

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号  
特許第4990287号  
(P4990287)

(45) 発行日 平成24年8月1日(2012.8.1)

(24) 登録日 平成24年5月11日(2012.5.11)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 L 21/027 (2006.01)

GO 2 B 5/08 (2006.01)

HO 1 L 21/30 5 3 1 A

GO 2 B 5/08 B

請求項の数 17 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2008-535955 (P2008-535955)	(73) 特許権者	503263355
(86) (22) 出願日	平成18年10月17日 (2006.10.17)		カール・ツァイス・エスエムティー・ゲー
(65) 公表番号	特表2009-512223 (P2009-512223A)		ムペーハー
(43) 公表日	平成21年3月19日 (2009.3.19)		ドイツ連邦共和国、7 3 4 4 7 オベルコ
(86) 国際出願番号	PCT/EP2006/010004		ッヘン、ルドルフ・エーバー・シュトラ
(87) 国際公開番号	W02007/045434		セ 2
(87) 国際公開日	平成19年4月26日 (2007.4.26)	(74) 代理人	100082005
審査請求日	平成21年5月29日 (2009.5.29)		弁理士 熊倉 禎男
(31) 優先権主張番号	60/727, 892	(74) 代理人	100067013
(32) 優先日	平成17年10月18日 (2005.10.18)		弁理士 大塚 文昭
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100086771
			弁理士 西島 孝喜
		(74) 代理人	100109070
			弁理士 須田 洋之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長が193nm以下の照明システム用集光器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1のミラーシェ尔(1212.1)と、  
第2のミラーシェ尔(1212.2)と、を備え、  
前記第1のミラーシェ尔(1212.1)は前記第2のミラーシェ尔(1212.2)  
の内部に配設され、  
前記第1のミラーシェ尔(1212.1)及び/又は前記第2のミラーシェ尔(1212.2)は、回転対称の部分と回転対称でない部分を有する、閉じた鏡面である、波長が193nm以下、好ましくは126nm以下、特に好ましくはEUV放射の照明システム用集光器。

【請求項2】

前記第1のミラーシェ尔(1212.1)及び/又は前記第2のミラーシェ尔(1212.2)は、第1の光学面を有する第1の部位と第2の光学面を有する第2の部位を有する、請求項1記載の集光器。

【請求項3】

前記第1のミラーシェ尔(1212.1)及び/又は前記第2のミラーシェ尔(1212.2)は、対称軸を有する、請求項1又は請求項2記載の集光器。

【請求項4】

前記対称軸は、前記第1のミラーシェ尔(1212.1)及び前記第2のミラーシェ尔(1212.2)の共通の対称軸である、請求項3記載の集光器。

## 【請求項 5】

前記第 1 のミラーシェルの ( 1 2 1 2 . 1 ) 及び / 又は前記第 2 のミラーシェルの ( 1 2 1 2 . 2 ) は前記対称軸に対して n 回対称であり、 n は整数である、請求項 3 又は請求項 4 記載の集光器。

## 【請求項 6】

前記対称軸に対する対称は、以下の

二回対称

三回対称

四回対称

五回対称

六回対称

七回対称

八回対称である、請求項 5 記載の集光器。

10

## 【請求項 7】

前記集光器は、光源の光を受光し、前記集光器の後方の光路に配設された面に導き、

前記閉じたミラーシェルの前記回転対称でない部分は、四回対称であって、前記面に、ほぼ長方形の照明が形成されるように選択される、請求項 1 から請求項 6 迄の何れかに記載の集光器。

## 【請求項 8】

軸に最も近接したミラーシェルの内部の前記集光器は、絞りを有する、請求項 1 から請求項 7 迄の何れかに記載の集光器。

20

## 【請求項 9】

少なくとも前記第 1 のミラーシェルの ( 1 2 1 2 . 1 ) と前記第 2 のミラーシェルの ( 1 2 1 2 . 2 ) は、光を前記集光器の後方の光路上の面に導き、

第 1 の照明 ( A 6 . 1 ) と第 2 の照明 ( A 6 . 2 ) を前記面に結像し、前記第 1 の照明 ( A 6 . 1 ) と前記第 2 の照明 ( A 6 . 2 ) とは距離を有する、請求項 1 から請求項 8 迄の何れかに記載の集光器。

## 【請求項 10】

前記面には複数のラスト要素が形状を有して配置されており、前記第 1 の照明 ( A 6 . 1 ) 及び / 又は前記第 2 の照明 ( A 6 . 2 ) は、前記複数のラスト要素の配置の形状にほぼ対応する幾何学的な形状を有する、請求項 9 に記載の集光器。

30

## 【請求項 11】

前記照明がほぼ長方形の形状、特に正方形の形状を有する、請求項 9 又は請求項 10 に記載の集光器。

## 【請求項 12】

波長が 193 nm 以下、好ましくは 126 nm 以下、特に好ましくは E U V 波長領域の、請求項 1 から請求項 11 迄の何れかに記載の集光器 ( 3 ) を備えた照明システムであって、

前記集光器 ( 3 ) は、光源 ( 1 ) から、照明する面 ( 103、1103 ) への光路上で、前記光源 ( 1 ) と前記面 ( 103、1103 ) の間に配設され、

40

前記面 ( 103 ) の中、又は前記面 ( 103 ) の近傍にはファセット光学素子 ( 102 ) が利用可能に設けられている、照明システム。

## 【請求項 13】

前記ファセット光学素子 ( 102 ) が複数のフィールドラスト要素 ( 402、502、1300 ) を有する、請求項 12 記載の照明システム。

## 【請求項 14】

前記ファセット光学素子の前記フィールドラスト要素 ( 1300 ) が、前記面 ( 1103 ) のほぼ照明 ( A 6 . 1、A 6 . 2、A 6 . 3 ) の領域に配設される、請求項 13 記載の照明システム。

## 【請求項 15】

50

瞳面(105)とさらなるファセット光学素子(104)を有し、

前記さらなるファセット光学素子(104)は前記瞳面(105)の中、または前記瞳面(105)の近傍に位置する、請求項12から請求項14迄の何れかに記載の照明システム。

【請求項16】

前記さらなる光学素子は複数の瞳ラスタ要素を有する、請求項15記載の照明システム。

【請求項17】

フィールド面(114)のフィールドを照明する、請求項12から請求項16迄の何れかに記載の照明システムと、

前記フィールド面(114)の物体を像面(124)に結像する投影対物光学系(128)と、を備えた、

波長が193nm以下のマイクロリソグラフィ用投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光源から放射された光を受光し、平面のある領域を照明する、波長が193nm以下、好ましくは126nm以下、特に好ましくは、波長がEUV領域の照明システム用集光器に関する。

【0002】

集光器は、少なくとも一つの第1のミラーシェル又は第1のシェル部と、第2のミラーシェル又は第2のシェル部とを有し、光を受光すると、集光器の後部の光路に存在する面に第1の照明と第2の照明を提供できるようになっている。

【0003】

更に、本発明は、特に上記の集光器を備えた照明システム、本発明の照明システムを備えた投影露光装置、及び微細構造体を露光する方法も提供する。

(関連出願のクロスリファレンス)

【0004】

本明細書は、米国特許商標局に2005年10月18日出願の米国仮出願第60/727,892号に基づく優先権を主張する。米国仮出願第60/727,892号の内容は、参照により本明細書に全体が包含される。

【背景技術】

【0005】

光源から放射された光を集光し、ある面のある領域を照明するため、光源から放射された光を受光する物体側開口と、共通の回転軸を中心として回転対称に配置された複数のミラーシェルと、を有し、各ミラーシェルに物体側開口に対応する環状開口要素が設けられた、集光器が複数の出願に開示されている。集光器後部の光路に配置された平面の被照射領域は、環状要素から構成されている。この種の集光器は、例えば、米国特許出願第2003-0043455A1に記載されている。米国特許出願第2003-0043455A1に記載の集光器は、被照射面の環状要素が重ならず広範囲に連続している。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

このような米国特許出願第2003-0043455A1に記載された種類の集光器を、例えば、国際出願第WO99/57732号又は第WO02/065482号に記載のマイクロリソグラフィ、例えば、EUVリソグラフィ用の照明光学系に用いた場合、照明が環状であることから、照明システムの幾何学的な光損失が約40%と極めて高い、即ち、集光器によって集光された光の40%以上がフィールドラスタ要素に受光されないという課題があった。更に、かかる光学系は、照明システムのフィールド面の走査積分の均一性を観察してみると、シェル全体の寄与を均等に加算する際、これらの加算の工程及

10

20

30

40

50

び被照射フィールドの均一性は、個々のシェルの照明の寄与に極めて強く依存し、個々のシェルの照明寄与の変化、例えば、集光器シェルの熱変形又は集光器シェルの反射層の劣化などにより、均一性が大きく影響されるというさらなる課題もあった。

#### 【 0 0 0 7 】

本発明は、上述の技術的課題、特に国際出願第 P C T / E P 0 2 / 0 0 6 0 8 号又は米国出願第 2 0 0 3 - 0 0 4 3 4 5 5 A 1 号に記載の課題を解決することを目的とする。更に、米国出願第 2 0 0 3 - 0 0 4 3 4 5 5 A 1 号に開示された光学系に対して、光損失を最小化する、例えば、マイクロリソグラフィ用照明システムに利用可能な集光器を提供する。

#### 【 0 0 0 8 】

本発明のさらなる態様によると、従来技術で公知の集光器を用いた場合に集光器シェルの熱変形又は集光器シェルの層の劣化による照明システムのフィールド面の均一性の大きな変化を最小化する。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【 0 0 0 9 】

本発明の第一の態様では、入れ子状集光器、即ち、相互に入り込んだ少なくとも二つのミラーシェルの有する集光器において、ミラーシェルの、回転対称の部分と回転対称でない部分を有する閉じた鏡面とすることによって光損失を最小化する。二つのミラーシェルの相互に入り込んで配置した集光器を、入れ子状集光器と呼ぶ。

#### 【 0 0 1 0 】

本明細書において、閉じた鏡面とは、相互に連結した面を意味する。相互に連結した面とは、循環する方位角が 0 から 2 の面をいう。

#### 【 0 0 1 1 】

さらなる実施の形態では、回転対称な部分は、例えば、回転双曲面の第 1 の部位として構成される第 1 の部分と、例えば、回転楕円面の第 2 の部位として構成される第 2 の部分とを有する。回転対称でない部分は、例えば、第 2 の部分に加える、又は減ずる。部分の形状は、これらの部位によって決定する。或いは、回転対称でない部分を第 1 の部位、又は両方の部位に加える、又は減じてよい。

#### 【 0 0 1 2 】

上述の実施の形態に代えて、第 1 の面と隣接する第 2 の面からなる集光器を提案する。隣接するとは、二つの面がある幾何学的な距離を有し、繋がっていないことを意味する。面が入れ子状の構成の場合、即ち、相互に入れ込んでいる場合、これは相互に半径方向に離間する二つの面を有する構成となる。

#### 【 0 0 1 3 】

二つの面の各々は、各々の面のポイントで軸によって定義され、各々のポイントの距離はこの軸に対して定義する。座標系の軸を各面に対する軸としてみなす。z 軸に対して垂直に、極座標で半径 r と方位角 で定義することができる x - y 面が延在する。回転対称な面で、面のポイントの距離は、z 軸に依存する z 軸のみの関数として、即ち、z 方向の面の形式で、面関数  $K(z)$  によって表される。z 方向に垂直な面の曲率は、半径  $K(z)$  を有する円として表される。このような面の例として、回転双曲面、回転楕円面、回転放物面、又は一般的な回転体の面が挙げられる。回転放物面の場合、例えば、z 軸に対して垂直な曲率関数は、z 軸に沿って異なる場所で半径を有する円弧として以下のように表される。

$$K(z) = az^2 + bz + Z_0$$

ここで、a、b 又は  $Z_0$  は、ゼロの値をとることもできる。

#### 【 0 0 1 4 】

z 軸に沿った曲率は、二次微分  $K''(z)$  で表される。

#### 【 0 0 1 5 】

面の曲率は、一般的に、z と方位角 の関数であり、方位角は 0 と 2 の間を変動できる。閉じた面を表す場合、方位角 は 0 から 2 の値をとる。シェル部のみを表し、閉じ

10

20

30

40

50

た鏡面を表さない場合、方位角  $\theta$  は 0 と  $2\pi$  の値、例えば、 $\pi/2$  から  $3\pi/2$  の間の値をとる。従って、面は一般的な形式では、 $z$  と方位角  $\theta$  に依存する面関数  $K(z, \theta)$  で表すことができる。即ち  $K(z, \theta)$  は、方位角  $\theta$  において割り当てられた  $z$  軸の位置の距離  $K(z, \theta)$  の面上のポイントの垂直距離を表す。

【0016】

照明システムの光損失は、光を受光する集光器が少なくとも二つの隣接する面を有し、各々の面が一以上の光源の放射特性と、面の被照射面に適した面関数  $K(z, \theta)$  を具備することによって、最小化することができる。

【0017】

少なくとも二つの隣接する面には、各々  $z$  軸を割り当てることができる。第1の面には、第1の  $z$  軸、第2の面には第2の  $z$  軸を割り当てる。第1の  $z$  軸と第2の  $z$  軸は同一であってもよい。この場合、二つの鏡面は共通の  $z$  軸を有することになる。第1の  $z$  軸と第2の  $z$  軸は、空間的に異なって割り当てられてもよいが、この場合は平行に延在する。更なる変形態様として、第1の  $z$  軸と第2の  $z$  軸をお互いにある角度をもって連結することも可能である。

【0018】

閉じた鏡面の代わりにシェル部を用いる場合、シェル部を空間的に延伸させて、好ましくは、フィールドラスタ要素を配置した平面に異なる照明を照射することができる。異なる瞳ラスタ要素を二重ファセット照明システムの異なるフィールドラスタ要素に割り当てることによって、フィールドファセットによる異なる照明によって異なる瞳照射を実現できる。

【0019】

本発明のさらなる実施の形態では、ミラーシェルは対称軸を有する。対称軸は全てのミラーシェルに対して共通の対称軸であってもよい。

【0020】

好ましくは、少なくとも一つのミラーシェルは対称軸に対して対称であってもよく、 $n$  回対称であってもよい。ここで  $n$  は整数である。例えば、 $n$  が 2 の場合は二回対称である。2 回対称の場合、180 度回転した後、対称軸を中心として同一であり、360 度回転すると元の位置に戻る。シェルは対称軸に対して切った断面が二回対称、例えば、楕円形状である。或いは、三回対称、四回対称、五回対称、六回対称、七回対称、八回対称も可能である。四回対称の場合、90 度回転した場合に同一であり、六回対称では、60 度回転した場合に同一であり、八回対称では、45 度回転した場合に同一である。

【0021】

入れ子状集光器光学系は、光源からの光を受光する常に最小の集光開口  $NA_{min}$  と、中央掩蔽部を有するため、散乱光を遮断する利点をもって、共通の軸に最も近接したミラーシェルの内部に絞りを設けることができる。

【0022】

好ましくは、集光器は、集光器が被照射面に配置されたファセット光学素子のラスタ要素から集光した光の 50% を上回る、特に 60% を上回る、さらに好ましくは 70% を上回る、特に好ましくは 80% を上回る、一層好ましくは 90% を上回る、特に好ましくは 92% を上回る、更に好ましくは 95% を上回る光を受光するように構成する。

【0023】

さらなる態様では、光源からの光を被照射面の第1の照明に導く第1のミラーシェル又は第2のシェル部と、光を面の第2の照明に導く第2のミラーシェル又は第2のシェル部とを、第1の照明と第2の照明が相互に距離を有するように構成する。好ましくは、第1の照明と第2の照明の間のこの距離は 1 mm を上回る。

【0024】

特に、鏡、又は鏡部の配置によってこの距離を、鏡又は鏡部の熱変形によって異なる被照射領域が重なることのないように選択する。更に、例えば、光源の放射特性の変化によってもこのような重なりが起こらないことを確実にする。

## 【 0 0 2 5 】

実験から約 1 2 0 ケルビンの光源で集光器シェル又は集光器シェル部の加熱による熱変形によって、フィールド面、即ち、照明システムの第 1 ファセット光学素子が配置された面の照明が約 5 mm 移動又は広がることが知られているので、この距離は更に好ましくは、5 mm を上回ることが好ましい。集光器の変形は、面 1 1 4 の被照射面の外形又は被照射フィールド内部のエネルギー分配には影響を与えない。

## 【 0 0 2 6 】

本発明の更なる態様によると、照明システムの面の複数のラスト要素を第 1 の領域に配置した照明システムを提供できる。照明システムは、更に、光源の光を受光して、複数のラスト要素を配置した面の第 2 の領域に照射する集光器を有する。集光器は、第 2 の領域が第 1 の領域を完全に覆うように構成されている。

10

## 【 0 0 2 7 】

特に有利な本発明の実施の形態では、第 1 の領域に第 1 の面 B と第 2 の領域に第 2 の面 A を有する。好ましくは、集光器から照射する第 2 の領域への距離は、第 1 のラスト要素が設けられた領域の大きさより大きく、好ましくは、以下の関係とする。

$$B \leq A \leq 1,2 \cdot B$$

、特に

$$1,05 \cdot B \leq A \leq 1,1 \cdot B$$

20

これによって、第 1 の領域を、ラスト要素を配置した第 1 の面 B によって広範囲に覆って照射するので、幾何学的な光損失は最小化する。

## 【 0 0 2 8 】

本発明の更なる態様では、集光器を、面の照明が、回転対称でない照明、例えば、ほぼ長方形の照明、特に正方形の照明となるように構成する。このようにして照明 A の形状をフィールドラスト要素の形状に合わせることによって、米国特許出願第 2 0 0 3 - 0 0 4 3 4 5 5 A 1 号に記載の光学系では 4 0 % を上回る幾何学的な光損失を、3 0 % を下回る、好ましくは 2 0 % を下回る、特に好ましくは 1 0 % を下回るように構成できる。

## 【 0 0 2 9 】

回転対称から逸脱した、フィールドラスト要素を有するファセット光学素子を設けた面の照明は、結果として、フィールドラスト要素によって形成される光源の像を非点収差をもって結像される、即ち、光源の像が歪められ、ポイントの形状から逸脱する。こうして光損失が発生する。好ましくは、個々のフィールドラスト要素が非球面性、例えば、非球面の鏡を有するようにする。こうして光源の結像の非点収差を補正することができる。好ましくは、第 1 のファセット光学素子の複数のフィールドラスト要素において、個々のフィールドラスト要素の非球面性を、フィールドラスト要素によって形成される光源の像が広範に歪みのなく瞳面に結像するように適合させる。広範に歪みがないとは、例えば、光源の像のボケ、又は歪みが、例えば、例えば、瞳面 5 mm の径で瞳面で最大で 1 0 0  $\mu$ m、即ち、最大で光源の像の径の 2 % となるように、例えば、瞳面に光源を結像することをいう。

30

40

## 【 0 0 3 0 】

本発明の特に好ましい実施の形態では、フィールドラスト要素を有する第 1 のファセット光学素子は、非球面性の異なる少なくとも二つのフィールドラスト要素を有する。

## 【 0 0 3 1 】

第 1 の実施の形態では、集光器のシェルを閉じた面、例えば、軸 (H A) を中心に相互に入り込んで配置したシェルとして構成する。このような構成を、一般的に入れ子状の構成と呼ぶ。

## 【 0 0 3 2 】

閉じた面は、個々の集光器シェルが、例えば、非点収差をもって変形した場合、ほぼ長方形の照明を面に生成する。

50

## 【 0 0 3 3 】

ほぼ長方形、好ましくは正方形の照明を面に生成する、本発明の実施の形態では、集光器シェルによって表示できる回転対称の部分は、回転対称でない部分に重なるため、このような非点収差の変形が得られる。

## 【 0 0 3 4 】

幾何学的な光損失は、このように面が広範に長方形となる照明では、30%を下回る、特に20%を下回る、更に好ましくは10%を下回る。

## 【 0 0 3 5 】

閉じた集光器シェルを有するこのような集光器の構成に代えて、集光器を個別のシェル部から構成することができる。

10

## 【 0 0 3 6 】

これらのシェルは、光源から被照射面へ進むほぼ光路上に、光源から可能な限りの光を受光し、被照射面に広範に長方形の照明を生成するように配置されている。特に好ましくは、個々のシェル部によって実行される照明が、相互に距離を持ち、この照明の距離によって、個々のシェル部の寄与が光源の熱変形又は放射の変化によって重なることのないようにする。好ましくは、この距離は1mmを上回る、更に好ましくは5mmを上回る。

## 【 0 0 3 7 】

照明システムにこのような複数のフィールドラスタ要素を有する第1のファセット光学素子に隣接して複数の瞳ラスタ要素を有する第2のファセット光学素子を備えたシェル部を有する集光器を使用して、第1の複数のフィールドラスタ要素には各々、第1の割り当てに従って複数の瞳ラスタ要素の各々を割り当て、第2の複数のフィールドラスタ要素には各々、第2の割り当てに従って複数の瞳ラスタ要素の各々を割り当て、シェル部を異なる位置に移動することによって、フィールドファセットと瞳ファセットの割り当てを変更して、照明システムの射出瞳で射出瞳の照明を変更することができるようにする。

20

## 【 0 0 3 8 】

これは、例えば、米国特許第6,658,084B2号に記載の様々な設定を行う構成を用いて調整できるようにすることができる。

## 【 0 0 3 9 】

このような構成によって光損失のみならず、照明の設定を変更できることは明らかである。

30

## 【 0 0 4 0 】

シェル部を様々な位置に移動することによって、射出瞳の照明を変更する調整を行う代わりに、光学的調整を実行することもできる。光学的調整部を用いる場合、集光器を閉じたミラーシェルを有する集光器として構成することもできる。光学的調整部は光路上の、好ましくは、第1のファセット光学素子の前方に配置する。光学素子がとる位置に応じて、第1のファセット素子の異なる領域が照射される。第1ファセット光学素子のフィールドラスタ要素を、異なる瞳ラスタ要素に割り当てるため、光学的調整部を用いて異なるフィールドラスタ要素を選択することによって、瞳ラスタ要素を選択して、例えば、照明システムの射出瞳の設定を調整することができる。光学的調整部は、例えば、軸を中心に回転可能に設けられたリッジ鏡でもよい。第1の調整で鏡は、例えば、集光器のみによって受光された光束を反射する。リッジ鏡は平面鏡としても作用する。リッジ鏡は、第2の調整で、集光器によってリッジ鏡に照射された光束を、第1のファセット光学素子の異なる領域を照射する二つの光束に分割する。異なるフィールドラスタ要素が異なる瞳ラスタ要素に割り当てられているため、これによって、瞳照射、例えば、射出瞳の設定を調整することができる。

40

## 【 0 0 4 1 】

単一の光学素子を異なる位置に移動させる代わりに、異なる鏡要素を光路に移動させ、光をフィールドファセット鏡の異なる領域に導いてもよい。このようにして、様々な設定調整を行うことができる。

## 【 0 0 4 2 】

50

第1ファセット光学素子のフィールドドラスタ要素を配置した面の中又は面の近傍に鏡部を有する集光器の構成又は集光器のミラーシェルの変形させて、ほぼ長方形の照明を形成する代わりに、本発明の代替の実施の形態では、集光器が、ファセット光学素子を設けた面の前の面にほぼ環状の照明を生成する、個別の集光器シェルの有してもよい。このほぼ環状の照明は、環状照明が形成され、ファセット光学素子が配置された面の前方の光路に光学素子を移動させることによって、ほぼ長方形の照明に変換することができる。

【0043】

第1の実施の形態では、このような光学素子として、例えば、非球面鏡を用いることができる。

【0044】

或いは、米国特許出願第2002-0186811A1号に記載のように、光学的効果を有する回折格子を集光器からファセット光学素子を配置した面への光路上に配置することができる。回折格子の光学的効果によって、ほぼ環状の照明を、フィールドドラスタ要素を有するファセット光学素子を配置した面ではほぼ長方形の照明に変換する。更に、回折格子によって、例えば、米国特許出願第2002-0186811A1号に記載のように、同時にスペクトルフィルタリングを実行して、回折格子の後方の光路上に配置した照明システムに、例えば、13.5nmの使用波長の光のみが照射されるようにしてもよい。使用波長の光とは、本明細書では、マイクロリソグラフィ投影露光装置で、物体面に照射する物体、例えば、レチクルを、例えば、投影対物光学系によって像面に結像する波長の光をいう。

【0045】

好ましくは、本発明による照明システムは、広範に等方性の放射特性を有する光源を具備する。等方性の放射を行う光源、即ち、全ての空間方向に同等量のエネルギーを放射することができる光源は、面、例えば被照射面において、光源から受光する角度が同等の部位には同等の面積に相当し、これらの面には一定のエネルギー密度で照射が行われる、本発明の集光器によって実現できる。

【0046】

当業者には、本発明の範囲を逸脱せずに、上述の個別の例を組み合わせる様々な個別の態様が可能であることは明らかである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0047】

以下、実施の形態を用いて本発明を詳細に説明する。

【0048】

図1を参照して、本発明に従って利用可能な、例えば、マイクロ電子部品から製造された投影露光装置の原理を説明する。投影露光装置は、光源又は光源の中間像1を有する。光源1から放射された光は、複数のミラーシェルの有する集光器3によって集光される。図示の投影露光装置では、集光器に続いて、平面鏡300で構成される他の光学素子が設けられている。集光器によって平面鏡に入射した放射は、特に、ウェーハステージが設けられた、物体面114の機械部品及び光学部品が配置された構造空間に導かれる。物体面114は、フィールド面とも呼ばれる。平面鏡300は、屈折型スペクトルフィルタ要素として構成してもよい。この種の屈折型スペクトルフィルタ要素は、例えば、米国特許出願第2002-0186811A1号に開示された回折格子でもよい。光源1の中間像Zの近傍に設けられた絞り302とともに、この種の回折格子要素は、望ましくない放射、例えば、所望とする波長を上回る波長の放射が絞り302の後方に配置された照明システムの一部に入射することを防止できる。特に使用する波長と等しくない波長の放射、EUVマイクロリソグラフィ投影露光装置の場合、例えば、13.5と等しくない波長の放射が、絞り302の後部に配置された光学系に入射しないようにすることができる。

【0049】

絞り302は、間焦点Zの近傍にバルブを配設して、光源と集光器3、及び回折格子として構成される平面鏡300を有する空間304を続く照明システムから、さらに、30

10

20

30

40

50



6 からも空間的に分離する働きをすることができる。二つの空間は、圧力によって分離することもできる。このようにして、空間を分離する、又は圧力を用いて分離することによって、光源 1 で発生したダストが絞り 3 0 2 の後方に配設された照明システムに入ること

【 0 0 5 0 】

集光器 3 によって集光された光は、平面鏡 3 0 0 を介して、複数の第 1 のラスト要素、いわゆる、フィールドファセット又はフィールドラスト要素を有する鏡 1 0 2 に導かれる。本例では、第 1 のラスト要素は平面で構成されている。ファセットされた鏡 1 0 2 内又はファセットされた鏡 1 0 2 の近傍の平面 1 0 3 の照明は、図 2 に示す技術構成のように、ほぼ円形とすることができ、集光器のミラーシェルの毎に一つの円環状の領域が照射され、平面 1 0 3 では、個々の円環状の領域が隣接する円環状の領域とほぼ直接連なる。米国特許出願第 2 0 0 3 - 0 0 4 3 4 5 5 A 1 に記載の技術構成のような、かかる集光器用の照明を図 2 に示した。或いは、本発明によると、回転対称ではない、例えば、変形したミラーシェルの有する集光器を設けて、フィールドラスト要素を有する第 1 の光学素子 1 0 2 を配設して、平面の照明を回転対称ではなく、例えば、ほぼ長方形とすることができ

10

【 0 0 5 1 】

或いは、回転対称でないミラーシェルの有する集光器を用いない場合、即ち、回転対称なミラーシェルの有する集光器を設けながらもほぼ長方形の照明を生成する場合、光路において集光器の後方に配置される、例えば、光学素子 3 0 0 などの光学部品が、図 6 及び図 7 に示す照明を形成するように構成して引き継がせることができる。この場合、例えば、鏡 3 0 0 は、図 6 に示すように、非球面に構成される。

20

【 0 0 5 2 】

照明システムは、例えば、米国特許第 6 , 1 9 8 , 7 9 3 B 1 号に開示のもののように二重ファセット型照明システムであり、フィールドラスト要素を有する第 1 の光学部品 1 0 2 と、瞳ラスト要素を有する第 2 の光学部品 1 0 4 とを備える。瞳ラスト要素（図示されてない）を有する第 2 の光学部品 1 0 4 は、瞳面 1 0 5 ととも呼ばれる、さらなる面に、またはさらなる面の近傍に設けられる。

【 0 0 5 3 】

30

光源から射出された光は、フィールドラスト要素を有するファセット光学素子 1 0 2 によって複数の光束に分割される。各フィールドラスト要素は第 2 の光学素子の一つの瞳ラスト要素に正確に割り当てられている。米国特許出願第 2 0 0 2 - 0 1 3 6 3 5 1 A 1 号に記載のように、この割り当てが照明システムの射出瞳の照明を決定する。照明システムの射出瞳は、一般的に、物体面 1 1 4 における被照射フィールドの中心フィールド点に進む主光線（C R）の投影光学系の光学軸 H A との交点によって決定される。この射出瞳を、本実施の形態では、参照番号 1 4 0 で示す。光学素子 1 0 6、1 0 8、1 1 0 は、物体面 1 1 4 のフィールドを形成するように作用する。物体面 1 1 4 のフィールドは、一般的に、円弧形状である。物体面 1 1 4 には、照明装置 3 0 6 によって照明され、投影対物光学系 1 2 8 によって像面 1 2 4 に結像される、レチクル（図示されていない）が配置される。走査システムは、物体面 1 1 4 に配置されたレチクルを 1 1 6 で示す方向に走査することができる。照明システムの射出瞳は、投影対物光学系 1 2 8 の入射瞳と一致する。

40

【 0 0 5 4 】

代替の、図示していない本発明の実施の形態では、フィールドラスト要素、又は、フィールドファセットは、物体面の被照射フィールドの形状を有するようにして、物体面のフィールドの形状を決定するようにしてもよい。このような照明システムは、例えば、米国特許第 6 , 1 9 5 , 2 0 1 号に記載されている。物体面のフィールドの形状が、例えば、円弧形状の場合、ファセットも同様に円弧形状に構成する。

【 0 0 5 5 】

図 1 に示す E U V リソグラフィーの分野で使用するマイクロリソグラフィー投影露光装

50

置は、使用波長が、例えば、 $13.5\text{ nm}$ で完全反射型、即ち、フィールドラスタ要素がフィールドファセット鏡で構成され、瞳ラスタ要素が瞳ファセット鏡で構成されている。

【0056】

フィールドラスタ要素を配置する平面の照明が回転対称でなく、例えば、ほぼ長方形の照明の場合、光源の像は瞳面、例えば射出瞳に、対象に忠実ではなく、歪曲されて結像される。これは、非球面のフィールドラスタ要素（図示されていない）によって補償できる。第1の光学素子の異なるフィールドラスタ要素は、それぞれ照明によって生じる光源像の結像の歪みを補償するために必要な、異なる非球面性（*Aspharizitat*）を有することが好ましい。

【0057】

図示の実施の形態の投影対物光学系128は、例えば、米国特許第6,600,552 B2号に記載の構成で、6つの鏡128.1、128.2、128.3、128.4、128.5、128.6を有する。

【0058】

投影対物光学系128は、物体面114に配置されるレチクル（図示されていない）を像面114に結像する。

【0059】

図1に示す第1の光学素子102の面103の照明の分配を図2に示す。集光器によって照明された全領域A1は、最も外側のミラーシェルの起因する境界400.1と最も内側の開口要素に起因する内側境界400.2によって画定される。

【0060】

ほぼ回転対称のミラーシェルでは、図1の面103の照明が円形となることが認められる。さらに、図1の第1のファセット光学素子102のフィールドファセット402が認められる。個々のフィールドファセット402は、支持部に配置された鏡要素である。フィールドファセット402は、図示の実施の形態では、ほぼ長方形である。基本的に、フィールドファセットは他の形状、例えば、上述のように円弧形状を有することもできる。

【0061】

図2に示す構成では、被照射領域の幾何学的な光損失は、フィールドファセットが配置された面の面積と比較して、略40%である。

【0062】

幾何学的な光損失を減少するため、本発明によると、図1の面103の照明を、フィールドファセット502の長方形の形状に合わせるようにしている。このようにして図1に示すフィールド面103の最適化した照明を図3に示す。図1の面103のほぼ長方形の照明A2もまた、最も外側の境界500.1と内部境界500.2を有する。図3のフィールドファセットには、参照番号502を付している。

【0063】

フィールドファセットを長方形に構成した場合、図3に示す、面103のほぼ長方形、特に、ほぼ正方形の照明では、幾何学的な光損失、即ち、フィールドファセットによって受光されない光の割合が、10%を下回るまで減少した。

【0064】

面103のほぼ長方形の照明は、様々な手法で実現できる。図4a~図4dに示す第1の形態では、図1の集光器3は、お互いに一つの回転軸を中心に相互に入れ込んで配置した閉じた鏡面を有する。

【0065】

個々の集光器シェルの非点収差の目的とする変形は、このようなほぼ長方形の照明を得ることによって可能である。図4では、集光器シェル602.1、602.2、602.3、602.4、602.5の内側、即ち、光学軸HAの方向に向かう変形を605で示し、外側、即ち、光学軸HAから離れる方向に向かう変形を607で示す。矢印605及び607は、変形した集光器面に対して垂直である。これについては後述する。

【0066】

10

20

30

40

50

図 4 c に、変形していない、共通の回転軸 H A に対して回転対称な、複数のミラーシェルの 6 0 0 . 1、6 0 0 . 2、6 0 0 . 3、6 0 0 . 4、6 0 0 . 5 を有する集光器の面 1 0 3 の照明を示す。共通の回転軸は対称軸でもある。図 4 c に示す図 1 の面 1 0 3 の照明は、中央掩蔽部 7 0 0 と、図 4 a に示す、軸 H A に対してほぼ回転対称な集光器のミラーシェルの 6 0 0 . 1、6 0 0 . 2、6 0 0 . 3、6 0 0 . 4、6 0 0 . 5 にそれぞれが対応する照明 A 3 . 1、A 3 . 2、A 3 . 3、A 3 . 4、A 3 . 5 とで特徴付けられる。照明 A 3 . 1、A 3 . 2、A 3 . 3、A 3 . 4、A 3 . 5 も円形であり、小さな間隙をもってほぼ直接的に繋がっている。第 1 の光学素子のフィールドファセットが設けられた面 1 0 3 は、図 2 に示すように照明される。

【 0 0 6 7 】

個々のシェル 6 0 2 . 1、6 0 2 . 2、6 0 2 . 3、6 0 2 . 4、6 0 2 . 5 は、詳細を後述するが、図 4 b に示すように、変形しており、図 1 の面 1 0 3 の照明は図 4 d のようになる。図 4 d に示す照明は、ほぼ長方形形状であり、中央掩蔽部 7 0 2 と、図 4 b に示す変形したミラーシェルにそれぞれ対応する照明 A 4 . 1、A 4 . 2、A 4 . 3、A 4 . 4、A 4 . 5 を有する。図 4 d に示す正方形の照明は、閉じた鏡面を変形させて、例えば、後述する集光器シェルの設計によって得ることができる。図 5 a を参照して説明する。図 5 a は、軸 H A に沿ったミラーシェルの断面図である。集光器シェルは、第 1 の双曲線状の鏡部と、双曲線状鏡部に連なる楕円形鏡部とからなる、光学軸 H A に対して回転対称な本体基部から構成される。双曲線状の第 1 の鏡部 8 0 0 は、双曲面を光学軸 H A を中心に回転させて得られる。第 2 の回転対称な楕円形鏡部は、図 5 で参照番号 8 0 2 を付し、鎖線で示す。回転対称な楕円形鏡部も、軸 H A を中心に回転させて得られる。

【 0 0 6 8 】

本体基部の二つの回転対称な部分、即ち、第 1 の双曲線状の部分 8 0 0 と第 2 の楕円形部分 8 0 2 は、以下の関数で表すことができる。

【 0 0 6 9 】

【 数 1 】

$$z(h, k, \rho, z_0) = \frac{\rho h^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k)(h\rho)^2}} + z_0,$$

ここで、 $k$  は円錐定数であり、 $\rho$  は頂部の曲率である。これらのパラメータ及び面の  $z$  境界  $z_1$  及び  $z_2$  を以下の表 1 に示す。

【 0 0 7 0 】

【 表 1 】

	$k$	$\rho$ [mm <sup>-1</sup> ]	$z_0$ [mm]	$z_1$ [mm]	$z_2$ [mm]
双曲線部	-1.26602359	0.04479337	-10.505	78.374	159.801
楕円形部	-0.96875135	0.03730042	-202.361	159.801	275.000

表 1 回転対称ミラーシェルのデータ

上記の表 1 に示す集光器シェルは、遠方フィールドに図 4 c に示す環状照明を生成する。

【 0 0 7 1 】

遠方フィールドの照明を正方形にするためには、回転部分を回転対称から所定分逸脱させる。これは、本体基部の垂直方向への補正として表すことができる。本明細書では、垂直方向とは、ミラーシェルの存在する位置から垂直の方向とする。図 5 a に、このような垂直ベクトル  $n$  を様々な位置について示す。

## 【 0 0 7 2 】

図 5 a にさらに、 $x - y - z$  座標系及び円筒座標系  $r$ 、 $\phi$  で、面 1 0 3 でほぼ長方形の照明を得ることができる、回転座標からの逸脱について説明する。回転対称でない部分、すなわち、楕円形部分の補正については、円筒座標で以下の関数で表す。

## 【 0 0 7 3 】

## 【 数 2 】

$$f(z, \phi, a) = a \frac{z - z_1}{z_2 - z_1} \sin(4(\phi - \frac{\pi}{8})),$$

10

回転対称な本体基部の各ポイントにおける垂直ベクトルを  $n$  で表す。さらに、回転体の回転軸を  $z$  軸として、 $z$  軸に対して垂直な面の方位角を  $\phi$  で表す。補正の量を表す寸法  $f(z, \phi, a)$  は、図示の実施の形態では、 $z$  に対して線形であり、集光器端部で最大値をとる。この場合、寸法は定数である。図 4 d に図 1 の面 1 0 3 の照明の概略を示す。

## 【 0 0 7 4 】

或いは、回転対称でない部分を第 1 の双曲線状鏡部 8 0 0 (図示してない)、又は二つの鏡部に、加算又は減算してもよい。

## 【 0 0 7 5 】

さらに、一つの鏡を、上述のように、部分的に回転対称な部位と部分的に回転対称でない部位とを含む、複数の部位から構成することもできる。部位は一樣に連結してもよいし不連続に連結してもよい。前者の場合、例えば、一体の鏡として構成し、後者の場合は複数の部位を組み合わせた鏡として構成してもよい。

20

## 【 0 0 7 6 】

上述の実施の形態に代わって、図 5 b に示すように、任意の照明を生成することができるように、集光器 8 5 2 は、後述する二つの面 8 5 0 . 1、8 5 0 . 2 を含む、少なくとも一つの変形した鏡面を有するようにしてもよい。

## 【 0 0 7 7 】

集光器の二つの面 8 5 0 . 1、8 5 0 . 2 はそれぞれ、軸 8 5 4 . 1、8 5 4 . 2 と各軸に対応する面関数によって規定される。ここで、軸とは、各面に対して  $z$  軸 8 5 4 . 1、8 5 4 . 2 をいう。各  $z$  軸 8 5 4 . 1、8 5 4 . 2 に対して垂直に  $x - y$  平面 8 5 6 . 1、8 5 6 . 2 が延在し、これによって各面が半径  $r$  と方位角  $\phi$  で定義することができる。各面 8 5 0 . 1、8 5 0 . 2 の面関数  $K_1$ 、 $K_2$  は、一般的には、それぞれの  $z$  座標と方位角  $\phi$  の関数であり、方位角  $\phi$  は 0 と  $2\pi$  の間を変動することができる。閉じた面を表す場合、方位角  $\phi$  の値は 0 から  $2\pi$  の値をとる。鏡面が閉じておらず、鏡部のみを表す場合、方位角  $\phi$  の値は 0 から  $2\pi$  の間の値、例えば、 $\pi/2$  から  $3\pi/2$  の値を取る。このため、面は、最も一般的な形では、 $z$  と曲率  $K(z, \phi)$  に依存する方位角  $\phi$  で表すことができる。ここで、第 1 の面 8 5 0 . 1 の面関数を  $K_1(z, \phi)$  とし、第 2 の面 8 5 0 . 2 の面関数を  $K_2(z, \phi)$  とする。

30

## 【 0 0 7 8 】

当然ながら、二つ以上の面、例えば、3 つ、又は 4 つの面を有する集光器も想到可能である。

40

## 【 0 0 7 9 】

図 5 c に示すように、図 5 b に示す、 $z$  軸を 8 5 4 . 1 と定義して、 $z$  軸に対して  $z$  方向に不連続に結合した 2 つの面 8 5 0 . 1、8 5 0 . 3 を有する、不連続な鏡面の特徴とを組み合わせ集光器を生成してもよい。二つの不連続に結合した面 8 5 0 . 1、8 5 0 . 3 である複数の面に隣接して、集光器は一体の面 8 5 0 . 2 を含んでもよい。図 5 c において、図 5 b と同様の構成には同様の参照番号を用いる。

## 【 0 0 8 0 】

図示の実施の形態では、少なくとも二つの隣接する面は各々、一つの局所的な  $z$  軸が割り当てられている。具体的には、第 1 の面は第 1 の  $z$  軸 8 6 0 . 1 が、第 2 の面は第 2 の

50

z 軸 8 6 0 . 2 が割り当てられている。ここで、第 1 の z 軸 8 6 0 . 1 と第 2 の z 軸 8 6 0 . 2 は、角度 で連結している。

#### 【 0 0 8 1 】

第 1 のファセット光学素子が配置された面 1 0 3 にほぼ長方形、好ましくは正方形の照明を形成するため、集光器シェルを個別に変形する代わりに、図 6 に示すように、光源 1 0 0 0 からファセット光学素子近傍の面 1 1 0 3 への光路において、非球面の鏡 1 1 0 5 を配設することができる。非球面の鏡 1 1 0 5 は、面 1 0 0 5 で複数のミラーシェルを有する集光器 1 0 0 3 によって生成されたほぼ環状の照明 1 0 0 7 を、面 1 1 0 3 ではほぼ長方形の照明 1 0 0 9 に変換する。

#### 【 0 0 8 2 】

これは、図 1 に示す投影システムでは、例えば、鏡 3 0 0 を非球面鏡として構成することによって実現できる。

#### 【 0 0 8 3 】

図 7 に、集光器 1 0 0 3 に直接隣接する面 1 0 0 5 のほぼ環状の照明 1 0 0 7 を、光学的效果を有する回折格子 1 3 0 2 を用いて、フィールドラスタ要素を有する第 1 の光学素子を配置する面 1 1 0 3 においてほぼ長方形、好ましくは正方形の照明 1 0 1 1 に変換する、本発明の代替の実施の形態を示す。回折格子 1 3 0 2 によって、光に第 1 次の回折次数の回折が行われる。使用波長に相当しない波長部分を有する回折次数がゼロ次の光は、絞りによって照明システムに入射することを防止できる。使用波長は、物体面の物体を像面に像として結像することができる、マイクロリソグラフィ投影露光装置が使用する波長である。EUV リソグラフィの使用波長として例えば、13.5 nm の波長が挙げられる。

#### 【 0 0 8 4 】

図 7 の実施の形態では、図 6 と同様の構成には同様の参照番号を付している。図 7 に示す達成するためには、図 1 の照明システムにおいて、鏡 3 0 0 を光学的效果を有する回折格子として設計することができる。

#### 【 0 0 8 5 】

従来技術で使用する集光器のさらなる課題は、個々のミラーシェルの照明がほぼ直接結合してしまう点にある。2 つのシェルについて、図 8 a に、米国特許出願第 2 0 0 3 - 0 0 4 3 4 5 5 A 1 に記載のかかる集光器を、x - z 面の断面で示す。光源を参照番号 1 1 0 0 で、第 1 のシェルの参照番号 1 1 1 2 . 1 で、第 2 のシェルの参照番号 1 1 1 2 . 2 で示す。さらに、第 1 の集光器シェル 1 1 1 2 . 1 によって受光される第 1 の放射束 1 1 1 8 . 1 及び第 2 の集光器シェル 1 1 1 2 . 2 によって受光される第 2 の放射束 1 1 1 8 . 2 の周辺放射を 1 1 1 4 . 1、1 1 1 4 . 2、1 1 1 6 . 1、1 1 1 6 . 2 で示す。閉じたシェルが回転対称の関係となる対称軸 S に最も近接する第 2 のミラーシェル 1 1 1 2 . 2 の周辺放射 1 1 1 6 . 2 が、図 8 a に示す集光器によって光源 1 1 0 0 を集光することができる最小の集光開口  $NA_{mjn}$  を決定する。より小さな角度の光は、集光器によって受光できない。散乱光が集光器を通過することを防止するため、対称軸に最も近接した第 2 のミラーシェル 1 1 1 2 . 2 の内側には、絞り B を設けている。二つの放射束 1 1 1 8 . 1、1 1 1 8 . 2 は、シェル 1 1 1 2 . 1、1 1 1 2 . 2 で反射されて、ほぼ図 1 に示す面 1 0 3 に相当する、面 1 1 0 3 の領域 A 5 . 1 と A 5 . 2 を照射する。

#### 【 0 0 8 6 】

図 8 a の x - z 断面から明らかなように、面 1 1 0 3 の二つの照明はほぼ直接に結合する。二つの照明の間隙は僅かであり 1 mm を下回るとは、個々の反射型シェルの最終的な厚さに起因する。即ち、面 1 1 0 3 における第 1 の照明と第 2 の照明の間隙は 1 mm を下回る。図 8 a の光学系における面 1 1 0 3 の x - y 方向の照明を図 8 b に示す。

#### 【 0 0 8 7 】

図 8 b から個々の環状部位 A 5 . 1、A 5 . 2、A 5 . 3、A 5 . 4、A 5 . 5 が明らかに認められる。個々の環状部位は面 1 1 0 3 において相互にほぼ直接連結している。図

10

20

30

40

50

8 bにも照明の対称軸 S M Aを示す。

【 0 0 8 8 】

図 8 aでは、第 1 のミラーシェルのみを示したが、図 8 bには、さらなるミラーシェルの、すなわち、第 3 のミラーシェルの、第 4 のミラーシェルの、第 5 のミラーシェルのみを示す。

【 0 0 8 9 】

図 8 cでは、第 1、第 2、第 3 のシェルの、照明 A 5 . 1 の第 1 のシェルの、照明 A 5 . 2 の第 2 のシェルの、照明 A 5 . 3 の第 3 のシェルの走査経路、即ち、y 方向に積分したエネルギー S E ( x )を示す。走査積分エネルギーを、第 1 のシェルの場合は参照番号 S E 1 で、第 2 のシェルの場合は参照番号 S E 2 で、第 3 のシェルの場合は参照番号 S E 3 で示す。走査積分エネルギーとは、上述のように、フィールド面 1 1 4 の環状の被照射フィールド面の y 軸に沿って、個々のミラーシェルの、集計したものである。図 1 に、フィールド面の局所座標系を示す。図 1 から認められるように、y 方向は、積分の方向でもあり、図 1 に示す走査モードで駆動する環状フィールド投影露光装置の走査方向である。

【 0 0 9 0 】

図 8 c から分かるように、走査積分したエネルギー S E ( x )の合計は、均等に遷移するが、個々のミラーシェルの寄与はない。

【 0 0 9 1 】

これは、個々のミラーシェルの熱変形、又は個々のミラーシェルの反射率の変化によって、走査積分の均一性が強く変動することを意味する。この問題を解決するため、本発明は、第 1 のシェルにより照射される領域と第 2 のシェルにより照射される領域の間に、照射されない領域を設ける、即ち、各ミラーシェルの熱変形によって照明が重なることのないように第 1 の照明と第 2 の照明との間に距離を設ける、さらなる態様を提案する。このようにして走査積分の均一性を一層確保することができる。

【 0 0 9 2 】

図 9 aに、第 1 のミラーシェル 1 2 1 2 . 1 及び第 2 のミラーシェル 1 2 1 2 . 2 の被照射領域 A 6 . 1 と被照射領域 A 6 . 2 の間に距離 A B を設けたシステムの x - z 断面を示す。図 8 aと同様の構成には同様の参照番号に 1 0 0 を加えた参照番号を付す。シェル 1 2 1 2 . 1、1 2 1 2 . 2 は、面 1 1 0 2 で被照射領域の間の距離を設けるのみでなく、図 9 bに示すほぼ長方形の照射領域を形成する、変形した集光器シェルが好ましい。さらに、最も内側の集光器シェル、ここでは第 2 の集光器シェル 1 2 1 2 . 2 によって受光することが可能な最小集光開口 N A<sub>min</sub>を示す。散乱光の通過を防止する絞り B も示す。本実施の形態では、閉じた、回転対称でないミラーシェルの共通の対称軸である z 軸も記す。

【 0 0 9 3 】

図 9 bに、合計で 3 つのミラーシェルの、即ち、第 1 のミラーシェルの、第 2 のミラーシェルの、第 3 のミラーシェルの照明を示す。第 1 のシェルの被照射領域を A 6 . 1、第 2 のシェルの被照射領域を A 6 . 2、第 3 のシェルも被照射領域を A 6 . 3 で示す。第 1 のミラーシェルの被照射領域 A 6 . 1 と第 2 のミラーシェルの被照射領域 A 6 . 2 の間の距離を A B 1 とし、第 2 のミラーシェル A 6 . 2 と第 3 のミラーシェルの被照射領域 A 6 . 3 の間の照明されない領域を A B 2 とする。距離 A B 1 と距離 A B 2 は、ミラーシェルの変形、例えば、熱変形によって、フィールドファセットを有する第 1 のファセット光学素子が配設された面 1 1 0 3 の被照射領域が重なることのないように算出されている。照明は、対称軸 S M Aを有する。ここで、照明の対称軸 S M Aは、四回対称軸である。

【 0 0 9 4 】

図 9 cに、面 1 1 0 3 の第 1 のミラーシェルの照明 A 6 . 1 のフィールドファセットの構成を示す。個別のフィールドファセットを参照番号 1 3 0 0 で示す。全フィールドハニカム 1 3 0 0 は、実線 1 3 2 0 . 1、1 3 2 0 . 2 で囲まれた照明 A 6 . 1 の内部に存在する。照明 A 6 . 1 に存在するフィールドハニカム、又はフィールドファセット 1 3 0 0

10

20

30

40

50

は完全に照明される。本例では、照明は長方形に行き渡り、フィールドファセットの形状は長方形となる。フィールドファセットは、鎖線 1 3 1 0 . 1、1 3 1 0 . 2 で囲まれた領域 1 3 1 0 に存在する。この領域は面 B を包含する。照明、即ち、第 1 のミラーシェルのによって照射される領域 A 6 . 1 は、面 A を有する。図 9 c に示すように、フィールドファセットを配置する領域 1 3 1 0 が、例えば、第 1 の集光器シェルによって照射される領域 A 6 . 1 によって隠れる場合、第 1 のミラーシェルに起因する照明は、幾何学的な光損失が最小化される。図 9 c から明らかなように、照明 A 6 . 1 の隅領域 E 1、E 2、E 3、E 4、E 5、E 6、E 7、E 8 は、ラスタ要素が配置されていない領域である。好ましくは、領域 1 3 1 0 が完全に照明されるが、照明が領域 1 3 1 0 の面 B の 1 . 2 倍を上回らない場合は、領域 1 3 1 0 の面 B 及び照明 A 6 . 1 の面 A は、例えば、第 1 のミラーシェルによって、以下の関係とする。

10

$$A \leq B \leq 1,2 \cdot A$$

、好ましくは

$$1,05 \cdot A \leq B \leq 1,1$$

【 0 0 9 5 】

上述の例では、領域の照明について、入れ子状集光器の第 1 のミラーシェルによって詳細に説明した。当業者であれば、他のミラーシェル、又は面の全てのミラーシェルによって照射される領域全てに応用可能であることは明らかである。領域全体についても、例えば、個別のミラーシェルの部分を加算することによって上述の関係が成り立つ。第 2 のミラーシェル及び第 3 のミラーシェルによる照明については、第 2 のミラーシェルについては参照番号 A 6 . 2 を、第 3 のミラーシェルについては A 6 . 3 を付している。

20

【 0 0 9 6 】

図 9 d に、被照射フィールドの形状に適合するフィールドラスタ要素を有する第 1 の光学部品と、このフィールドラスタ要素による照明を示す。既に説明したように、物体面の被照射フィールドの形状を有するフィールドラスタ要素、又はフィールドファセットは、例えば、米国特許第 6 , 1 9 5 , 2 0 1 号に記載されている。米国特許第 6 , 1 9 5 , 2 0 1 号では、物体面のフィールドの形状は円弧形状であり、個々のフィールドファセットも同様に円弧形状で構成されている。個々の円弧形状のフィールドファセットを参照番号 1 3 5 0 で示す。円弧形状のフィールドファセットは、鎖線 1 3 6 0 . 1、1 3 6 0 . 2 によって囲まれる領域 1 3 6 0 に配設される。本実施の形態において、円弧形状のフィールドファセット 1 3 5 0 は、延在する長方形の領域に設けられるので、集光器による、フィールドファセット要素が配設された面の照明 A 6 a . 1 も同様に延在する長方形の形状となる。図 9 d では、非限定的な、一つのミラーシェルのみを備えた、閉じた面を有する集光器による照明を示す。既に説明した長方形のフィールドファセットの場合のように、複数の集光器を用いてもよいことは明らかである。さらに、円弧形状の要素の他の構成、例えば、図 1 0 b . 2 に示す長方形のフィールドハニカム、又はフィールドファセットなどのブロックも可能である。

30

【 0 0 9 7 】

フィールドファセットは、波長が 1 9 3 nm 以下、或いは 1 0 0 nm、特に、1 5 nm 以下の E U V 波長領域のマイクロリソグラフィー用の反射型の、図 1 に示す照明システム、又は投影露光装置で実施することができ、同様に反射型の個別のファセットミラーでも実施可能である。また、図 1 に示す E U V 波長領域のリソグラフィー用投影露光装置では、例示に過ぎず、本発明を限定するものではない。

40

【 0 0 9 8 】

閉じたミラーシェルを有する本発明の実施の形態の代わりに、シェル部のみを集光器に組み込むこともできる。この構成を図 1 0 a に示し、シェル部によって、フィールドファセット又はフィールドラスタ要素を有する第 1 ファセット光学素子を配設した面を照明する構成を 1 0 b に示す。

50

## 【 0 0 9 9 】

第1のシェル又は鏡部を参照番号1400.1、1400.2で、第2のシェル又は鏡部を参照番号1400.3、1400.4で示す。図10b.1、図10b.2に、フィールドラスタ要素を有する第1ファセット要素を配設した面の4つの被照射領域を示す。図10b.1に、長方形のフィールドファセットを備えた一実施の形態を示す。ここで、鏡部1400.1、1400.2による、面103の照明をA7.1a、A7.2aで示す。照明A8.1a、A8.2aは、鏡部1400.3、1400.4による照明を示す。ここで、4つの照射領域A7.1a、A7.2a、A8.1a、A8.2aは、それぞれ距離ABを有することが明らかである。図10b.1で、長方形のフィールドファセット1402.1は全て、被照射領域A7.1a、A7.2a、A8.1a、A8.2a内に配設される。図10b.2に、フィールドファセット1402.2を円弧形状に構成した本発明の構成を示す。鏡部1400.1、1400.2によって照射される領域をA7.1b、A7.2b、A8.1b、A8.2bで示す。照明の間の距離をABで表す。

10

## 【 0 1 0 0 】

シェル部を備える一実施の形態では、図11aと図11bに示す実施の形態に、例えば、シェルを回転可能に配設して、集光器が二つの状態、即ち、第1の位置と第2の位置で稼働できるようにする構成も可能である。回転可能な部位の位置に応じて、フィールドファセットを有する第1ファセット光学素子を配置した図1の面103には、フィールドファセットによってそれぞれ異なる領域が照射される。図11aに、二つのシェル部1500.1、1500.2、1500.3、1500.4から構成される集光器を示す。部位1500.2は二つの位置1500.2Aと1500.2Bの二つの位置をとることができる。図11bに、フィールドラスタ要素を有する第1ファセット光学素子を配置した、図1の面103に割り当てられた照明を示す。シェル部1500.1、1500.3、1500.4の寄与は、図11bのA10.1、A10.2、A9.2で示す照明に対応する。回転可能な部位1500.2は1500.2Aの位置では照明A9.1Aを、位置1500.2Bでは照明A9.1Bに寄与する。図11bに示すように、部位1500.2が回転をして二つの位置をとることによって、異なる照明に調整することができる。

20

## 【 0 1 0 1 】

米国特許第6,658,084号に開示されているように、フィールドファセットが異なると、対応する図1の第2のラスタ要素104の瞳ファセットの割り当てが異なるため、ミラーシェル1500.2の回転によって異なる瞳ファセットを照明し、図1の照明システムの射出瞳の設定を調整することができる。これを図12aと図12bを参照して説明する。

30

## 【 0 1 0 2 】

図12aと図12bに、瞳ファセットを有する第2ファセット光学素子104の照明を示す。

## 【 0 1 0 3 】

シェル部1500.2が、図11aに示すように、第1の位置、即ち位置1500.2Aをとると、図12aの照明、即ち、最も外側の瞳ファセット1600が照明されず、内側の瞳ファセット1602が照明される状態となり、射出瞳は従来の円形の設定となる。シェル部1500.2が、第2の位置1500.2Bをとると、図12bの照明となる。最も外側の領域の瞳ファセット1600が照明され、内側の領域の瞳ファセットは照明されない。射出瞳は環状の設定となる。

40

## 【 0 1 0 4 】

図11a及び図11bに示したシェル部を異なる位置に移動させる代わりに、図13a及び図13bに示すように、集光器からラスタ要素を有するファセット光学素子までの光路上に光学的調整部を設けて、図12a及び図12bに示すように、瞳ファセットを有する第2ファセット光学素子への照明を変化させて設定を調整することができる。この光学的調整部は、例えば、図1の照明システムの平面鏡300の代わり、又は平面鏡300に加えて配設することができる。調整部が異なる位置をとることによって、図13cから図

50



1 3 e に示すように、第 1 のファセット光学素子の照明される領域は異なり、これによって瞳ファセット鏡の瞳ファセットは異なる。

【 0 1 0 5 】

図 1 3 a 及び図 1 3 b では、光学的調整部として、軸 A を中心として回転をして二つの異なる位置をとることができるいわゆるリッジ鏡 ( D a c h k a n t e n s p i e g e l ) 1 0 0 0 0 を示している。図 1 3 a に示す第 1 の位置では、リッジ鏡は平面鏡、例えば、図 1 の平面鏡 3 0 0 のような第 1 の鏡 8 0 0 0 として機能する。

【 0 1 0 6 】

図 1 で 1 0 2 で示す光学素子、そして第 1 のラスト要素の照明は、例えば、集光器 3 のミラーシェルの形状で決定される。このミラーシェルが、ほぼ、図 4 b 及び図 4 d に示すように変形すると、図 1 3 a に示すように、中央掩蔽部を有するほぼ長方形の照明 9 0 0 0 が結像される。図示されてない光源からの光束がリッジ鏡の平坦部 1 0 0 0 2 に入射すると、第 1 のラスト要素を有する光学素子に分割をせずに反射する。

【 0 1 0 7 】

リッジ鏡 1 0 0 0 0 が光学軸 A を中心に図 1 3 b に示す位置に回転すると、図示されていない光源からの光束 1 0 0 0 4 はリッジ鏡に、二つの光束 1 0 0 0 4 . 1 と 1 0 0 0 4 . 2 として分割されて入射し、フィールドファセット鏡の二つの領域 9 0 0 2 . 1、9 0 0 2 . 2 を照明する。図 1 3 b では、図 1 3 a とは異なる他の第 1 のラスト要素、即ち、フィールドラスト要素が照明され、図 1 3 b から図 1 3 c に示すように、フィールドファセットの瞳ファセットに対する割り当てを、射出瞳の設定を変化させることによって調整することができる。第 2 の位置では、リッジ鏡は、二つの反射面 8 0 0 4 . 1、8 0 0 4 . 2 からなる第 2 の鏡 8 0 0 2 の形状の第 2 及び第 3 の反射面を利用することができる。

【 0 1 0 8 】

図 1 3 c では、フィールドラスト要素の異なる瞳ラスト要素に対する一般的な割り当てを示す。ここで、領域 3 0 0 0 0 のフィールドラスト要素は領域 3 0 0 0 2 の瞳ラスト要素に割り当てられており、領域 3 0 0 1 0 の瞳ラスト要素は領域 3 0 0 1 2 のフィールドラスト要素に、フィールドラスト要素 3 0 0 2 0 は瞳ラスト要素 3 0 0 2 2 に割り当てられる。

【 0 1 0 9 】

図 1 3 d に示すように、図 1 3 a に示す領域 3 5 0 0 0 は、フィールドラスト要素を有する光学素子に照明されるため、ほぼ従来の満たされた瞳 4 0 0 0 0 が照明される。

【 0 1 1 0 】

リッジ鏡が図 1 3 b に示す位置をとると、図 1 3 e の照明 3 5 0 0 2 がフィールドラスト要素を有する光学素子に調整される。図 1 3 c とは異なる他のフィールドラスト素子の照明によって他のラスト素子が照明されるため、瞳では円形の照明 4 0 0 0 2 が実現し、照明システムの射出瞳には他の照明が照射される。回転可能なリッジ鏡を介してフィールドラスト要素を有する第 1 の光学素子に照射する照明を変更する代わりに、異なる鏡要素を配設した例えば、鏡回転ホイールなどの鏡交換部を用いて、第 1 のラスト要素を照射する照明を変更することもできる。例えば、鏡回転ホイールに、二つの鏡面、又は非球面の球面を有する傾斜した鏡或いは平面鏡などを配設してもよい。

【 0 1 1 1 】

本発明によると、米国特許出願第 2 0 0 3 - 0 0 4 3 4 5 5 A 1 号に開示された集光器と比較して照明の幾何学的光損失の低い E U V 投影対物光学系用集光器を提供することができる。さらなる実施の形態では、例えば、個別のミラーシェルの変形による、フィールド面の走査積分エネルギーの変動を下げることができる。

【 0 1 1 2 】

当業者には、本発明による実施の形態から、上述の図示の実施の形態の特徴を組み合わせ、又は上述の図示の実施の形態の特徴を交換することが可能であることを理解されるであろう。

【 図面の簡単な説明 】

10

20

30

40

50

## 【 0 1 1 3 】

【図 1】ファセット光学素子の中、又は近傍の面を照射する、少なくとも二つのミラーシェルの有する集光器を備えた E U V 投影露光装置を示す図である。

【図 2】従来技術の集光器を用いたファセット光学素子が配置された面の中、又は面の近傍の照明を示す図である。

【図 3】ファセット光学素子が配置された面の中、又は近傍のほぼ正方形の照明を示す図である。

【図 4 a】閉じた鏡面の变形が面の照明に与える影響を示す図である。

【図 4 b】閉じた鏡面の变形が面の照明に与える影響を示す図である。

【図 4 c】閉じた鏡面の变形が面の照明に与える影響を示す図である。

【図 4 d】閉じた鏡面の变形が面の照明に与える影響を示す図である。

【図 5 a】ほぼ正方形の照明を得るためにミラーシェルの変形した集光器のシェルの z 軸に沿った y - z 面の断面図である。

【図 5 b】二つの面と、二つの面によって画定される二つの軸を有する光学系の三次元説明図である。

【図 5 c】三つ面と、三つの面によって画定される二つの z 軸を有し、二つの面が z 軸に対して不連続に連結した光学系の三次元説明図である。

【図 6】非球面鏡によってほぼ正方形の照明を生成する照明システムの原理を説明する概略図である。

【図 7】光学的効果を有する回折格子要素によってほぼ正方形の照明を生成する原理を説明する概略図である。

【図 8 a】面の個々の照明がほぼ連結した従来技術の集光器の構成図である。

【図 8 b】面の個々の照明がほぼ連結した従来技術の集光器の構成図である。

【図 8 c】面の個々の照明がほぼ連結した従来技術の集光器の構成図である。

【図 9 a】フィールドハニカムを長方形に形成する、面に相互に距離を有する照明を形成する集光器の構成図である。

【図 9 b】フィールドハニカムを長方形に形成する、面に相互に距離を有する照明を形成する集光器の構成図である。

【図 9 c】フィールドハニカムを長方形に形成する、面に相互に距離を有する照明を形成する集光器の構成図である。

【図 9 d】フィールドハニカムを円弧形状に形成する、フィールドハニカムプレートを説明する図である。

【図 1 0 a】ほぼ長方形の照明を面に形成するシェル部からなる集光器の構成図である。

【図 1 0 b . 1】ほぼ長方形の照明を面に形成するシェル部からなる集光器の構成図である。

【図 1 0 b . 2】ほぼ長方形の照明を面に形成するシェル部からなる集光器の構成図である。

【図 1 1 a】面の様々な位置を照明する部位を備えた集光器の構成図である。

【図 1 1 b】面の様々な位置を照明する部位を備えた集光器の構成図である。

【図 1 2 a】フィールドファセットと瞳ファセットの割り当てを変更することによって照明が異なることを説明する図である。

【図 1 2 b】フィールドファセットと瞳ファセットの割り当てを変更することによって照明が変わることを説明する図である。

【図 1 3 a】光学的調整部によってフィールドファセットを有するファセット光学素子の照明を変更することによって、瞳の照明が変わることを説明する図である。

【図 1 3 b】光学的調整部によってフィールドファセットを有するファセット光学素子の照明を変更することによって、瞳の照明が変わることを説明する図である。

【図 1 3 c】光学的調整部によってフィールドファセットを有するファセット光学素子の照明を変更することによって、瞳の照明が変わることを説明する図である。

【図 1 3 d】光学的調整部によってフィールドファセットを有するファセット光学素子の

10

20

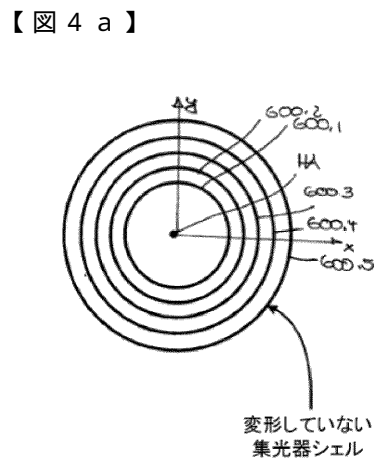
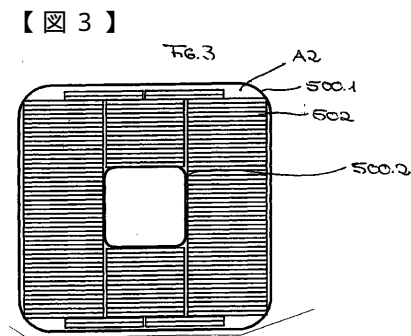
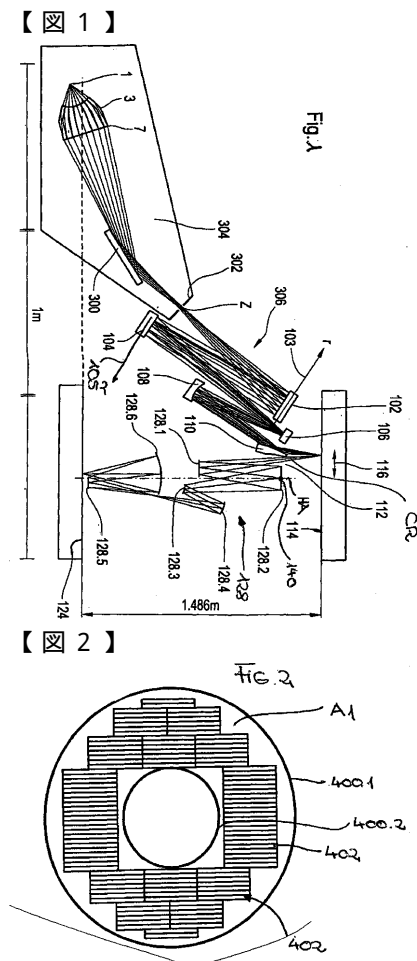
30

40

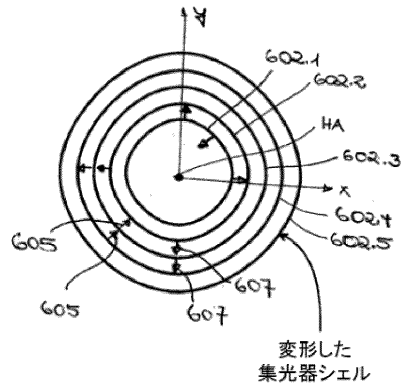
50

照明を変更することによって、瞳の照明が変わることを説明する図である。

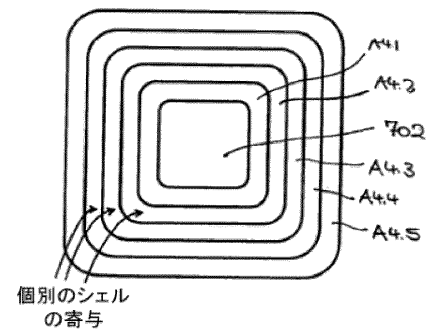
【図 1 3 e】 光学的調整部によってフィールドファセットを有するファセット光学素子の照明を変更することによって、瞳の照明が変わることを説明する図である。



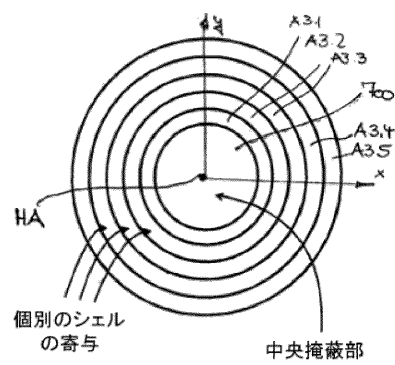
【図 4 b】



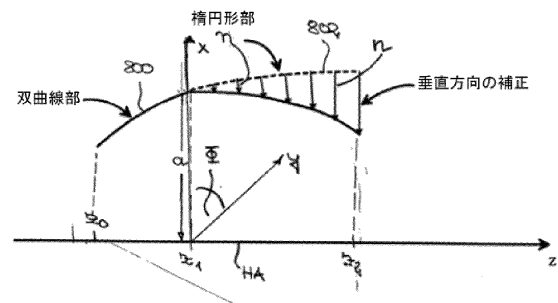
【図 4 d】



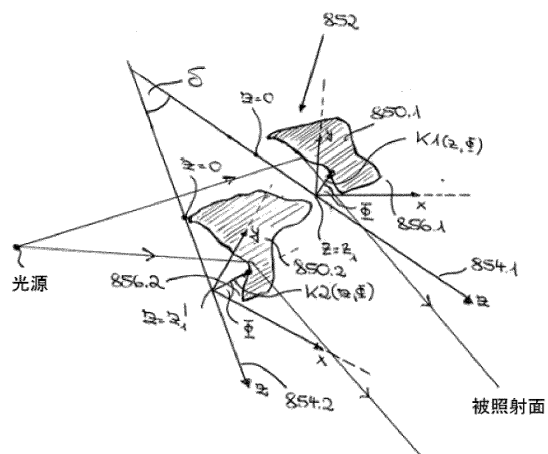
【図 4 c】



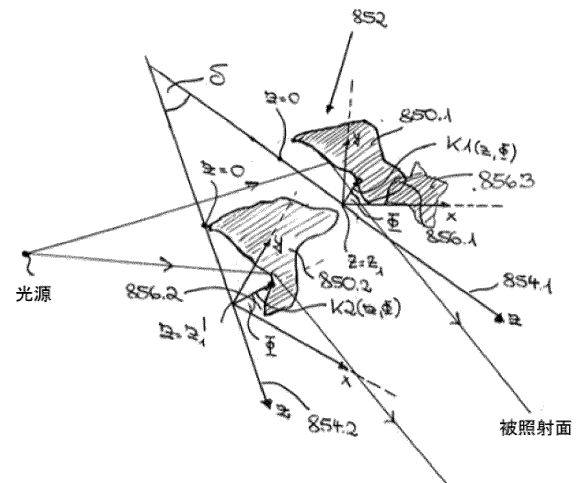
【図 5 a】



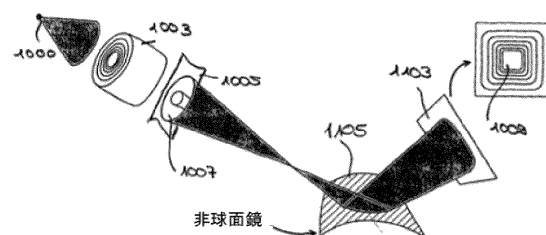
【図 5 b】



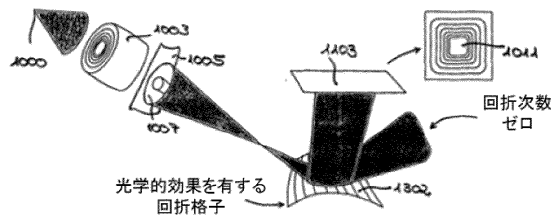
【図 5 c】



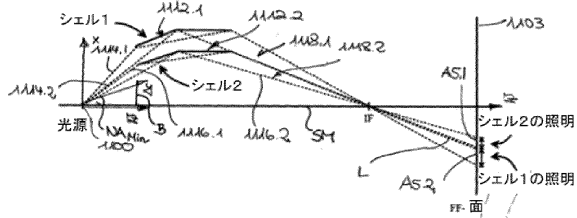
【図 6】



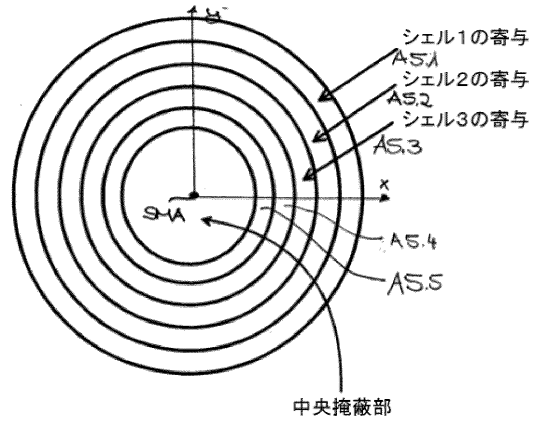
【図 7】



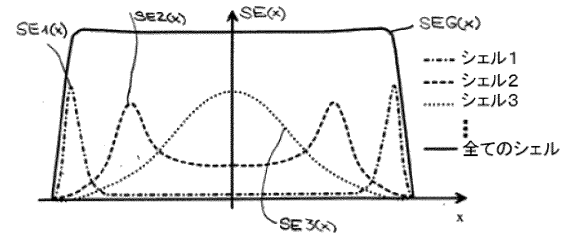
【図 8 a】



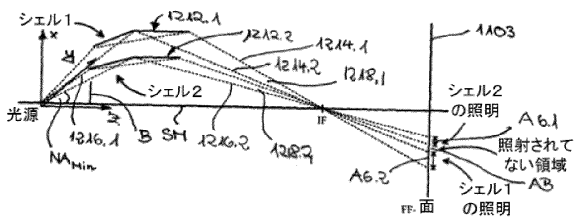
【図 8 b】



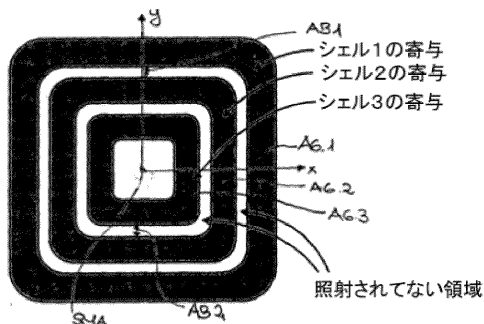
【図 8 c】



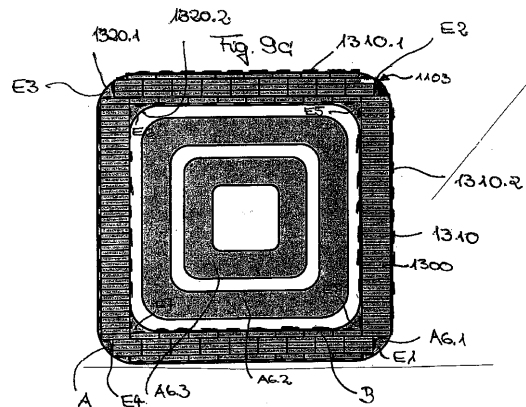
【図 9 a】



【図 9 b】

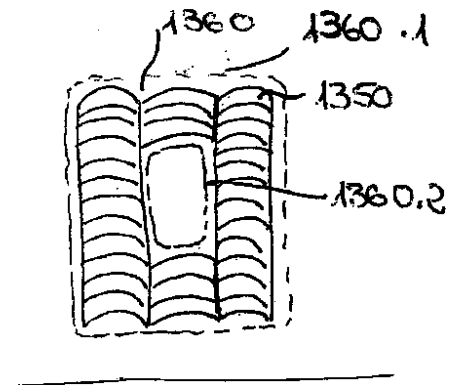


【図 9 c】

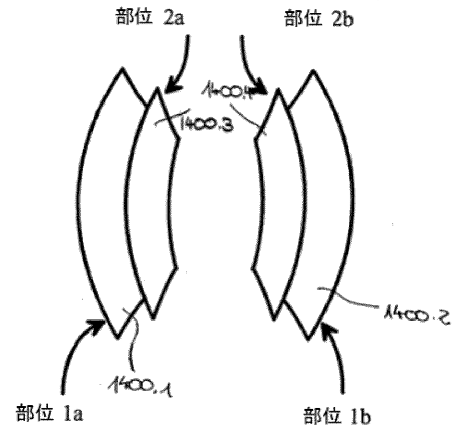


【図9d】

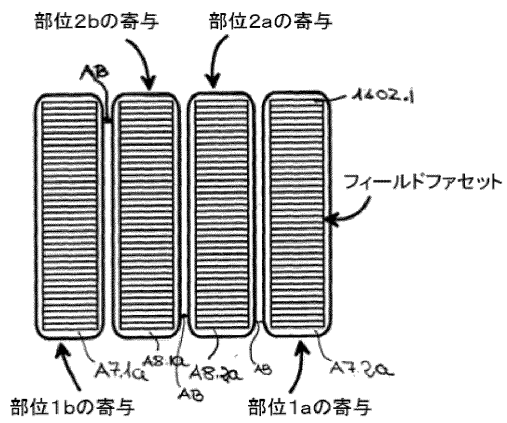
fig. 9d



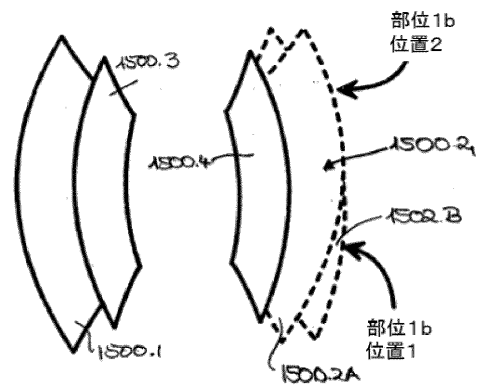
【図10a】



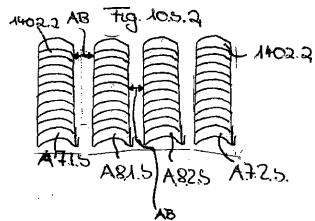
【図10b.1】



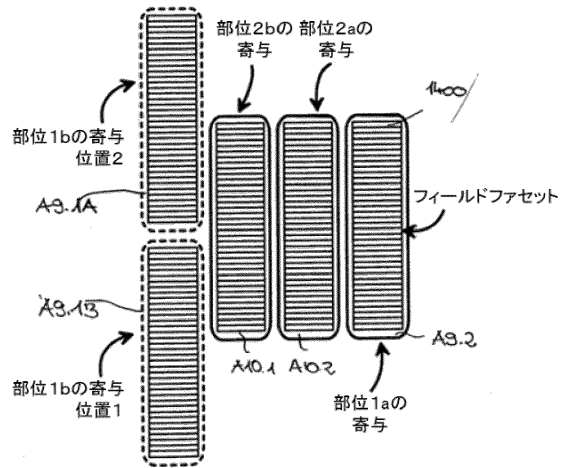
【図11a】



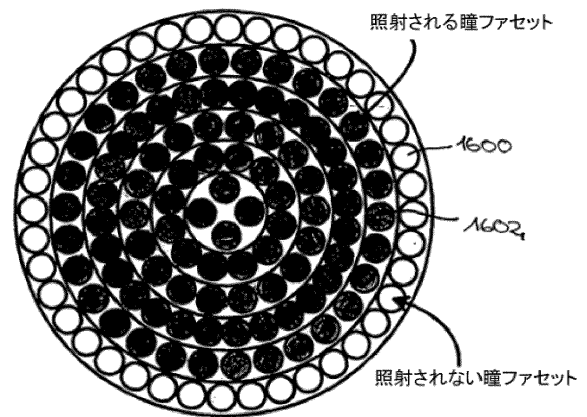
【図10b.2】



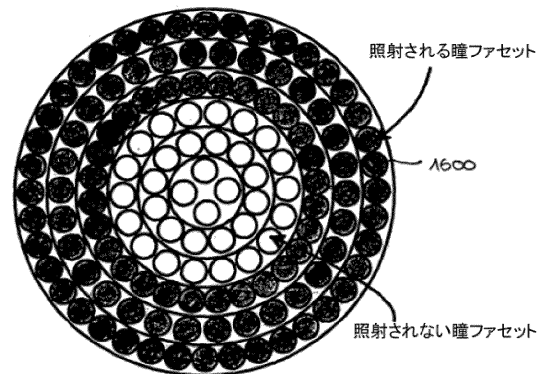
【図 1 1 b】



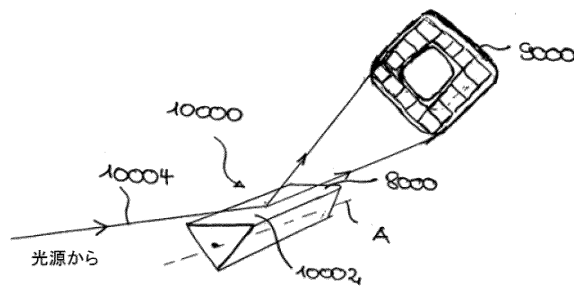
【図 1 2 a】



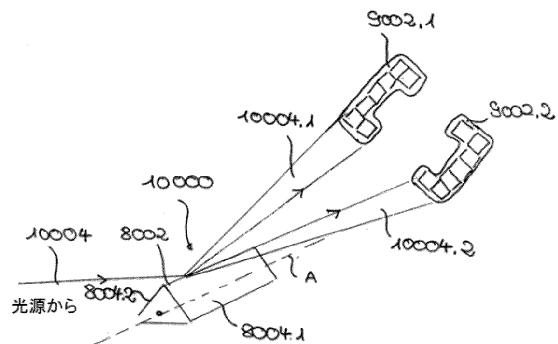
【図 1 2 b】



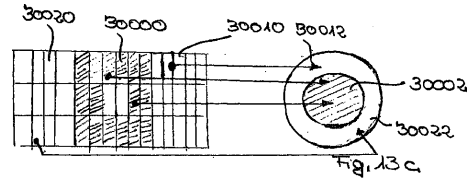
【図 1 3 a】



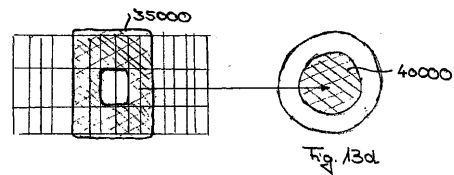
【図 1 3 b】



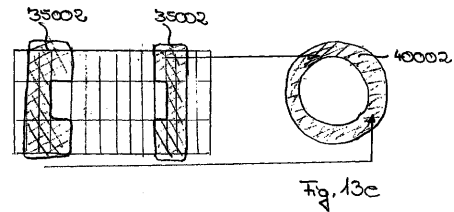
【図 1 3 c】



【図 1 3 d】



【図 1 3 e】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 ハイイツ ヨアヒム  
ドイツ連邦共和国 アーレン ツェッペリンシュトラッセ 49
- (72)発明者 エンドレス マルティン  
ドイツ連邦共和国 ケーニヒスブロン ゲーテシュトラッセ 3
- (72)発明者 ジンガー ヴォルフガング  
ドイツ連邦共和国 アーレン エガーラントシュトラッセ 45
- (72)発明者 クレーマン ベルント  
ドイツ連邦共和国 アーレン シェルマンシュトラッセ 14
- (72)発明者 バーダー ディーター  
ドイツ連邦共和国 オーベルグローニンゲン シュミーダーケルシュトラッセ 24

審査官 新井 重雄

- (56)参考文献 特開2003-197514(JP,A)  
特表2005-519459(JP,A)  
特表2006-511070(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027  
G02B 5/08  
G03F 7/20