

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6652948号  
(P6652948)

(45) 発行日 令和2年2月26日(2020.2.26)

(24) 登録日 令和2年1月28日(2020.1.28)

(51) Int.Cl.		F I			
<b>G03F</b>	<b>7/20</b>	<b>(2006.01)</b>	G03F	7/20	521
<b>G02B</b>	<b>19/00</b>	<b>(2006.01)</b>	G02B	19/00	
<b>G02B</b>	<b>3/00</b>	<b>(2006.01)</b>	G02B	3/00	A

請求項の数 9 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2017-128659 (P2017-128659)	(73) 特許権者	503263355
(22) 出願日	平成29年6月30日 (2017.6.30)		カール・ツァイス・エスエムティー・ゲー
(62) 分割の表示	特願2015-538303 (P2015-538303)		エムペーハー
原出願日	平成24年10月27日 (2012.10.27)		ドイツ連邦共和国、73447 オーバー
(65) 公開番号	特開2017-182094 (P2017-182094A)		コッヘン、ルドルフ・エーバー・シュトラ
(43) 公開日	平成29年10月5日 (2017.10.5)	(74) 代理人	100094569
審査請求日	平成29年6月30日 (2017.6.30)		弁理士 田中 伸一郎
		(74) 代理人	100088694
			弁理士 弟子丸 健
		(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】 マイクロリソグラフィ投影露光装置の照明システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

マイクロリソグラフィ投影露光装置の照明システムであって、光積分器(70)を備え、前記光積分器が、

a) 基準方向(X)に沿って第1の焦点距離 $f_1$ を有する第1の集光光学素子(78)のレイを備える第1の光学ラスタプレート(74)と、

b) 前記基準方向(X)に沿って第2の焦点距離 $f_2$ を有する第2の集光光学素子(84)のレイを備える第2の光学ラスタプレート(76)とを備え、

前記第1のレンズの頂点と前記第2のレンズの頂点が、前記焦点距離 $f_1$ 及び前記第2の焦点距離 $f_2$ のいずれよりも大きい距離dだけ離隔され、

前記照明システムは、波長 $\lambda$ を有する投影光を生成するように構成された光源(30)を備え、

前記第2の集光光学素子(84)が、前記基準方向(X)に沿ってピッチpを有し、ここで、

$$p^2 / (\lambda \cdot f_2) < k \text{ であり、 } k = 40 \text{ である}$$

照明システム。

【請求項2】

k = 20 である請求項1に記載の照明システム。

【請求項3】

k = 10 である請求項2に記載の照明システム。

## 【請求項 4】

前記光積分器(70)が、前記光源(30)と空間光変調器(38)との間に配置され、前記空間光変調器(38)が、前記照明システム(12)の瞳面(56)内の空間放射照度分布を変えるように構成される請求項1から3のいずれか1項に記載の照明システム。

## 【請求項 5】

前記空間光変調器が、反射性または透過性ビーム偏向素子(42)のビーム偏向アレイ(40)を備え、各ビーム偏向素子(42)が、前記ビーム偏向素子(42)に印加される制御信号に応じて変化可能な偏向角度だけ光ビームを偏向するように構成される請求項4に記載の照明システム。

10

## 【請求項 6】

前記ビーム偏向素子(42)が傾斜可能なミラーである請求項5に記載の照明システム。

## 【請求項 7】

マイクロリソグラフィ投影露光装置の照明システムであって、光積分器(70)を備え、前記光積分器が、

a) 基準方向(X)に沿って第1の焦点距離 $f_1$ を有する第1の集光光学素子(78)のアレイを備える第1の光学ラスタプレート(74)と、

b) 前記基準方向(X)に沿って第2の焦点距離 $f_2$ を有する第2の集光光学素子(84)のアレイを備える第2の光学ラスタプレート(76)とを備え、

20

前記第1のレンズの頂点と前記第2のレンズの頂点が、前記焦点距離 $f_1$ 及び前記第2の焦点距離 $f_2$ のいずれよりも大きい距離 $d$ だけ離隔され、

前記照明システムは、前記第2の光学ラスタプレート(76)が配置される前側焦点面(88)を有する集光器(72)を備え、

$d > 1.02 \cdot f_2$ である

照明システム。

## 【請求項 8】

$d > 1.05 \cdot f_2$ である請求項7に記載の照明システム。

## 【請求項 9】

$f_1$ 、 $f_2$ である請求項1から8のいずれか1項に記載の照明システム。

30

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、一般に、マイクロリソグラフィ投影露光装置の照明システムに関し、特に、個別に制御することができるマイクロミラーまたは他のビーム偏向素子のアレイを備える装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

マイクロリソグラフィ(フォトリソグラフィ、または単にリソグラフィとも呼ばれる)は、集積回路、液晶ディスプレイ、および他の微細構造デバイスの製造のための技術である。マイクロリソグラフィのプロセスが、エッチングのプロセスと共に、基板、例えばシリコンウェハ上に形成されている薄膜積層にフィーチャをパターン形成するために使用される。製造の各層で、ウェハは、まず、フォトレジストで被覆される。フォトレジストは、特定の波長の光に感光性がある材料である。次に、上にフォトレジストを有するウェハが、投影露光装置内で、マスクを通して投影光で露光される。マスクは、フォトレジスト上に像形成すべき回路パターンを含む。露光後、フォトレジストが現像されて、マスクに含まれる回路パターンに対応する像を生成する。次いで、エッチングプロセスが、回路パターンを、ウェハ上の薄膜積層に転写する。最後に、フォトレジストが除去される。様々なマスクを用いたこのプロセスの繰返しにより、多層微細構造構成要素が得られる。

40

投影露光装置は、典型的には照明システムを含み、照明システムは、例えば長方形また

50

は湾曲スリットの形状を有することがあるマスク上の領域を照明する。さらに、装置は、マスクを位置合わせするためのマスクステージと、マスク上の照明領域をフォトレジスト上に像形成する投影対物レンズ（時として「レンズ」とも呼ぶ）と、フォトレジストで被覆されたウェハを位置合わせするためのウェハ位置合わせステージとを備える。

#### 【0003】

投影露光装置の開発における重要な狙いの1つは、リソグラフィを用いて、構造をより一層小さい寸法でウェハ上に画定することを可能にすることである。小さい構造は高い集積密度をもたらす、高い集積密度は、一般に、そのような装置によって製造される微細構造構成要素の性能に好影響を及ぼす。

この狙いを実現するために、これまでに様々な手法が探求されている。1つの手法は、マスクの照明を改良するものである。理想的には、投影露光装置の照明システムは、マスク上の照明領域の各点を、よく定義された空間および角度放射照度分布を有する投影光で照明する。用語「角度放射照度分布」は、光束を構成する光線の様々な方向で、マスク上の特定の点に向かって収束する光束の全光エネルギーが分散される様子を表す。

マスクに衝突する投影光の角度放射照度分布は通常、フォトレジスト上に像形成すべき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フィーチャは、小さいサイズのフィーチャとは異なる角度放射照度分布を必要とすることがある。最も一般的に使用されている角度放射照度分布は、従来型、環状、二重極、および四重極照明環境と呼ばれる。これらの用語は、照明システムの瞳面内の放射照度分布を表す。環状照明環境では、例えば、瞳面内で環状領域のみが照明される。したがって、投影光の角度放射照度分布には小さな角度範囲しか存在せず、全ての光線が同様の角度で斜めにマスク上に衝突する。

#### 【0004】

望ましい照明環境を実現するようにマスク面内の投影光の角度放射照度分布を修正するために、様々な手段が当技術分野で知られている。マスク面内で様々な角度放射照度分布を生成する最大の自由度を実現するために、瞳面内の放射照度分布を決定するミラーアレイを使用することが提案されている。

欧州特許出願公開第1 262 836号では、ミラーアレイは、1000個を超える微小ミラーを備えるマイクロ電気機械システム(MEMS)として実現される。各ミラーは、2つの直交する傾斜軸の周りで傾斜させることができる。したがって、そのようなミラーデバイスに入射する放射は、半球のほぼ任意の望ましい方向に反射させることができる。ミラーアレイと瞳面との間に配置された集光器レンズが、ミラーによって生成された反射角度を瞳面内の位置に変える。この照明システムは、複数のスポットで瞳面を照明することを可能にし、ここで、各スポットは、1つの特定のミラーに関連付けられ、このミラーを傾斜させることによって瞳面を横切って自由に動くことができる。

#### 【0005】

ミラーアレイを使用する同様の照明システムが、米国特許出願公開第2006/0087634号、米国特許第7 061 582号、および国際公開第2005/026843号から知られている。

ミラーアレイ、またはマイクロレンズアレイ（これは、隣接するミラーの間に形成された隙間で光が失われないことを保証するようにアレイのミラー上に個々の光ビームを向けるために使用される）は、投影光によって均一に、または若干の放射照度勾配しか有さずに照明すべきである。また、照明システムの光源によって生成される投影光ビームの過渡的な変動が、照明システムの性能に何ら影響を及ぼさないことも重要である。例えば、光源としてしばしば使用されるエキシマレーザを用いる場合、レーザポインティングまたはレーザジッタと呼ばれる効果が観察される。これらの効果は、光源から出る投影光ビームの方向の小さな変動として現れる。

#### 【0006】

そのような変動がマスクの照明に対して悪影響を及ぼすことを防止するために、国際公開第2009/080279号は、光源と、ミラーアレイ、またはミラーアレイの前に配置されたマイクロレンズアレイとの間にビーム均質化ユニットを配置することを提案して

10

20

30

40

50

いる。ビーム均質化ユニットは、第1および第2の光学ラスタプレートを含む光積分器と、光積分器の第2の光学ラスタプレートが配置される前側焦点面を有する集光器とを備える。第1の光学ラスタプレートが第2の光学ラスタプレートのレンズの前側焦点面内に配置されるので、この前側焦点面が、集光器の後側焦点面上に像形成される。したがって、第1の光学ラスタプレートでの角度光分布は、集光器の後側焦点面内の空間放射照度分布に影響を及ぼさない。第2の光学ラスタプレートのレンズの対物面の像が集光器の後側焦点面内で重畳するので、第1の光学ラスタプレート上での放射照度分布のシフトは、実質的に角度光分布にのみ影響を与え、集光器の後側焦点面内の空間光分散には影響を与えない。

#### 【0007】

しかし、光積分器は、投影光の幾何光束を必然的に増加させる。したがって、光積分器の後方での投影光の発散は、光積分器の前方よりも大きい。しかし、ミラーアレイによってのみ発散が増加されるべきであるので、ビーム均質化ユニットに関して発散の増加は望ましくない。ミラーアレイに衝突するときに投影光の発散が大きければ大きいほど、後続の瞳面内でアレイのミラーによって生成されるスポットが大きくなる。しかし、マスク面内で任意の角度光分布を生成することは、非常に小さなスポットによってのみ可能である。

入射発散が特定の限度を超えない場合に光積分器によって生成される発散の増加は、第2の光学ラスタプレートのレンズが小さい屈折率を有する（これは、レンズの大きな焦点距離を示唆する）場合には小さく保つことができる。しかし、大きな焦点距離は、光学ラスタプレートの間、およびまた光積分器と集光器との間の大きな距離を必要とする。この問題は、折り返しミラーの使用によって解決することができる。しかし、投影光の発散が小さい場合、回折光によって生成される光積分器の隣接するチャンネル間の光クロストークが問題となる。発散を大幅に増加させるように設計された従来の光積分器では、光学ラスタプレート間の距離は、レンズの規則的な配置によって回折される光を光積分器のそれぞれのチャンネル内に閉じ込められたままにするには小さすぎる。しかし、発散が小さく、光学ラスタプレート間の距離が大きくなる場合、回折光は、隣接するチャンネルに入り、光クロストークに関与することがある。

#### 【0008】

光積分器内の光クロストークは、ビーム均質化ユニットの集光器の後側焦点面内の放射照度分布を変更する。主な問題は、衝突する光ビームの方向が安定していない場合、通常は光クロストークが変化することである。すると、レーザポインティングまたは他の過渡的な外乱が、ビーム均質化ユニットの集光器の後側焦点面内の空間放射照度分布を変えることがある。これは、最終的に、マスク面内の角度光分布を変える。すなわち、光クロストークは、光積分器に衝突する光の角度分布とは実質的に無関係な、重畳された空間放射照度分布を生成するというビーム均質化ユニットの特性を阻害する。

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0009】

したがって、本発明の目的は、光積分器を備える照明システムを提供することである。遠視野（またはそれと同等な、集光器の後側焦点面）で光積分器によって生成される重畳された空間放射照度分布は、光積分器が自身を通して伝播する光の発散をわずかにしか増加しない場合でさえ、光積分器に衝突する光の角度分布とは実質的に無関係である。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0010】

本発明によれば、この目的は、光積分器を備えるマイクロリソグラフィ投影露光装置の照明システムによって実現される。光積分器は、基準方向に沿って第1の焦点距離  $f_1$  を有する第1のレンズのアレイを備える第1の光学ラスタプレートを備える。第2の光学ラスタプレートは、基準方向に沿って第2の焦点距離  $f_2$  を有する第2のレンズのアレイを備える。第1のレンズの頂点と第2のレンズの頂点が、第2の焦点距離  $f_2$  よりも大きい

10

20

30

40

50

距離  $d$  だけ離隔され、ここで、 $d > 1.01 \cdot f_2$  である。

本発明者は、光積分器が発散をわずかにしか増加させず、かつ入射発散が小さい場合でさえ、光クロストークを完全にはなくすることができないことを認識している。しかし、回折光によって引き起こされる光クロストークの主な悪影響、すなわち、入射する光の角度光分布の過渡的な変動に対する光積分器の感受性をなくすることが可能である。第1のレンズが第2のレンズの前側焦点面内に配置されず、そこからさらに若干離れている場合、この感受性をかなり減少させる、またはさらには完全になくすることができることが判明している。発散をわずかにしか増加させない光積分器の場合には、第2の焦点距離  $f_2$  が典型的には数百ミリメートルの範囲内にあるので、わずか1%の距離の増加が、光学ラスタプレート間の距離が少なくとも数ミリメートル、しばしば数センチメートル増加されることを示唆する。

10

#### 【0011】

第1の光学ラスタプレートと第2の光学ラスタプレートとの間の距離の増加は、第1の光学ラスタプレート上での角度光分布が変化する場合に光クロストークに關与する回折光によって生成される遠視野空間放射照度分布の変化が補償されるという効果を有する。これは、第2のレンズの倒立効果を利用する。しかし、波としての光の性質を考慮に入れる厳格な計算によってのみ、第1のレンズの焦点外れ配置が、入射する光の角度光分布の過渡的な変動に対する光積分器の感受性を低下させる様子を完全に説明することができる。

特定の用途で選択すべき比  $d / f_2$  は、主に、光学ラスタプレートの幾何学的パラメータ、特に、第1および第2のレンズのピッチ、投影光の波長、およびその発散に応じて決まる。いくつかの用途では、 $d$  は、 $1.02 \cdot f_2$ 、またはさらには  $1.05 \cdot f_2$  を超えることがある。一般に、比  $d / f_2$  は、光積分器によって生成される発散が小さければ小さいほど増加する。

20

#### 【0012】

上述したように、光クロストークは、光積分器によって生成される発散が小さい場合のみ問題となる。この発散（全角）は、 $p / f_2$  に等しく、ここで、 $p$  は、第2のレンズのピッチであり、 $f_2$  は、それらの焦点距離である。光積分器の単一のチャンネルの回折次数の距離は、 $p / f_2$  である。発散  $p / f_2$  を、隣接する回折次数間の距離  $p / f_2$  で割れば、パラメータ  $p^2 / (f_2 \cdot p)$  は、発散中に受け取られる回折次数の数を示す。この数が小さい場合、発散中に受け取られず、したがって光クロストークに關与する多くの回折次数が存在する。

30

#### 【0013】

数  $k$  は、いくつかの実施形態では40未満であり、他の実施形態では20未満であり、さらなる実施形態では10未満である。数  $k$  が小さければ小さいほど、光学ラスタプレート間の距離  $d$  を第2のレンズの焦点距離  $f_2$  の従来の値よりも増加させることによって得られる利益が大きくなる。

$k$  が40、20、またはさらには10未満の状況は、光積分器が光源と空間光変調器との間に配置され、空間光変調器が照明システムの瞳面内の空間放射照度分布を変えるように構成される場合に生じる。しかしまた、発散をわずかにしか増加させない光積分器が必要とされる照明システムにおける他の用途もあり得る。

40

#### 【0014】

そのような空間光変調器は、反射性または透過性ビーム偏向素子のビーム偏向アレイを備えることがある。各ビーム偏向素子は、ビーム偏向素子に印加される制御信号に応じて変化可能な偏向角度だけ光ビームを偏向するように構成されてもよい。特に、ビーム偏向素子は、傾斜可能なミラーによって形成することができる。

本発明は、第1のレンズの焦点距離  $f_1$  が第2のレンズの焦点距離  $f_2$  に等しい対称光積分器にも、 $f_1 \neq f_2$  である非対称光積分器にも同様に適用可能である。

いくつかの実施形態では、照明システムは、第2の光学ラスタプレートが配置される前側焦点面を有する集光器を備える。しかし、光積分器は、後続の集光器なしで使用されてもよい。

50

## 【0015】

## 定義

用語「光」は、任意の電磁放射、特に可視光、UV、DUV、およびVUV光を表す。

用語「光線」は、本明細書では、その伝播経路を線によって表すことができる光を表すために使用される。

用語「光束」は、本明細書では、視野面内に共通の原点を有する複数の光線を表すために使用される。

用語「光ビーム」は、本明細書では、特定のレンズまたは別の光学素子を通過する光を表すために使用される。

用語「光積分器」は、本明細書では、積 $NA \cdot a$ を増加させる光学システムを表すために使用され、ここで、 $NA$ は開口数であり、 $a$ は、照明領域の面積である。

用語「集光器」は、本明細書では、2つの平面、例えば視野面と瞳面の間のフリー工関係を（少なくとも近似的に）確立する光学素子または光学システムを表すために使用される。

用語「空間放射照度分布」は、本明細書では、光が衝突する現実の表面または仮想の表面の上で全放射照度が変化する様子を表すために使用される。通常、空間放射照度分布は、関数 $I_s(x, y)$ によって記述することができ、 $x$ 、 $y$ は、表面内の点の空間座標である。視野面に適用される場合、空間放射照度分布は、必然的に、複数の光束によって生成される放射照度を積分する。

## 【0016】

用語「角度放射照度分布」は、本明細書では、光束を構成する光線の角度に応じて光束の放射照度が変化する様子を表すために使用される。通常、角度放射照度分布は、関数 $I_a(\theta, \phi)$ によって記述することができ、 $\theta$ 、 $\phi$ は、光線の方向を表す角度座標である。角度放射照度分布が領域依存性を有する場合、 $I_a$ も領域座標の関数であり、すなわち $I_a = I_a(\theta, \phi, x, y)$ である。

用語「表面」は、本明細書では、3次元空間内での任意の平坦面または湾曲面を表すために使用される。表面は、物体の一部でよく、または、視野面または瞳面の場合に通常そうであるように物体から完全に離れていてもよい。

用語「屈折力」は、光学素子が有する光に対する発散または収束効果を表すために使用される。したがって、正の屈折力は収束効果を有し、負の屈折力は光学的な発散効果を有する。

用語「収束効果」は、入射する光が発散しているか、平行であるか、または既に収束しているかに関わらず、収束が増加されることを意味する。入射する光が発散している場合、光学素子から出る光ビームが少なくともわずかに収束している程度まで収束が増加されなければならない。

## 【0017】

本発明の様々な特徴および利点は、添付図面に関連付けた以下の詳細な説明を参照してより容易に理解することができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0018】

【図1】本発明の一実施形態による投影露光装置の概略斜視図である。

【図2】図1に示される装置の一部である照明システムを通る子午断面図である。

【図3】図2に示される照明システムに含まれるミラーアレイの斜視図である。

【図4】やはり図2に示される照明システムの一部であるビーム均質化ユニットを通る子午断面図である。

【図5】図4に示されるビーム均質化ユニットに含まれる光学ラスタプレートの上面図である。

【図6】図5に示される光学ラスタプレートを通るVI-VI線に沿った断面図である。

【図7】代替実施形態による円筒形マイクロレンズを含む2つの光学ラスタプレートの斜視図である。

10

20

30

40

50

【図 8】従来技術のビーム均質化ユニットを通る概略子午断面図である。

【図 9】図 4 に示されるビーム均質化ユニットの光積分器を通る子午断面図である。

【図 10】第 2 の光学ラスタプレートとの隣接するレンズを、単一のより大きなレンズとプリズムとの組合せとみなすことができることを示す概略図である。

【図 11】光クロストークによって遠視野放射照度分布に影響が及ぼされる様子を示す概略図である。

【図 12】焦点外れの軸方向位置に第 1 の光学ラスタプレートを配置する影響を示す概略図である。

【図 13】対称光積分器の場合について、ピッチと焦点距離との様々な組合せに関して必要な焦点外れの量を示すグラフである。

【図 14】数  $p^2 / (\quad \cdot f_2)$  に応じて必要な焦点外れの量を示すグラフである。

【図 15】第 1 の光学ラスタプレートのレンズと第 2 の光学ラスタプレートのレンズが異なる焦点距離を有する、非対称光積分器に関する取り得る解決策を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0019】

#### I. 投影露光装置の全般的な構成

図 1 は、本発明による投影露光装置 10 の非常に簡略化した斜視図である。装置 10 は、照明システム 12 を備え、照明システム 12 は、投影光ビームを生成する。投影光ビームは、微細フィーチャ 19 のパターン 18 を含むマスク 16 上の領域 14 を照明する。この実施形態では、照明領域 14 は、リングセグメントの形状を有する。しかし、照明領域 14 の他の形状、例えば長方形も企図される。

光軸 OA を有し、複数のレンズ 21 を含む投影対物レンズ 20 が、照明領域 14 内のパターン 18 を、基板 24 によって支持された感光層 22、例えばフォトレジスト上に像形成する。シリコンウェハによって形成されることがある基板 24 は、感光層 22 の上面が投影対物レンズ 20 の像面内に正確に位置されるようにウェハステージ（図示せず）上に配置される。マスク 16 は、マスクステージ（図示せず）によって投影対物レンズ 20 の対物面内に位置決めされる。投影対物レンズ 20 は、倍率  $(\quad < 1)$  を有するので、照明領域 14 内のパターン 18 の縮小された像 18' が、感光層 22 上に投影される。

投影中、マスク 16 と基板 24 は、図 1 に示される Y 方向に対応するスキャン方向に沿って移動する。次いで、照明領域 14 は、マスク 16 の上をスキャンし、それにより、照明領域 14 よりも大きいパターン形成領域を連続的に像形成することができる。基板 24 とマスク 16 の速度の比は、投影対物レンズ 20 の倍率 に等しい。投影対物レンズ 20 が像を倒立させる場合  $(\quad < 0)$ 、マスク 16 と基板 24 は、図 1 に矢印 A1 と A2 によって示されるように逆方向に移動する。しかし、本発明はステッパツールで使用することもでき、この場合、マスク 16 と基板 24 は、マスクの投影中に移動しない。

【0020】

#### II. 照明システムの全般的な構成

図 2 は、図 1 に示される照明システム 12 を通る子午断面図である。分かりやすくするために、図 2 の例は、かなり簡略化されており、正確な縮尺ではない。これは特に、様々な光学ユニットが、1 つまたは非常に少数の光学素子のみによって表されていることを示唆する。現実には、これらのユニットは、かなり多くのレンズおよび他の光学素子を備えていてよい。

照明システム 12 は、ハウジング 29 と、光源 30 とを含み、光源 30 は、図示される実施形態ではエキシマレーザとして実現される。光源 30 は、約 193 nm の波長を有する投影光のビーム 31 を放出する。他のタイプの光源 30、および他の波長、例えば 248 nm または 157 nm も企図される。

【0021】

図示される実施形態では、光源 30 によって放出される光ビーム 31 は、参照番号 32 で示されるビーム拡大ユニットに入り、そこで光ビームが拡大される。このために、ビーム拡大ユニット 32 は、例えば、複数のレンズまたは平面ミラーを備えることがある。ビ

10

20

30

40

50

ーム拡大ユニット32から出る拡大された光ビーム31は、低い発散を有し、すなわちほぼコリメートされている。

次いで、光ビーム31は、ビーム均質化ユニット34に入り、ビーム均質化ユニット34は、光ビーム31を均質化して、マスクレベルでの投影光の角度分布を安定化させる。ビーム均質化ユニット34のレイアウトおよび機能については、セクションIIIで以下により詳細に説明する。

#### 【0022】

均質化後、光ビーム31は、ビーム分割アレイ36に衝突する。ビーム分割アレイ36は、光ビーム31を、複数の個別の収束する光ビームに分割する。図2には、これらの光ビームのうち、LB1、LB2によって表される2つの光ビームのみが示されている。光ビームの分割のために、分割アレイ36は、複数の小さいマイクロレンズ37を備える。分割アレイ36の取り得る構成は、例えば、国際出願第PCT/EP2010/005628号に開示されている。代替として、ビーム分割アレイ36は、国際公開第2005/026843号に開示されているように、回折光学素子のアレイを備えていてもよく、または完全になくされてもよい。

次いで、収束する光ビームLB1、LB2は、空間光変調器38を通過して伝播し、空間光変調器38は、後続の瞳面内で様々な空間放射照度分布を生成するために使用される。この実施形態では、空間光変調器38は、マイクロミラー42のアレイ40を備え、マイクロミラー42は、アクチュエータを用いて、2つの直交軸の周りで個別に傾斜させることができる。アクチュエータは、制御ユニット43によって制御され、制御ユニット43は、システム制御装置45全体に接続される。

#### 【0023】

図3は、収束する光ビームLB1、LB2が衝突するマイクロミラー42の傾斜角に応じて光ビームLB1、LB2が異なる方向に反射される様子を示すアレイ40の斜視図である。図2および図3では、アレイ40は、6×6個のマイクロミラー42のみを備えるが、現実には、アレイ40は、数百さらには数千個のマイクロミラー42を備えていてよい。

#### 【0024】

再び図2を参照すると、空間光変調器38は、さらに、第1の平坦面48aおよび第2の平坦面48bを有するプリズム46を備え、これらの平坦面48a、48bはどちらも、照明システム12の光軸47に対して傾けられている。これらの傾けられた表面48a、48bで、光ビームLBは全反射される。第1の表面48aは、衝突する光ビームLB1、LB2をマイクロミラーアレイ40のマイクロミラー42に向けて反射し、第2の表面48bは、マイクロミラー42から反射される光ビームLB1、LB2をプリズム46の出射面49に向ける。

それにより、光ビームLB1、LB2の方向、したがってプリズム46の出射面49から出る光の角度放射照度分布は、アレイ40のマイクロミラー42を個別に傾斜させることによって変えることができる。空間光変調器40に関するさらなる詳細は、例えば、米国特許出願公開第2009/0115990号で知ることができる。

#### 【0025】

空間光変調器38によって生成された角度放射照度分布は、第1の集光器50を用いて空間放射照度分布に変換され、集光器50は、衝突する光ビームLB1、LB2を領域画定光積分器52に向ける。この実施形態では、領域画定光積分器52は、2つの光学ラスタプレート54a、54bを備え、各ラスタプレート54a、54bが、円筒形マイクロレンズの2つの直交アレイを含む。領域画定光積分器52は、照明システム12の後続の瞳面56内に複数の二次光源を生成する。第2の集光器58は、瞳面56と、調節可能な視野絞り62が配置される視野絞り面60との間のフーリエ関係を確立する。第2の集光器58は、二次光源から出る光ビームを視野絞り面60内で重畳し、それにより、視野絞り面60は非常に均質に照明される。

#### 【0026】

視野絞り面 60 は、視野絞り対物レンズ 64 によってマスク面 66 上に像形成され、マスク面 66 内に、マスクステージ（図示せず）上に支持されたマスク 16 が配置される。それにより、調節可能な視野絞り 62 もマスク面 66 上に像形成され、少なくとも、スキャン方向 Y に沿って延びる照明領域 14 の横方向短辺を画定する。

領域画定光積分器 52 の前の空間放射照度分布は、瞳面 56 内の空間放射照度分布、したがって視野絞り面 60 およびマスク面 66 内の角度放射照度分布を決定する。したがって、制御ユニット 43 を用いてミラーアレイ 40 のマイクロミラー 42 の傾斜角を注意深く設定することによって、マスク面 66 内にほぼ任意の角度放射照度分布を迅速に生成することが可能である。これはさらに、マスク面 66 内の角度放射照度分布を、マスク 16 に含まれるパターン 18 に迅速に適合させることを可能にする。特にパターン 18 に合わせて調整される角度放射照度分布を使用して、パターン 18 を感光層 22 上により正確に像形成することができる。

【0027】

### III. ビーム均質化ユニット

図 4 は、図 2 に示されるビーム均質化ユニット 34 を通る子午断面図である。ビーム均質化ユニット 34 は、均質化光積分器 70 と、集光器 72 とを備える。均質化光積分器 70 は、第 1 の光学ラスタプレート 74 と、第 2 の光学ラスタプレート 76 とを含み、これらの光学ラスタプレート 74、76 は、ビーム均質化ユニット 34 の光軸 77 に沿って離隔されている。

図 5 の上面図で見ることができるよう、第 1 の光学ラスタプレート 74 は、複数の第 1 のレンズ 78 を備え、レンズ 78 は、X および Y 方向に沿って等しいピッチ  $p$  を有する規則的な回折格子状アレイとして配置される。図 5 に VI - VI 線に沿って示される第 1 の光学ラスタプレート 74 を通る断面図である図 6 は、第 1 のレンズ 78 が正の屈折率を有し、図示される実施形態では、平面 - 凸面マイクロレンズとして実現されることを示す。第 1 のレンズ 78 はそれぞれ湾曲面 80 を有し、湾曲面 80 は、正方形の縁部 82 によって境界を画される（図 5 参照）。それぞれ X および Y 方向に沿って異なるピッチ  $p_x$ 、 $p_y$  を有する、または異なる形状の境界線 82 を有する、および / または X および Y 方向に沿って異なる屈折率を有する構成も企図される。

【0028】

第 2 の光学ラスタプレート 76 は、第 2 のレンズ 84 を備え、第 1 の光学ラスタプレート 74 と実質的に同じ構成を有する。特に、一般性を失うことなく、第 2 のレンズ 84 が、X および Y 方向に沿って同じピッチ  $p$  を有することが仮定される。しかし、第 1 のレンズ 78 と第 2 のレンズ 84 の屈折率、したがって焦点距離が異なってもよい。

図 7 は、光学ラスタプレート 174、176 を備える均質化光積分器 170 の代替実施形態を示す。各光学ラスタプレート 174、176 は、それぞれ平行な円柱レンズ 178a、178b および 184a、184b の 2 つのアレイを備え、光学ラスタプレート 174、176 の両側にある円柱レンズ 178a、178b および 184a、184b は、直交する方向 Y および X に沿って延びる。2 つの直交する円柱レンズ 178a、178b または 184a、184b によって囲われる体積 90 は、図 5 および図 6 に示される光積分器 70 の単一のレンズ 78 または 84 に対応する。

【0029】

図 4 に示されるビーム均質化ユニット 34 の実施形態において、集光器 72 は、焦点距離  $f_c$  を有する単一の正レンズからなる。集光器 72 の前側焦点面 88 内に第 2 の光学ラスタプレート 76 が配置され、集光器 72 の後側焦点面 90 内に照明システム 12 の分割アレイ 36 が配置される。

他の実施形態では、集光器 72 は、複数のレンズまたは他の光学素子から組み立てられ、その結果、後側焦点距離とは異なる前側焦点距離を有することがある。

以下では、まず、光積分器と集光器を備える従来のビームホモジナイザが機能する様子を図 8 を参照して簡単に説明する。そのような従来のビームホモジナイザの一例は、図 2 に示される領域画定光積分器 52 と第 2 の集光器 58 の組合せである。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 0 】

光軸 77' に平行に延びる線に沿って配置される第 1 および第 2 の光学ラスタプレート 74'、76' のレンズ 78'、84' は、複数の光チャンネルを形成する。図 8 には、これらの光チャンネルのうち、参照番号 92'、94' によって表される 2 つの光チャンネルのみが示されている。各光チャンネル 92'、94' は、少なくとも回折が無視される場合には、それぞれのチャンネル 92、94 に関連付けられる第 1 のレンズ 78' に入った投影光がこの特定の光チャンネルに閉じ込められるという特性を有する。すなわち、投影光は、光チャンネルから去って、隣接する光チャンネルに入ることを許されない。チャンネルのそのような変化は、この文脈において光クロストークと呼ばれる。

従来の光積分器の特徴は、第 1 のレンズ 78' が第 2 のレンズ 84' の前側焦点面内に配置されることである。第 2 のレンズ 84' が集光器 72' の前側焦点面内に配置されるので、第 1 のレンズ 78' 上の空間放射照度分布が、集光器 72' の後側焦点面 90' 上に像形成される。これは、図 8 の上部に 3 つの対物点 O1、O2、O3 に関して示され、対物点 O1、O2、O3 は、それぞれ像点 I1、I2、および I3 上に第 2 のレンズ 84' および集光器 72' によって像形成される。

10

## 【 0 0 3 1 】

図 8 から、各光チャンネル 92'、94' が、集光器 72' の後側焦点面 90' 内の末端の像点 I1 および I3 によって囲われる同じ領域を照明することが明らかになる。したがって、幾分異なることがある第 1 のレンズ 78' 上の空間放射照度分布が、後側焦点面 90' 内で重畳される。この重畳は、後側焦点面 90' 内での非常に均一な空間放射照度分布をもたらす。

20

像形成関係で典型的であるように、対物面内、例えば対物点 O1、O2、O3 での角度光分布は、像面内、すなわち集光器 72' の後側焦点面 90' 内の空間放射照度分布に何ら影響を及ぼさない。これは、第 1 のレンズ 78' に衝突する投影光の入射角の変動が後側焦点面 90' 内の空間放射照度分布を変化させないことを保証するので、ビームホモジナイザの重要な特性である。入射角のそのような変動は、例えば、光源 30 によって生成される投影光ビーム 31 が完全には安定しておらず、中期的または長期的にはその方向がわずかに変わる場合に生じることがある。時としてレーザポインティングと呼ばれるそのような変動は、容易には抑制することができない。しかし、図 8 に示されるビームホモジナイザを用いれば、回折が無視される場合には、集光器 72' の後側焦点面 90' 内の空間放射照度分布の均一性に対するレーザポインティングの影響を好適に減少させることができる。

30

## 【 0 0 3 2 】

レーザポインティングは、通常、第 1 のレンズ 78' 上の照射される領域がわずかに変動することも示唆する。光チャンネル 92'、94' が全体にわたって照明される限り、またはどこも照明されない限り、これは、後側焦点面 90' 内の空間放射照度分布に対する影響を有さない。このとき、後側焦点面 90' 内の領域全体を照明する作業は、単純に 1 つの光チャンネルから別のチャンネルに移される。光チャンネルが一部照明される場合にのみ、これは、後側焦点面 90' 内の空間放射照度分布に対して影響を及ぼす。しかし、光チャンネルの数が十分に多い場合（これは、レンズ 78'、84' のピッチが小さいことを示唆する）、一部照明される光チャンネルによって引き起こされる空間放射照度分布の変動を無視することができる。

40

## 【 0 0 3 3 】

図 8 の下半分で、平行な投影光が第 1 のレンズ 78' に衝突する場合の状況が示されている。第 1 のレンズ 78' の焦点距離  $f_1$  が焦点距離  $f_2$  に等しい場合、光積分器は対称的であり、第 1 のレンズ 78' の焦点 F が第 2 のレンズ 84' の内部に位置される。入射する投影光の発散が小さければ小さいほど、焦点 F での強度は高くなる。その理由のため、第 1 のレンズ 78' の焦点距離  $f_1$  は通常、高い光強度によって損傷を引き起こされないと予想される位置で最高の光強度が得られるように決定される。例えば、焦点 F は、第 2 のレンズ 84' の完全に外側に位置されることがあり、または、少なくとも、感光性反射

50

防止コーティングが塗布された光学的表面の外側に位置されることがある。

図9は、本発明によるビーム均質化ユニット34の均質化光積分器70を通る子午断面図である。第1の光学ラスタプレート74の第1のレンズ78は、少なくともX方向に沿って焦点距離 $f_1$ を有し、焦点距離 $f_1$ は、この実施形態では、ビーム均質化ユニット34の光軸77に平行なZ方向に沿って第1のレンズ78の頂点100と第2のレンズ84の頂点102とが離隔されている距離 $d$ よりも小さい。光軸77は、集光器72の回転対称軸と一致する。したがって、第1のレンズ76によって生成される焦点を含む焦点面95は、第2の光学ラスタ要素76の外側に配置され、それにより、高い光強度によって引き起こされる損傷の危険を無視することができる。

【0034】

第2のレンズ84の焦点距離 $f_2$ も、距離 $d$ よりも小さい。図示される実施形態では、 $d > 1.06 \cdot f_2$ であり、すなわち、距離 $d$ は、焦点距離 $f_2$ よりも約6%大きい。したがって、第1の光学ラスタプレート74は、図8に示される従来の配置とは対照的に、第2の光学ラスタプレート76の第2のレンズ84の前側焦点面96内に配置されず、そこからさらに離れた位置に配置される。この焦点外れ配置は、回折光によって生成される光クロストークがビーム均質化ユニット34の安定化効果に悪影響を及ぼさないという効果を有する。より具体的には、条件 $d > 1.01 \cdot f_2$ は、集光器72の前側焦点面90内の空間放射照度分布が、入射する投影光の方向に依存しない、または少なくともそれほど依存しないことを保証する。

【0035】

第1の光学ラスタプレート74の焦点外れ配置の効果は、幾何光学に基づくのみでは完全には理解することができない。回折効果も考慮に入れた厳格な数学的記述に基づいてのみ、この効果を包括的に説明し、理想的な比 $d / f_2$ を決定することが可能である。

それにも関わらず、以下では、均質化光積分器70に衝突する投影光の方向が変動する場合に集光器72の後側焦点面90内の空間放射照度分布が変化するので、第1の光学ラスタプレート74の焦点外れ配置がどのように防止するかについて、より分かりやすく説明することを試みる。

【0036】

IV. 論述

図10は、3つの隣接する光チャネル92、93、94を備える均質化光積分器70(正確な縮尺ではない)の一部を左側に示す。以下では、中央の光チャネル93に衝突する投影光のみを考察する。隣接する光チャネル92、94は吸収プレート102によって遮蔽されていると仮定する。

中央光チャネル93に衝突する参照番号104で示される投影光は、第1の光学ラスタプレート74の第1のレンズ78で回折される。投影光104の大部分は、中央光チャネル93の内部のみで伝播し、最終的に、後続の第2の光学ラスタプレート76の関連の第2のレンズ84から出る。

しかし、第1のレンズ78の縁部82の規則的な配置が、遠視野での回折パターン(フラウンホーファー回折)を生み出す回折格子を形成し、これは、複数のスリットに関して考えられている概念を使用して説明することができる。図10で、複数の隣接する回折次数106が、破線によって示されている。回折次数106の間の角度距離は、比 $\lambda / p$ に等しく、ここで、 $\lambda$ は、投影光の波長であり、 $p$ は、レンズ78のピッチである。図10で、かなりの数の回折次数106が、中央光チャネル93に閉じ込められず、隣接する光チャネル92、94に入り、したがって光クロストークに関与すると仮定される。

【0037】

照明システム12の中間像面60内で均一な空間放射照度分布を生成するために使用される領域画定光積分器52は、幾何光束をかなり増加させなければならない。幾何光束は、画像の高さと開口数NAの積として定義される。中間像面60での開口数NAは、(特に投影対物レンズ20も大きい開口数、例えば $NA = 1.2$ を有する場合には)かなり大きいので、領域画定光積分器52によって生成される幾何光束の増加は、かなり大きい

10

20

30

40

50

ずである。すなわち、領域画定光積分器 5 2 は、比  $p / f_2$  に等しい大きい発散を生成しなければならず、ここで、 $p$  はレンズ 7 8、8 4 のピッチであり、 $f_2$  は第 2 のレンズ 8 4 の焦点距離である。したがって、大きな発散は、ピッチ  $p$  が大きく、焦点距離  $f_2$  が小さいことを示唆する。これにより、第 1 の光学ラスタプレート 5 4 a と第 2 の光学ラスタプレート 5 4 b とがすぐ近傍に配置される構成が得られる。なぜなら、図 8 を参照して上で説明したように、光学ラスタプレート 5 4 a、5 4 b の間の距離は通常、第 2 のレンズの焦点距離  $f_2$  に等しいからである。

#### 【 0 0 3 8 】

ビーム均質化ユニット 3 4 に含まれる均質化光積分器 7 0 を用いる場合、状況はかなり異なる。ここでは、均質化光積分器 7 0 が幾何光束を増加することは望まれない。ビーム均質化ユニット 3 4 から出る光が依然として実質的にコリメートされている場合にのみ、主に光変調器 3 8 を用いて、瞳面 5 6 内の空間放射照度分布を定義することが可能である。ミラーアレイ 4 2 で反射される光が大きな発散を有する場合、領域画定光積分器 5 2 で生成されるスポットは、望ましい空間放射照度分布を正確に生成するため、したがって望ましい照明環境を得るためには大きすぎる。

10

ビーム均質化ユニット 3 4 に含まれる均質化光積分器 7 0 の発散が小さい場合、レンズ 7 8、8 4 のピッチ  $p$  は小さいはずであり、第 2 のレンズ 8 4 の焦点距離  $f_2$  は大きいはずである。これにより、第 1 の光学ラスタプレート 7 4 と第 2 の光学ラスタプレート 7 6 の間に大きな距離  $d$  が生じる。この距離  $d$  は、ビーム均質化ユニット 3 4 の全体の寸法を減少させるために 2 つの光学ラスタプレート 7 4、7 6 の間にビーム折り返しミラーを配置するのに有用な大きさであることがある。

20

#### 【 0 0 3 9 】

再び図 1 0 を参照すると、回折次数 1 0 6 の多くは、大きな距離  $d$  により、同じ光チャネル 9 3 に属する第 2 のレンズ 8 4 には衝突せず、隣接する光チャネル 9 2、9 4 に属する第 2 のレンズに衝突する。したがって、幾何光束をわずかにだけ増加させる光積分器の場合、光クロストークに関与する回折光の部分はかなり多い。

#### 【 0 0 4 0 】

光クロストークの問題の大きさを判断するには、どれだけ多くの回折次数が光チャネルから去るかを求めればよい。この文脈で、量  $k$  を、以下のように定義することができる。

$$k = p^2 / (\quad \cdot f_2) \quad (1)$$

30

ここで、 $k$  は、均質化光積分器 7 0 によって生成される発散中に「含まれる」ように光チャネル内に残る回折次数 1 0 6 の数に等しい。この数  $k$  は、 $p / f_2$  によって与えられる合計の発散と、 $\quad / p$  によって与えられる隣接する回折次数間の距離との比に等しい。数  $k$  が小さければ小さいほど、均質化光積分器 7 0 によって生成される発散中に含まれない、したがって光クロストークに関与する回折次数の数が多くなる。

領域画定光積分器 5 2 において、パラメータ  $k$  は、方向  $X$  または  $Y$  に応じて、数百 ~ 数千の間の範囲内である。しかし、ビーム均質化ユニット 3 4 の均質化光積分器 7 0 において、パラメータ  $k$  は通常、4 0 よりも小さく、しばしば 2 0 よりも小さく、またはさらには 1 0 よりも小さい。

#### 【 0 0 4 1 】

40

以下、光クロストークが光積分器 7 0 の安定化特性を損なう様子、およびこの悪影響が、 $d > f_2$  での第 1 の光学ラスタプレート 7 4 の焦点外れ配置によって補償される様子をより詳細に説明する。

例示のために、図 1 0 に示され、中央チャネル 9 3 と 2 つの隣接するチャネル 9 2、9 4 とを備える第 2 の光学ラスタプレート 7 6 の部分は、概念上、3 つの光チャネル 9 2、9 3、9 4 全てにわたって広がる単一のより大きなレンズ 1 0 8 と、2 つの楔形部分 1 1 2、1 1 4 を含むプリズム 1 1 0 とに分割される。楔形部分 1 1 2、1 1 4 は、第 2 のレンズ 8 4 の縁部 8 2 での傾きの 2 倍の傾きを有する。

#### 【 0 0 4 2 】

プリズム 1 1 0 が存在せず、したがって回折次数 1 0 6 が、より大きなレンズ 1 0 8 に

50

のみ入射する場合、集光器 72 の後側焦点面 90 内の空間放射照度分布に対する影響はない。しかし、これは、プリズム 110 に伴う光学的な影響も考慮に入れられる場合には変化する。

これについて、以下に、図 11 の概略図を参照して説明する。第 2 の光学ラスタプレート 76 の中央チャンネル 93 に点 A で衝突する投影光 104 は、後側焦点面 90 で生成される空間放射照度分布 109 内でどこかの点 A' での放射照度に寄与する。点 B に衝突する投影光は、空間放射照度分布 109 の縁部 B' 上の点 B' に寄与する。プリズム 110 が存在しない場合、光チャンネルから去って、レンズ 108 に位置 C で衝突する光は、空間放射照度分布 109 内の点 C' での放射照度に寄与する。

しかし、プリズム 110 の楔形部分 112、114 の影響を正しく考察すると、楔角度が第 2 のレンズ 84 の縁部角度の 2 倍であるので、光チャンネルから去る光は、空間放射照度分布の幅  $w$  に等しい距離だけ楔形部分 112、114 によって偏向されることが分かる。したがって、光クロストークに寄与し、位置 D で第 2 のレンズ 84 に衝突する回折光は、距離  $w$  だけ上方向にシフトされた位置 D' での放射照度を増加させる。

#### 【0043】

光クロストークに寄与する回折光に関して、従来の配置に関して図 8 を参照して上で説明したように、後側焦点面 90 内の空間放射照度分布は、均質化光積分器 70 に衝突する投影光の入射角とは無関係でない。図 10 および図 11 での例示から、第 1 の光学ラスタプレート 74 の斜めの照明が、回折次数 106 の方向、したがって隣接するチャンネル 92、94 を通過する光の量を変えることが分かる。このとき、光クロストークに寄与する回折次数 106 は、依然として幅  $w$  の放射照度分布 109 に寄与し、この幅  $w$  は、光チャンネルの縁部 82 に関連付けられる点 B' によって決定される。しかし、この放射照度分布は、ここでは入射角に応じて変化する。したがって、例えば、レーザポインティングは、後側焦点面 90 内の空間放射照度分布も変化するという影響を及ぼす。これは、最終的には、照明システム 12 の瞳面 56 内の空間放射照度分布、したがって、マスク面 66 内の角度放射照度分布に影響を及ぼす。

#### 【0044】

光クロストークに寄与する回折次数 106 に関連付けられるシフトは、第 1 の光学ラスタプレート 74 の焦点外れ配置によって補償される。図 12 は、レーザポインティングにより生じ得る第 1 の光学ラスタプレート 74 の斜めの照明を示す。当然、より大きなレンズ 108 の焦点面は、個々の第 2 のレンズ 84 の前側焦点面 96 に一致する。したがって、第 1 の光学ラスタプレート 74 での空間放射照度分布ではなく、前側焦点面 96 での空間放射照度分布が、集光器 72 の焦点面 90 上にある第 2 の光学ラスタプレート 76 および集光器 72 によって像形成される。第 1 の光学ラスタプレート 74 の斜めの照明の場合、各第 1 のレンズ 78 によって生成される空間放射照度分布は、図 12 に示されるようにシフトされる。レンズ 108 の倒立効果により、空間放射照度分布 116 のこのシフトは、逆方向への等しいシフトによって補償される。

#### 【実施例】

#### 【0045】

#### V. 実施例

図 13 は、ピッチ  $p$  と第 2 の焦点距離  $f_2$  との様々な組合せに関して、上述した補償を得るために使用するべき比  $d/f_2$  を示すグラフである。ここで、波長  $\lambda$  は  $193\text{ nm}$  であり、均質化光積分器は対称的であり、すなわち  $f_1 = f_2$  であると仮定する。曲線の波形は、回折次数の周期性を反映する。

図 14 は、式 (1) によって定義される数  $k$  に応じて比  $d/f_2$  が示される計算の結果を示す。パラメータ  $k$  が小さければ小さいほど、第 1 の光学ラスタプレート 74 の焦点外れ  $d/f_2$  が大きくなるはずであることが分かる。

#### 【0046】

表 1 は、本発明による光積分器に関する数値の一例を含む。

レンズの高さ  $h$  は、第 2 のレンズ 84 の湾曲面の高さとして定義される。長い焦点距離

10

20

30

40

50

$f_2$ により、高さ $h$ は、距離 $d$ に比べて非常に小さい。

【表 1】

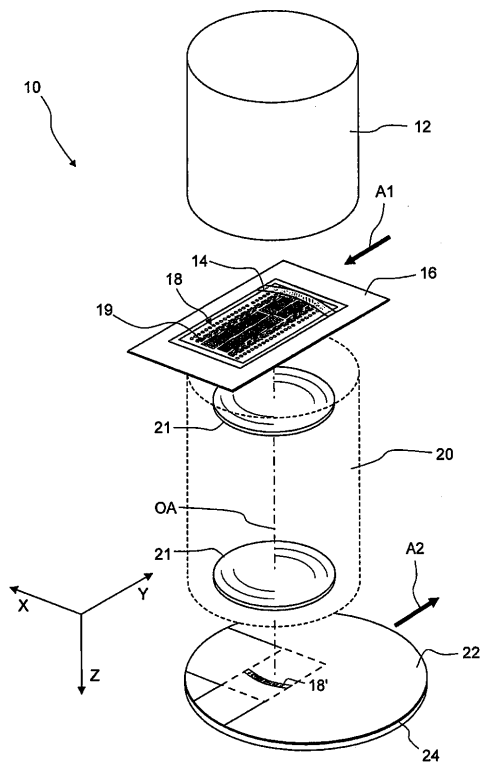
波長 $\lambda$	193 nm
ピッチ $p$	1 mm
焦点距離 $f_2$	52 cm
パラメータ $k$	10
距離 $d$	55 cm
距離 $d/f_2$	1.06
レンズの高さ $h$	0.48 $\mu\text{m}$

表1

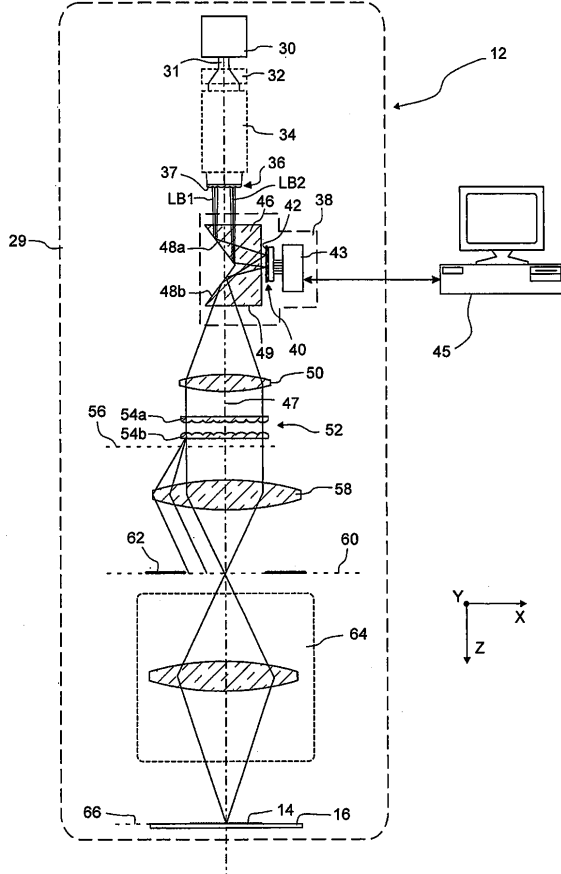
【 0 0 4 7 】

図 15 は、第 1 のレンズ 7 8 と第 2 のレンズ 8 4 の焦点距離が異なる ( $f_1$   $f_2$ ) 非対称の均質化光積分器に関する比  $d / f_2$  を示すグラフである。曲線上に位置する全ての点が、取り得る解である。所与の第 2 の焦点距離  $f_2$  に関して、第 1 の焦点距離  $f_1$  の最小値が存在し、第 1 の焦点距離  $f_1$  はその最小値未満になることができないことが分かる。

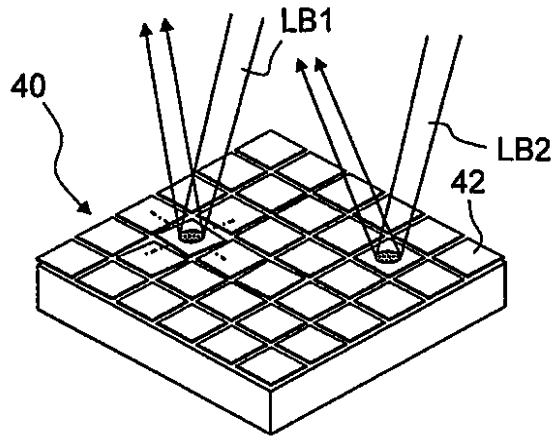
【 図 1 】



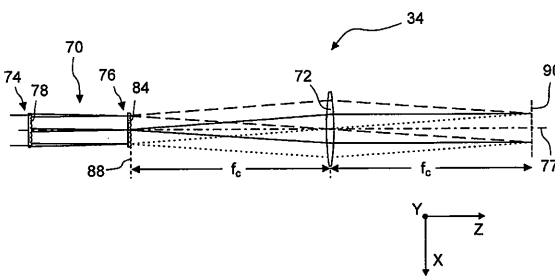
【 図 2 】



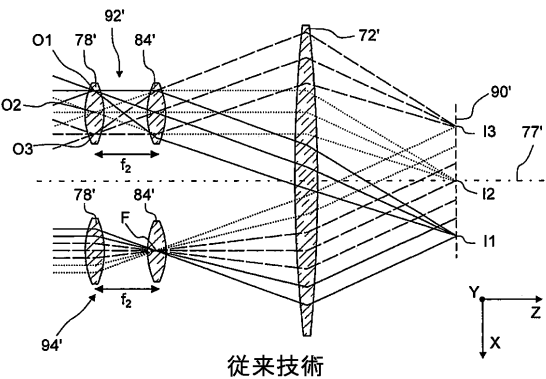
【図3】



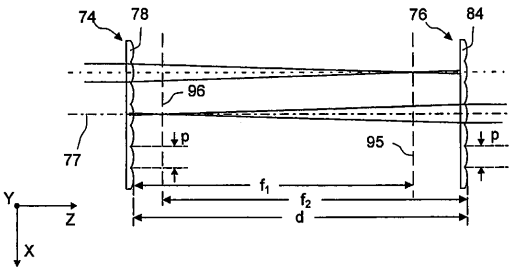
【図4】



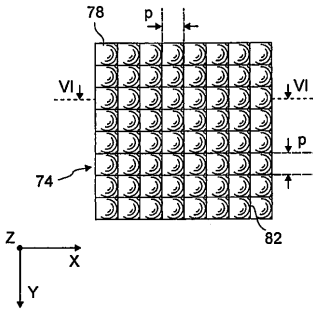
【図8】



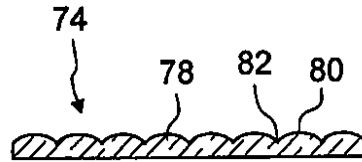
【図9】



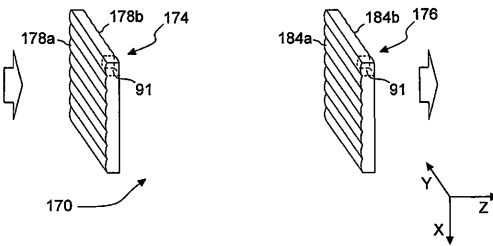
【図5】



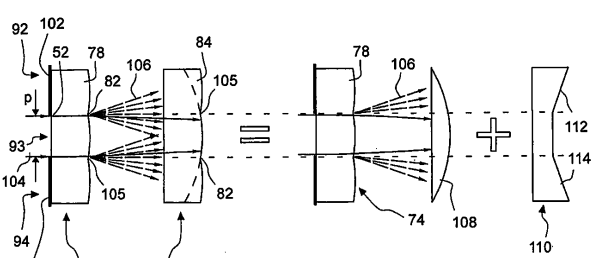
【図6】



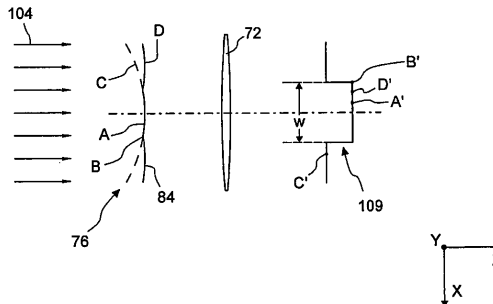
【図7】



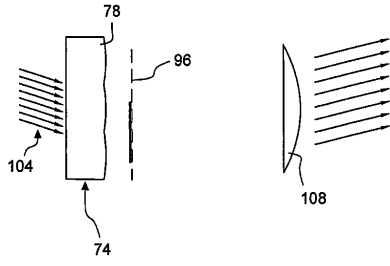
【図10】



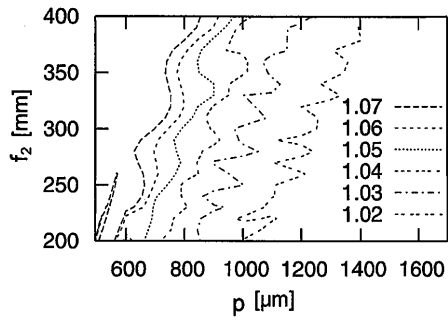
【図11】



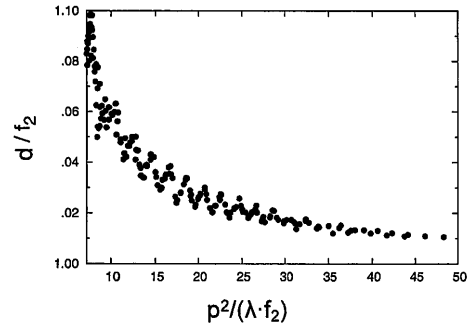
【 1 2 】



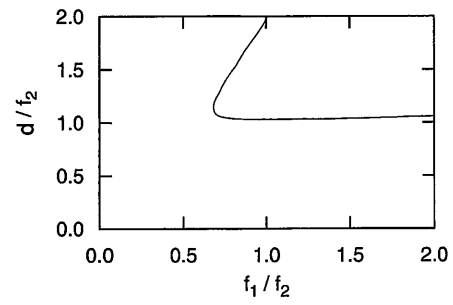
【 1 3 】



【 1 4 】



【 1 5 】



## 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 100120525

弁理士 近藤 直樹

(72)発明者 パトラ ミヒャエル

ドイツ連邦共和国 73447 オーバーコッヘン シューバルトヴェーク 41

審査官 新井 重雄

(56)参考文献 特開2010-192868(JP,A)

特開2000-089684(JP,A)

国際公開第2011/039261(WO,A2)

特表2013-535845(JP,A)

米国特許出願公開第2013/0114060(US,A1)

特開2002-040327(JP,A)

特開2002-198309(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G03F 7/20

G02B 3/00

G02B 19/00