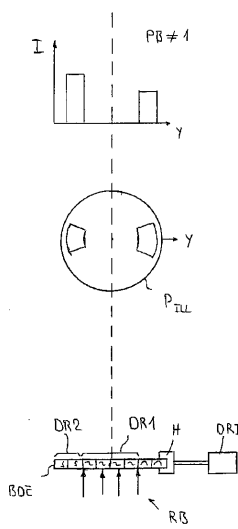


【 図 5 B 】



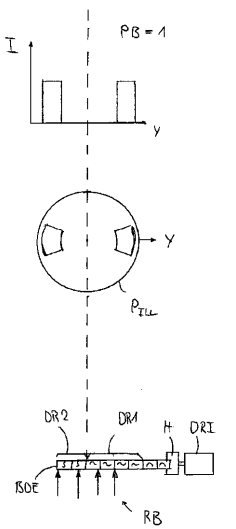
【 図 6 A 】

Fig. 6A

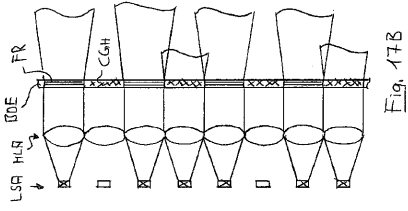


【 図 6 B 】

Fig. 6B



【 17 B 】



【 18 】

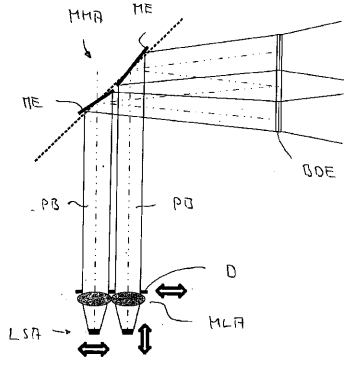


Fig. 18

フロントページの続き

- (74)代理人 100109070
弁理士 須田 洋之
- (74)代理人 100109335
弁理士 上杉 浩
- (74)代理人 100164530
弁理士 岸 慶憲
- (72)発明者 ルンデ ダニエル
ドイツ連邦共和国 7 4 5 8 9 ザッテルドルフ ダーリエン ヴェーク 7
- (72)発明者 ドール フロリアン
ドイツ連邦共和国 8 2 1 7 8 プッフハイム パウミシュトラーセ 2 6
- (72)発明者 ヴォルケル ラインハルト
スイス ツェーハー 2 0 0 0 ヌシャテル リュー ド コンバ - ボレル 1 7
- (72)発明者 ワイブル ケネス ジェイ
スイス ツェーハー 2 0 0 0 ヌシャテル クレ - タコネ 2 4
- (72)発明者 ヴァイス グンドウラ
ドイツ連邦共和国 7 3 4 3 4 アーレン イム ゾンネンヴィンケル 9
- (72)発明者 ゲルハルト ミヒャエル
ドイツ連邦共和国 7 3 4 3 2 アーレン トッゲンブルガーシュトラーセ 1 5

審査官 長井 真一

- (56)参考文献 特開 2 0 0 9 - 1 1 1 2 2 3 (J P , A)
特表 2 0 0 7 - 5 0 5 4 8 8 (J P , A)
特開 2 0 0 8 - 0 9 1 8 8 1 (J P , A)
特開 2 0 0 9 - 0 7 1 0 1 0 (J P , A)
特開 2 0 0 2 - 0 4 3 2 2 1 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 2 1 7 1 8 8 (J P , A)
特表 2 0 0 7 - 5 3 4 1 7 6 (J P , A)
国際公開第 2 0 0 9 / 0 6 0 7 4 4 (W O , A 1)
特開 2 0 0 7 - 0 3 6 0 3 9 (J P , A)
特表 2 0 0 9 - 5 2 7 1 1 2 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

H 0 1 L 2 1 / 0 2 7
G 0 2 B 3 / 0 0 - 3 / 0 8
G 0 3 F 7 / 2 0