

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5369319号
(P5369319)

(45) 発行日 平成25年12月18日(2013.12.18)

(24) 登録日 平成25年9月27日(2013.9.27)

(51) Int.Cl.		F I		
HO 1 L 21/027	(2006.01)	HO 1 L 21/30	5 1 5 D	
GO 2 B 19/00	(2006.01)	GO 2 B 19/00		
GO 2 B 5/04	(2006.01)	GO 2 B 5/04	F	
		GO 2 B 5/04	D	

請求項の数 17 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2009-518757 (P2009-518757)	(73) 特許権者	503263355
(86) (22) 出願日	平成19年7月5日(2007.7.5)		カール・ツァイス・エスエムティー・ゲー エムペーハー
(65) 公表番号	特表2009-544146 (P2009-544146A)		ドイツ連邦共和国、7 3 4 4 7 オーバー コッペン、ルドルフ・エーバー・シュトラ ーセ 2
(43) 公表日	平成21年12月10日(2009.12.10)	(74) 代理人	100082005
(86) 国際出願番号	PCT/EP2007/005943		弁理士 熊倉 禎男
(87) 国際公開番号	W02008/009353	(74) 代理人	100067013
(87) 国際公開日	平成20年1月24日(2008.1.24)		弁理士 大塚 文昭
審査請求日	平成22年6月24日(2010.6.24)	(74) 代理人	100086771
(31) 優先権主張番号	102006032878.7		弁理士 西島 孝喜
(32) 優先日	平成18年7月15日(2006.7.15)	(74) 代理人	100109070
(33) 優先権主張国	ドイツ(DE)		弁理士 須田 洋之

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(10)の照明システム(12)であって、

a) 光ビームの断面の少なくとも一部にわたって、光が、

- 異なる偏光状態を有し、かつ
- 少なくとも部分的に空間コヒーレントである、

光ビームを発生させるための第1の光学的素子(26、32; 132)と、

b) 瞳平面(42)と、

を有し、かつ

c) - 前記第1の光学的素子(26、32; 132)と前記瞳平面(42)の間に配置
され、かつ

- 前記瞳平面(42)内の少なくとも2つの異なる位置(P_X、P_{-X}、P_Y、P_{-Y})上に
前記光ビームを分割し、一方、前記第1の光学的素子によって発生された前記異なる偏光
状態を重ね合わせて、該少なくとも2つの位置(P_X、P_{-X}、P_Y、P_{-Y})で異なっている
瞳偏光状態を形成する、

第2の光学的素子(36、38)、

を有し、

前記第1の光学的素子(26、32; 132)によって発生された前記光ビームの前記
偏光状態は、該光ビームの前記断面の少なくとも前記一部にわたって少なくとも1つの方
向(X)に沿って連続的及び周期的に変化し、

10

20

前記第 1 の素子は、

a) 直線偏光されて少なくとも部分的に空間コヒーレントである投影光を発生させるための光源 (2 6)、及び

b) 通過する光ビームの前記偏光状態を 1 つの方向 (X) に沿って周期的に修正する複屈折プリズム (3 2 ; 1 3 2)、

を含み、

前記プリズム (3 2) は、楔形であり、通過する光ビームの前記偏光状態は、前記方向 (X) に沿って連続的に変化する、

ことを特徴とする照明システム。

【請求項 2】

前記プリズム (1 3 2) は、段付きの厚みプロフィールを有し、通過する光ビームの前記偏光状態は、前記方向 (X) に沿って非連続的に変化することを特徴とする請求項 1 に記載の照明システム。

【請求項 3】

前記プリズム (3 2 ; 1 3 2) は、前記直線偏光投影光の偏光方向と 45° の角度を成す光学複屈折軸を有することを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の照明システム。

【請求項 4】

前記第 2 の素子 (3 8) は、局所的に変化する回折特性を有する回折光学要素 (3 6) を含むことを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の照明システム。

【請求項 5】

前記回折光学要素 (3 6) は、互いに平行に配置されて異なる回折特性を有する少なくとも 2 つのストリップ (6 2 X、6 2 Y) を含むことを特徴とする請求項 4 に記載の照明システム。

【請求項 6】

前記ストリップ (6 2 X、6 2 Y) の前記回折特性は、周期的に変化することを特徴とする請求項 5 に記載の照明システム。

【請求項 7】

前記ストリップ (6 2 X、6 2 Y) は、照明システム (1 2) の光軸 (O A) に対して直角に延び、かつ前記プリズム (3 2 ; 1 3 2) の前記厚みが変化する方向に対して直角に延びる方向 (Y) に対して平行に配置されることを特徴とする請求項 1 及び請求項 5 並びに請求項 6 のいずれか 1 項に記載の照明システム。

【請求項 8】

第 1 のストリップ (6 2 X) が、前記光を X - Z 平面の複数の方向に回折させ、第 2 のストリップ (6 2 Y) が、該光を Y - Z 平面の複数の方向に回折させることを特徴とする請求項 5 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の照明システム。

【請求項 9】

前記第 1 のストリップ (6 2 X) は、遠視野で前記 X 方向に双極分布を発生させ、前記第 2 のストリップ (6 2 Y) は、該遠視野で前記 Y 方向に双極分布を発生させることを特徴とする請求項 8 に記載の照明システム。

【請求項 10】

前記ストリップ (6 2 X、6 2 Y) の幅は、個々のストリップ (6 2 X、6 2 Y) を通過する前記光が、前記少なくとも 2 つの位置 (P_X 、 P_{-X} 、 P_Y 、 P_{-Y}) のうちの 1 つに重ね合わせられた時に優先偏光方向を有するように選択されることを特徴とする請求項 5 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載の照明システム。

【請求項 11】

前記ストリップ (6 2 X、6 2 Y) の前記幅 (w) は、通過する前記光ビームの前記偏光状態が周期的に変化する周期の半分に等しいことを特徴とする請求項 10 に記載の照明システム。

【請求項 12】

前記ストリップ (6 2 X、6 2 Y) の前記幅 (w) は、個々のストリップ (6 2 X、6

10

20

30

40

50

2 Y) を通過する前記光が、前記少なくとも2つの位置 (P_X 、 P_{-X} 、 P_Y 、 P_{-Y}) のうちの1つに重ね合わせられた時に少なくとも本質的に直線偏光されるように選択されることを特徴とする請求項5から請求項11のいずれか1項に記載の照明システム。

【請求項13】

前記ストリップ (62 X、62 Y) は、ストリップ (62 X、62 Y) を通過する前記光が空間コヒーレントであるほど小さい幅 (w) を有することを特徴とする請求項5から請求項12のいずれか1項に記載の照明システム。

【請求項14】

前記光源 (26) としてエキシマレーザを有することを特徴とする請求項1から請求項13のいずれか1項に記載の照明システム。

10

【請求項15】

前記ストリップ (62 X、62 Y) は、0.5 mm よりも狭い幅 (w) を有することを特徴とする請求項13及び請求項14のいずれか1項に記載の照明システム。

【請求項16】

前記ストリップ (62 X、62 Y) は、0.25 mm よりも狭い幅 (w) を有することを特徴とする請求項15に記載の照明システム。

【請求項17】

微細構造構成要素を生産する方法であって、

a) 請求項1から請求項16のいずれか1項に記載の照明システム (12) を有するマイクロリソグラフィ投影露光装置 (10) を準備する段階と、

20

b) 前記照明システム (12) でマスク (14) を照明する段階と、

c) 前記照明されたマスク (14) を感光層 (22) 上に投影する段階と、

を有す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、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する。本発明は、特にシステムを用いてマスク上に入射する投影光の照明角度依存偏光状態を設定することができる照明システムに関する。

【背景技術】

30

【0002】

集積電気回路及び他の微細構造構成要素は、従来、複数の構造化された層を例えばシリコンウェーハとすることができる適切な基板上に付加することによって生成される。層を構造化するために、まずこれらの層は、特定の波長範囲の光、例えば深紫外 (DUV) スペクトル範囲の光に感受性を有するフォトレジストによって覆われる。この方法で被覆したウェーハは、その後、投影露光装置において露光される。マスク上に配置された回折構造パターンは、それによって投影対物器械の助けを得てフォトレジスト上に結像される。結像縮尺は、一般的に1よりも小さいので、そのような投影対物器械は、多くの場合に縮小対物器械とも呼ばれる。

フォトレジストが現像された後に、ウェーハは、マスク上のパターンに従って層が構造化されるようにエッチング処理を受ける。次に、尚も残留するフォトレジストは、層の他の部分から除去される。この処理は、全ての層がウェーハ上に付加され終わるまで繰り返される。

40

【0003】

露光に用いられる投影露光装置は、投影光ビームによってマスク上に投影される構造体を照明する照明システムを含む。その光源として、一般的に照明システムは、直線偏光光を発生させるレーザを含む。しかし、非常に短い波の投影光 (例えば、 $\lambda = 157 \text{ nm}$) を用いる場合には、投影対物器械の結像特性を損動させる望ましくない偏光依存効果が、ある一定の光学要素において発生する可能性がある。この例は、これらの短波長において石英ガラスのような従来のレンズ材料よりも非常に高い透明性を有し、従って、これらの

50

材料に部分的に置き換わるか又は更には完全に置き換わるフッ化カルシウム (CaF₂) の固有の複屈折である。

【0004】

そのような偏光依存性を低減するために、例えば、US 6 5 3 5 2 7 3 に説明されているように、一部のそのような投影露光装置には、レーザによって発生する直線偏光投影光を円偏光光へと変換するか又は更には非偏光光へと変換するための付加的な手段が設けられる。

一方、マスク上に入射する投影光の少なくとも一部が優先的な偏光方向を有し、すなわち、直線偏光又は楕円偏光されるある一定の場合には、結像のコントラストを高めることができることが既知である。偏光状態が、投影光がマスク上に達するところでの照明角度に依存する場合には、多くの場合にコントラストの更に別の改善を達成することができる。

10

【0005】

この関連において、US 2 0 0 4 / 0 0 5 7 0 3 6 A 1 は、s 偏光光だけに大きな入射角でマスクに当たることを許すべきであると提案しており、これは、s 偏光光が、投影対物器械の像平面内でコントラスト損失なしに干渉することができることによる。一方、小さい入射角でマスク上に入射する光は、非偏光のままに留まることができる。

国際特許出願 WO 2 0 0 5 / 0 1 7 6 2 0 は、好ましくは、マスク処理対物器械の瞳平面内に配置された照明システムのための偏光器を開示している。マスク処理対物器械は、視野開口をマスク上に結像し、それによって照明を受ける光視野の幾何学形状を確立する。マスク処理対物器械内に配置された偏光器は、光軸に対して傾斜して配置され、プリズム支持要素の間に付加することができ、又は肉薄の支持プレート上に付加することができる偏光選択性ビームスプリッタ層を含む。上記国際特許出願に説明されている例示的な実施形態では、偏光器は、瞳平面の異なる領域において異なる(直線)偏光状態が発生するように構成される。このようにして、例えば、本質的に極から接線方向に偏光された光が出射する四重極照明を構成することができる。従って、この公知の照明システムは、マスク上に入射する投影光の照明角度依存偏光状態を設定することを可能にする。しかし、この公知の偏光器に伴う欠点は、偏光器が、比較的高い光損失を引き起こすことである。

20

【0006】

EP 1 3 6 7 4 4 6 A 1 は、回折光学要素を収容する投影露光装置のための照明システムを開示している。回折光学要素は、それぞれ異なる回折特性を有することができる複数の個別の要素から成る。それにより、組み立てられた個々の要素の選択に依存して、この目的のためにレンズ又は a x i c o n 要素を光軸に沿って変位させる必要なしに、その後の瞳平面内の照明を制御することができる。更に、回折光学要素のモジュール式キット型構造も、瞳平面でマスク内の特定の構造を結像するのに有用とすることができるもののような比較的複雑な強度分布を発生させることを可能にする。偏光制御構成要素、例えば、偏光器又は遅延板は、回折光学要素を構築する個々の要素に割り当てることができる。それにより、異なる偏光状態を瞳平面内の異なる位置において得ることができる。従って、この公知の照明システムは、マスク上に入射する投影光の照明角度依存偏光状態を設定するのに原理的には同様に適切である。

30

回折光学要素は、多数の個々の要素から成るので、望ましくない散乱光の生成を引き起こす比較的多くの縁部領域が形成される。更に、偏光制御構成要素は、比較的厳密な厚み公差に準拠すべきであり、これは、技術的に困難であり、従って、回折光学要素に対して高いコストをもたらす。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】US 6 5 3 5 2 7 3

【特許文献2】US 2 0 0 4 / 0 0 5 7 0 3 6 A 1

【特許文献3】WO 2 0 0 5 / 0 1 7 6 2 0

50

【特許文献4】EP1367446A1

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

上述の背景に対して、本発明の目的は、マイクロリソグラフィ投影露光装置の照明システムを提供することであり、これを用いて、投影光の偏光状態は、光線がマスク上に達するところでの照明角度の関数として制御された方法で設定することができる。

【課題を解決するための手段】

【0009】

この目的は、少なくとも部分的に空間コヒーレントである光が、少なくとも一部にわたって異なる偏光状態を有する断面を有する光ビームを発生させるための第1の光学的配置を有する照明システムによって達成される。第2の光学的配置が更に設けられ、第1の光学的配置と瞳平面の間に配置される。第2の光学的配置は、光ビームを瞳平面内で少なくとも2つの異なる位置上に分割し、第1の光学的配置によって発生する偏光状態を重ね合わせて、少なくとも2つの位置において異なる瞳偏光状態を形成する。

【0010】

本発明は、異なる偏光状態を有するコヒーレント光成分の瞳平面内での制御された重ね合わせにより、光の偏光状態が望ましい種類で位置に依存する強度分布を得ることができ、それによってマスク平面に関して偏光状態の照明角度への望ましい依存性が構成されるという発見に基づいている。

第1の光学的配置は、例えば、熱光源を含むことができ、開口プレートの助けを得て、この光源の光からコヒーレントであるが非偏光の光が発生する。偏光フィルタ及び任意的に付加的な遅延板の助けを得て、この光から、例えば、異なる直線、円、又は楕円偏光状態を発生させることができ、更に、回折又は屈折光学要素の助けを得て、これらの偏光状態は瞳平面内で重ね合わせられ、望ましい偏光状態が形成される。

【0011】

有利な例示的な実施形態では、第1の配置によって発生する光ビームの偏光状態は、少なくとも1つの方向に沿って、光ビームの断面の少なくとも一部にわたって連続的かつ周期的に変化する。それにより、適切な重ね合わせを用いて幅広い制限範囲内で瞳平面内にあらゆる望ましい偏光状態を設定することが可能になる。

光源が、例えばレーザの場合がそうであるように、直線偏光された少なくとも部分的に空間コヒーレントな投影光を発生させる場合には、第1の光学的配置は、特に簡単に生成することができる。通過する光ビームの偏光状態は、複屈折プリズムの助けを得て、ここで1つの方向に沿って周期的に修正することができる。このプリズムは、その厚みが1つの方向だけに沿って変化するという特性のみを有するべきである。この条件は、例えば楔形プリズムによって満たされる。この場合は、厚みが連続的に変化するので、通過する光ビームの偏光状態も同じくこの方向に沿って連続的に変化する。内側で厚みが連続的に変化する複数の断面が互いに非連続的に隣接する場合にも、同様の効果が得られる。この例は、例えば、のこぎり歯状のプロフィールを有するプリズムである。

【0012】

別の例示的な実施形態では、プリズムは、連続厚みプロフィールの代わりに段付き厚み断面形状を有する。段が1つの方向に上がる場合には、階段部の形状が、プリズム全体に与えられる。段付き厚みプロフィールを有するプリズムは、通過する光ビームの偏光状態をプリズムの厚みが変化する方向に沿って連続的ではなく、非連続的に修正する。単位長さ当たりにより多くの段が設けられる程、重ね合わせによって得られる偏光状態は、厚み公差により依存しなくなる。

プリズムが、直線偏光投影光の偏光方向と45°の角度を成す光学複屈折軸を有する場合には、全ての想定可能な偏光状態を発生させることができる。更に、これは、コヒーレントで異なって偏光された光成分の適切な重ね合わせにより、瞳平面内で同様に全ての想定可能な偏光状態を得ることができるということに対する前提条件である。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 3 】

有利な構成では、第 2 の配置は、局所的に変化する回折特性を有する回折光学要素を含む。回折光学要素の使用は、それによって事実上あらゆる望ましい角度分布を発生させることができるということに関しては好ましい。瞳平面内の強度分布は、遠視野内の回折光学要素によって発生する角度分布に対応する。

回折光学要素が、互いに平行に配置された異なる回折特性を有する少なくとも 2 つのストリップを含む場合には、特に複屈折プリズムとの併用において、異なる偏光状態を有する 2 つの位置又は領域は、瞳平面内で照明することができる。

本発明の他の特徴及び利点は、図面の助けを得て以下の例示的な実施形態の説明において見出すことができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 4 】

【 図 1 】 投影露光装置の非常に概略化した斜視図である。

【 図 2 】 本発明による照明システムの略子午断面図である。

【 図 3 】 ストリップ形の回折領域を有する回折光学要素の斜視図である。

【 図 4 】 X - Z 断面における図 2 の拡大詳細図である。

【 図 5 】 Y - Z 断面における図 2 の拡大詳細図である。

【 図 6 】 図 2 に示す照明システムの瞳平面内に構成された強度及び偏光分布を示す図である。

【 図 7 】 図 3 に示す複屈折楔及び回折光学要素の配置を X - Z 断面に示す図である。

【 図 8 】 別の例示的な実施形態による照明システムの瞳平面内に構成された強度及び偏光分布を示す図である。

【 図 9 】 別の例示的な実施形態による回折光学要素の図 3 を基にした図である。

【 図 1 0 】 図 9 に示す回折光学要素を用いて瞳平面内で得られた強度及び偏光分布の図 6 及び 8 を基にした図である。

【 図 1 1 】 段付きプリズム及び図 3 に示す回折光学要素の配置の図 7 を基にした X - Z 断面図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 5 】

図 1 は、微細構造構成要素のリソグラフィ生産に適する投影露光装置 1 0 の非常に概略化した斜視図を示している。投影露光装置 1 0 は、図示の例示的な実施形態ではマスク 1 4 上に円環切片の形状を有する幅狭な光視野 1 6 を照明する投影光ビームを発生させるための照明システム 1 2 を含む。マスク 1 4 上の光視野 1 6 の内側に横たわる構造 1 8 は、投影対物器械 2 0 の助けを得て感光層 2 2 上に結像される。例えば、フォトレジストとすることができる感光層 2 2 は、ウェーハ 2 4 又は別の適切な基板上に付加され、投影対物器械 2 0 の像平面内に横たわる。一般的に、投影対物器械 2 0 は、結像縮尺 < 1 を有するので、光視野 1 6 内に横たわる構造 1 8 は、縮小方式で領域 1 6 ' として結像される。

【 0 0 1 6 】

図示の投影露光装置 1 0 では、マスク 1 4 とウェーハ 2 4 は、投影中に Y で表す方向に変位される。変位速度比は、投影対物器械 2 0 の結像縮尺 に等しい。投影対物器械 2 0 が反転像を発生させる場合には、これに関して、マスク 1 4 とウェーハ 2 2 の変位移動は、図 1 の矢印 A 1 と A 2 によって示すように反対方向になる。このようにして、光視野 1 6 は、相当範囲の構造領域でさえも感光層 2 2 上にコヒーレントに投影することができるように、マスク 1 4 の上の走査移動で導かれる。従って、Y 方向を走査方向とも呼ぶことにする。しかし、本発明は、投影中に変位移動が起こらないウェーハステッパと呼ばれる投影露光装置において用いることもできる。

【 0 0 1 7 】

図 2 は、正しい縮尺ではない略子午断面で照明システム 1 2 を詳描している。照明システム 1 2 は、少なくとも部分的に空間的にコヒーレントな投影光を発生させる光源 2 6 を含む。レーザーによって放出される光は、空間的かつ時間的に高度にコヒーレントであるか

10

20

30

40

50

ら、レーザは、光源 26 として特に適切である。本明細書で説明する例示的な実施形態では、光源 26 は、(深)紫外スペクトル範囲の光を発生させることができるエキシマレーザである。短波投影光の使用は、それによって光学結像において高分解能を得ることができるので有利である。それぞれ波長 248 nm、193 nm、及び 157 nm を有する光を発生させることができる KrF、ArF、又は F₂ によるレーザ媒体エキシマレーザは、従来のものである。

【0018】

しかし、少なくとも原理的には、熱光源により、例えば小さい口径の開口部を用いて(部分的に)コヒーレントな光ビームを発生させることができる場合には、熱光源も同様に適切である。

10

光源 26 として用いられるエキシマレーザによって発生する光は、高度に平行化され、僅かしか発散しない。従って、この光は、最初にビーム拡大器 28 内で拡大される。ビーム拡大器 28 は、例えば、ほぼ矩形の光ビーム断面の寸法を拡大する可調節ミラー配置とすることができる。

【0019】

拡大された光ビームは、この後、以下に簡潔に楔 32 と呼ぶことにする光学複屈折楔形プリズム、補償器要素 34、及び回折光学要素 36 を通過する。図 3 から 9 を参照して以下に詳細に説明するこれらの光学要素の助けを得ることにより、偏光状態が照明角度に依存する照明角度分布を構成することができる。

回折光学要素 36 の後には、内部に回折光学要素 36 が配置された視野平面 36 と瞳平面 42 との間のフリーエ関係を確立するズーム - axicon モジュール 38 が続く。従って、視野平面 40 から同じ角度で出射する全ての光線は、瞳平面 42 内の同じ点に達し、これに対して視野平面 40 内の特定の点から出射する全ての光線は、同じ角度で瞳平面 42 を通過する。

20

【0020】

ズーム - axicon モジュール 38 は、44 によって表しているズーム対物器械、及び円錐形の相互補完面を有する 2 つの axicon 要素を含む axicon 群 46 を含む。axicon 群 46 の助けを得て、放射状光分布は、瞳平面 42 の円環形照明を得るように修正することができる。ズーム対物器械 44 を調節することにより、瞳平面 42 内で照明される領域の直径を修正することができる。

30

【0021】

例えば、マイクロレンズアレイの配置とすることができる光学積分器は、瞳平面 42 内又はその直近に配置される。各マイクロレンズは、マイクロレンズの幾何学形状に依存する角度スペクトルを有する発散光を発生させる 2 次光源を形成する。2 次光源によって発生する光ビームは、集光装置 50 により、中間視野平面 52 内で中間視野平面 52 が非常に均質な照明を受けるように重ね合わせられる。

図示の例示的な実施形態では、例えば、光路内に個々に挿入することができる複数の可調節ブレード及び/又は多くの幅狭な指状開口要素を含むことができる視野開口 54 が中間視野平面 52 内に配置される。中間視野平面 52 は、視野開口対物器械 56 の助けを得て、内部にマスク 14 が配置された投影対物器械 20 の対物面 58 上に結像される。

40

【0022】

図 3 は、回折光学要素 36 を斜視図で示している。回折光学要素 36 の下には、回折光学要素 36 と楔 32 との間の相対的な配置を示すために、楔 32 を破線で示している。この例示的な実施形態においてこれらの間に配置される補償器要素 34 は、明瞭化のために示していない。

回折光学要素 36 は、少なくとも片側、ここでは楔 32 から遠い方に面する側に異なる構造領域を有する基板 60 を含む。図示の例示的な実施形態では、これらの領域は、全てが同じ幅 w を有するストリップ 62 X、62 Y の周期的な配置である。ストリップ 62 X の各々は、図 3 で 64 X によって表している 2 つの回折次数において示すように、X 方向に光を回折する回折構造体を含む。Z - X 平における面回折角度は、Z - Y 平面に関して

50

対称であることを意図している。

ストリップ 6 2 Y では、同様の考えが Y 方向に対して当て嵌まる、すなわち、ストリップ 6 2 Y は、光を Y - Z 平面内だけに回折し、これを図 3 に 2 つの回折次数 6 4 Y によって示している。

【 0 0 2 3 】

図 4 は、楔 3 2、補償器要素 3 4、及び回折光学要素 3 6 を X - Z 平面に対して平行な断面に示している。ここでは視野平面 4 0 と瞳平面 4 2 の間のフーリエ関係を確立するズーム - a x i c o n モジュールをレンズ 3 8 ' によってのみ示している。このフーリエ関係により、回折光学要素 3 6 から同じ角度で出射する全ての平行光線は、同じ点に到達する。ストリップ 6 2 X が、図 4 にそれぞれ実線及び破線で示すように、通過する平行化された光を X - Z 平面内にのみ角度 $+ \alpha_x$ 及び $- \alpha_x$ だけ回折する場合には、 $+ \alpha_x$ だけ回折された光線は、全て瞳平面 4 2 内の点 P_x に到達し、 $- \alpha_x$ だけ回折された光線は、全て点 P_{-x} に到達する。このようにして、照明システム 1 0 の光軸 O A から等しく離れており、かつ直径方向に互いに面して存在する 2 つの点は、瞳平面 4 2 内で照明される。

10

【 0 0 2 4 】

同様の考えは、光を Y - Z 平面内だけに回折するストリップ 6 2 Y に対しても当て嵌まる。これは、楔 3 2、補償器要素 3 4、及び回折光学要素 3 6 を Y - Z 平面に対する断面に示す図 5 に示している。ここでは、前と同様に角度 α_y 及び $-\alpha_y$ で出射する光線は、瞳平面 4 2 内の 2 つの点 P_y 及び P_{-y} にそれぞれ到達する。

回折光学要素 3 6 によって瞳平面 4 2 内に発生する光分布を図 6 に示している。ここでは、ストリップ 6 2 X、6 2 Y による回折は、点ではなく P_x 、 P_{-x} 、 P_y 、及び P_{-y} によって表している拡張された極が形成されるように決められると仮定している。回折構造は非常に小さいので、ストリップ 6 2 X、6 2 Y では、楔 3 2 の厚み変化を無視することができる程小さい範囲にわたる各領域は、遠視野、すなわち、瞳平面 4 2 内にそれぞれ P_x 、 P_{-x} 、 P_y 、及び P_{-y} を引き起こす角度スペクトルを発生させる。

20

【 0 0 2 5 】

図 7 は、楔 3 2、補償器要素 3 4、及び回折光学要素 3 6 を X - Z 平面に対して平行な断面内に拡大縮尺で示している。既に説明したように、実質的に平行化され、直線偏光された高度に空間コヒーレントなレーザ光が楔 3 2 に当たる。図 7 では、楔 3 2 上に入射する光ビームのうちの 2 つの光線を 7 0、7 2 によって表している。X - Y 平面内のレーザ光の直線偏光方向を双方向矢印 7 4 によって示しており、従って、双方向矢印 7 4 は、90° だけ「折り畳まれて」表されている。

30

【 0 0 2 6 】

楔 3 2 は、複屈折材料、例えばフッ化マグネシウムから成る。楔 3 2 は、楔角度 θ 、及び入射投影光の偏光方向 7 4 と 45° の角度を成す光学複屈折軸を有する。楔角度 θ だけ傾斜して配置された上側楔表面 7 6 により、光線 7 0、7 2 は、楔 3 2 から出射する時に屈折され、それによってこれらの光線の方角において偏位する。補償器要素 3 4 は、この偏位を相殺することを可能にする役割を有する。従って、補償器要素 3 4 も同様に楔形であるが、楔角度は、補償器要素 3 4 の屈折率に依存して楔 3 4 の楔角度 θ' とは異なる可能性がある。

40

【 0 0 2 7 】

光が複屈折楔 3 2 を通過した後の X - Y 平面における偏光状態を補償器要素 3 4 と回折光学要素 3 6 の間に示している。この表現も、同様に 90° だけ「折り畳まれて」いる (双方向矢印 7 4 と同様に)。楔 3 2 を通過した後の光線の偏光状態は、それぞれの横断面において楔 3 2 がどれ程肉厚であるかということに依存する。楔 3 2 の厚みは、X 方向に連続的に変化するので、偏光状態も、同様にこの方向に沿って連続的に変化する。従って、X 方向にわたって眺めると、全ての偏光状態は、図 7 で回折光学要素 3 6 の下に表しているように発生する。この図から、偏光状態の変動は、周期 p を伴って周期的であることも分る。ストリップ 6 2 X、6 2 Y の幅 w は、 $p = 2w$ になるように選択される。

【 0 0 2 8 】

50

以下では、投影光は、ストリップ幅 w 内で空間的かつ時間的に完全にコヒーレントであると仮定することにする。一般的なエキシマレーザーでは、ビーム拡大器 28 内でのビーム拡大の後に、空間コヒーレンスは、一般的に約 1 から 2 mm 程度である。従って、完全コヒーレンスという仮定は、0.5 mm よりも幅狭な、更に良好には、0.25 mm よりも幅狭なストリップ幅 w においてほぼ満たされる。

【0029】

以下では、更に、2つの空間的かつ時間的にコヒーレントな光子 a 及び b が、ストリップ 62X のうちの 1つを通過すると仮定することにする。2つの光子 a 、 b が、楔 32 を通過した後に符号が反対の位相と等しい強度とを有する場合には、光子 a 、 b は、瞳平面 42 内で重ね合わせられて直線偏光光を形成することになる。これは、図 4 及び 5 を参照して上述したように、同じ角度で回折した光線の重ね合わせが、ズーム - a x i c o n モジュール 38 によって 1つの点において発生するという事実を利用する。光強度は、連続して成形されたレーザービーム強度分布内の非常に近い隣接位置では事実上一定であるから、等しい光強度という仮定は正当化される。

10

【0030】

直線偏光光を形成するここで考えている 2つの光子 a 、 b の重ね合わせは、数学的に式 (1) によって説明することができる。

【0031】

【数 1】

$$E_{1a} + E_{1b} = \begin{pmatrix} E_{p1a} e^{i\mu} \\ E_{s1a} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} E_{p1b} e^{-i\mu} \\ E_{s1b} \end{pmatrix} = 2 \cdot \begin{pmatrix} \cos(\mu) \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{式 (1)}$$

20

【0032】

ここで、 E_{1a} 及び E_{1b} は、2つの光子 a 及び b の電界ベクトルであり、 μ は、位相、従って、電界ベクトルの偏光状態を説明するものである。ここでは 1 に等しいと設定する量 E_{p1a} 、 E_{s1a} 、 E_{p1b} 、及び E_{s1b} は、楔 32 の光学複屈折軸に対してそれぞれ平行及び直角な電界ベクトル E_{1a} 及び E_{1b} の実数成分を表している。

【0033】

従って、瞳平面 42 内での 2つの光子 a 及び b の加算は、式 (2) に従って直線偏光されるが偏光方向が初期状態に対して式 (2) の角度だけ回転した光を生成する。

30

【0034】

【数 2】

$$\arctan(1/\cos(\mu)) \quad \text{式 (2)}$$

【0035】

更に、同じ角度で回折した全ての光子は瞳平面内の 1つの点に到達するので、幅 w を有するストリップ 62X を通過する全ての光子の重ね合わせが発生する。関係 $p = 2w$ により、光子の位相 μ は、 $-\pi/2$ と $+\pi/2$ の間の範囲に収まる。数学的には、重ね合わせは、次式で説明することができる。

【0036】

40

【数 3】

$$E_p = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} e^{i\mu/2} d\mu = 2 \cdot \sqrt{2} \quad \text{及び}$$

$$E_s = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} e^{-i\mu/2} d\mu = 2 \cdot \sqrt{2} \quad \text{式 (3)}$$

【0037】

従って、ストリップ 62X を通過する左円偏光と右円偏光の間の偏光状態を有する全ての光子重ね合わせは、直線偏光光を生じ、ここでの光の偏光方向は、楔 32 を通過する前

50

に光が有した偏光方向 7 4 に対して平行である。

【 0 0 3 8 】

ストリップ 6 2 Y の場合には、重ね合わせが元の偏光方向 7 4 に対して 9 0 ° だけ回転した偏光方向を有する直線偏光光を引き起こすことを除き、上記に対応する考えがストリップ 6 2 Y にも同様に当て嵌まる。重ね合わせがもたらす直線偏光方向を図 3 に回折次数 6 4 X、6 4 Y おける双方向矢印によって示している。

上述の重ね合わせにより、互いに 9 0 ° だけ回転した 2 つの極対、すなわち、一方の P_x、P_{-x} と他方の P_y、P_{-y} とは、図 6 で双方向矢印によって示すように、互いに対して 9 0 ° だけ回転した偏光状態を有する。全体として、それによってある一定のマスク 1 4 を結像するのに特に好ましい接線偏光が引き起こされる。

10

【 0 0 3 9 】

上述の例示的な実施形態では、楔 3 2 が望ましい偏光状態を生成するように、周期 p = 2 w と楔角度 の間には次式の関係がなければならない。

【 0 0 4 0 】

【 数 4 】

$$\gamma = \arctan\left(\frac{\lambda}{p \cdot \Delta n}\right) \quad \text{式 (4)}$$

【 0 0 4 1 】

ここで、 λ は光の波長であり、 n は、波長 λ における複屈折楔 3 2 内の通常光線の屈折率 n_o と異常光線の屈折率 n_e の間の差のマグニチュードである。更に、ここでは、ストリップ 6 2 X、6 2 Y の配置は、1 つのストリップ 6 2 X と 1 つのストリップ 6 2 Y とが幅 p の 1 つの周期内に完全に収まるように選択される。

20

当然ながら、補償器要素 3 4 の代わりに、更に別の複屈折楔を用いることができる。図 7 に示す例示的な実施形態と比較すると、この場合には、2 つの楔は、同じ楔角度 γ / 2 を有するべきである。これに対する代替案として、両方の複屈折楔が楔角度 γ を有する場合には、ストリップ 6 2 X、6 2 Y の幅 w を半分にすることができる。

【 0 0 4 2 】

他の偏光状態、例えば、楕円偏光状態を極 P_x、P_{-x}、P_y、及び P_{-y} に構成することが望ましい場合には、回折光学要素 3 6 を楔 3 2 に対して X 方向に沿って変位させることで十分である。従って、図 2 に 8 0 によって表した適切な変位デバイスと共に、回折光学要素は、瞳平面 4 2 内に異なる偏光状態を設定するための簡単に構成された偏光マニピュレータを形成する。この場合、回折要素 3 6 が X 方向に沿って半周期 p / 2 だけ変位されると、図 8 に示すように、瞳平面 4 2 内で半径方向に直線偏光された光を有する極 P_x、P_{-x}、P_y、及び P_{-y} が得られることになる。

30

原理的には、2 つよりも多くの異なる種類の回折が異なるストリップを設けることも可能であり、この場合には、これらのストリップの配置も、同様に必ずしも等距離である必要はない。それにより、瞳平面 4 2 内に部分的に偏光された極を構成することが可能になる。

【 0 0 4 3 】

40

図 9 は、ここでは 3 6 ' によって表している別の回折光学要素の例示的な実施形態の図 3 を基にした斜視図を示している。図 3 に示す例示的な実施形態とは対照的に、回折光学要素 3 2 は、回折構造を含まないストリップ 6 2 を含む。従って、ストリップ 6 2 を通過する光は、光軸に対して平行に平行化されたままに留まる。

この例示的な実施形態においても、同様に全てのストリップ 6 2、6 2 X、及び 6 2 Y は、同じストリップ幅 w = p / 2 を有する。しかし、図示の例示的な実施形態では、回折構造が設けられていないストリップ 6 2 は、2 周期半 (一般的に 2 m + 1 / 2) だけ互いからオフセット配置されているので、隣接する非構造ストリップ 6 2 から出射する光は、互いに直角に偏光される。非構造領域 6 2 の間の距離が更に十分に大きく、それによって隣接するストリップから出射する光子間にいかなる著しいコヒーレンス関係ももはや存在

50

しない場合には、瞳平面 4 2 内には、非偏光光を引き起こす直交偏光状態の非コヒーレントな重ね合わせが発生する。

ストリップ 6 2 では回折が発生しないので、光軸に対して平行にストリップ 6 2 から出射する光は、ズーム - a x i c o n モジュール 3 8 により、瞳平面 4 2 内の光軸上に位置する点に合焦されることになる。

【 0 0 4 4 】

非偏光光により、瞳平面 4 2 内で中央の拡張された極を照明することが望ましい場合には、比較的小さい角度だけしか光を偏位させない微弱回折構造を領域 6 2 内に設けることができる。従って、図 1 0 は、得られた瞳平面 4 2 を図 6 及び 8 を基にした図で示している。瞳平面 4 2 の中央には、 P_0 で表した非偏光光が通過する付加的な極が存在する。

10

非偏光極を発生させるための代替オプションは、レーザ光の空間コヒーレンスセルよりも非常に幅の広いストリップを回折光学要素 3 6 上に設けることから成る。導入部で既に言及した U S 6 5 3 5 2 7 3 に同様の説明を見出すこともできるように、ストリップ幅がこうして正確に周期 p の倍数である場合に、非偏光が得られる。

【 0 0 4 5 】

図 1 1 は、別の例示的な実施形態に向けて異なる偏光状態を発生させることができる更に別の可能な方法を図 7 を基にした図で示している。図 1 1 に示す代替的な配置は、複屈折段付きプリズム 1 3 2、補償器要素 1 3 4、及び図 3 からの回折光学要素 3 6 を含む。

複屈折プリズム 1 3 2 は、実質的に図 7 に示す例示的な実施形態における楔 3 2 と同じ方法で構成される。特に、ここでは前と同様に光学複屈折軸は、入射する投影光の偏光方向 7 4 と 45° の角度を成す。しかし、図 7 に示している例示的な実施形態では連続した厚み変化を引き起こす傾斜楔表面 7 4 は、複屈折プリズム 1 3 2 では、X 方向に沿って段が上がる段付き表面 1 7 6 によって置換される。従って、階段部の形状は、複屈折プリズム 1 3 2 全体に与えられる。

20

【 0 0 4 6 】

補償器要素 1 3 4 は、段付きプリズムと同様に設計されるが、複屈折性のものではない。補償器要素 1 3 4 は、軸平行な光線 7 0、7 2 のみならず、光軸に対して(若干)傾斜した光線までもが下から複屈折プリズム 1 3 2 に当たる場合にのみ必要とされる。ここでは、補償器要素 1 3 4 は、プリズム 1 3 2 及び補償器要素 1 3 4 を通過する光線の方向分布が変化しないままに留まることを保証する。この点では、補償器要素 1 3 4 の効果は、原理的には、図 7 に示す配置の補償器要素 3 4 の効果に対応する。屈折率がずれる場合には、補償器要素 1 3 4 は、傾斜方式で配置された屈折表面を含むことができる。高度に軸平行である光では、補償器要素 1 3 4 は完全に省略することができる。

30

【 0 0 4 7 】

段付き表面 1 7 6、及び従って X 方向に沿った複屈折プリズム 1 3 2 の厚み (Z 方向に沿った寸法) 分布は、Y 方向に直線偏光された(「折り畳まれた」双方向矢印 7 4 を参照されたい)実質的に平行化された入射光、かつ高度に空間コヒーレントな光が、その偏光状態において変化しないか、又は偏光方向が 90° だけ回転されるか、又はこの光が右円又は左円偏光光に変換されるかのいずれかになるように設定される。

【 0 0 4 8 】

図示の例示的な実施形態では、ストリップ 6 2 X、6 2 Y が、それぞれ、X 方向に円偏光から直線偏光に、更に逆方向の円偏光に変化する偏光状態を有する光を受信するように、厚み分布が更に設定される。ここでも偏光状態のこのシーケンスは、同様に $p = 2w$ である周期 p を伴って周期的である。

40

図 1 1 の助けを得ると容易に理解することができるが、ストリップ 6 2 X、6 2 Y の一方を通過する光の重ね合わせの間に、円偏光状態における X 成分又は Y 成分は、各場合に Y 成分又は X 成分のみが残るようにそれぞれ互いに相殺する。従って、瞳平面 4 2 内の重ね合わせ点では、この例示的な実施形態においても同様に、光は、Y 方向又は X 方向のいずれかに沿って直線偏光される。

【 0 0 4 9 】

50

当然ながら、段付き表面 176 を異なるように構成することができる。例えば、2つ又は3つよりも多くの異なる厚みを各ストリップ 62 X、62 Y に割り当てることができる。例えば、直線偏光光を相対する方向の楕円偏光光へと変換する2つの厚みを設けることは実施可能である。しかし、重ね合わせ点で得られる偏光状態が複屈折プリズム 132 の厚み公差にできる限り依存しないように、一般的に、各帯域 62 X、62 Y に少数の異なる厚みよりも多数の異なる厚みを割り当てる方が好ましい。これは、より多くの異なる偏光状態が重ね合わせられる場合には、個々の厚みが特定の値に対応しないかということが、相応により重要でなくなることによる。更に、厚み公差も、こうしてより簡単に互いに補償することができる。

【符号の説明】

【0050】

- 32 第1の光学的配置
- 36 第2の光学的配置

【図1】

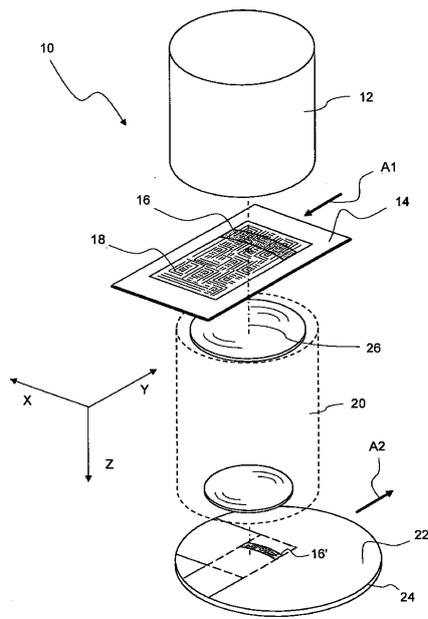


Fig. 1

【図2】

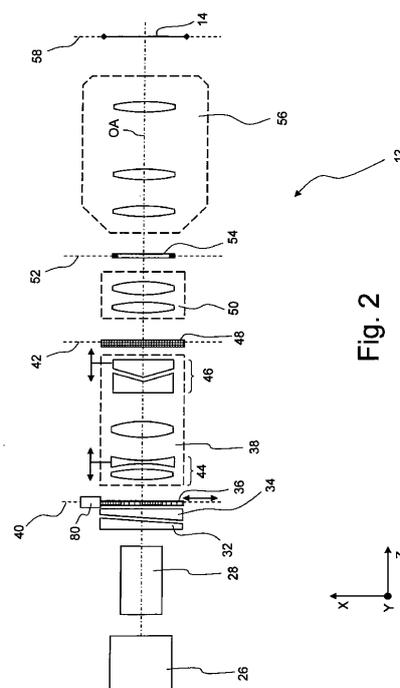


Fig. 2

【 図 3 】

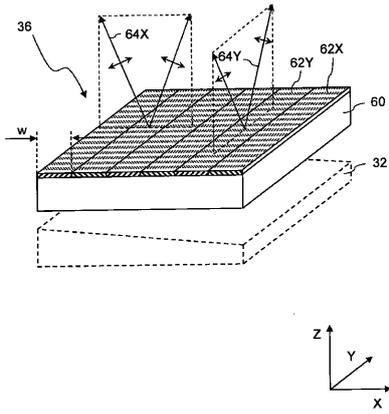


Fig. 3

【 図 4 】

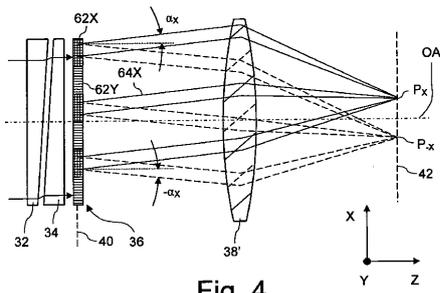


Fig. 4

【 図 7 】

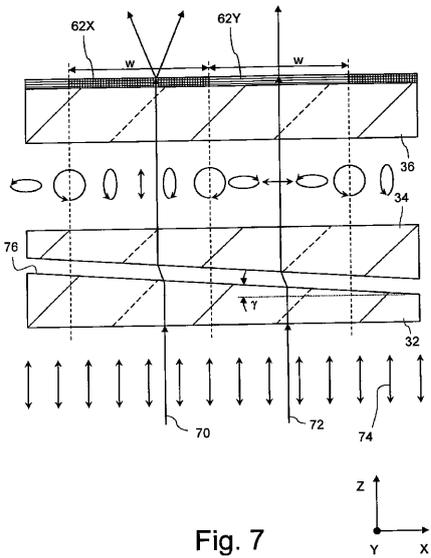


Fig. 7

【 図 5 】

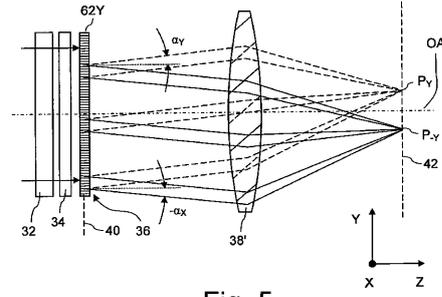


Fig. 5

【 図 6 】

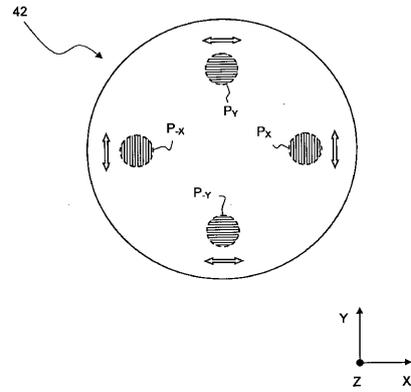


Fig. 6

【 図 8 】

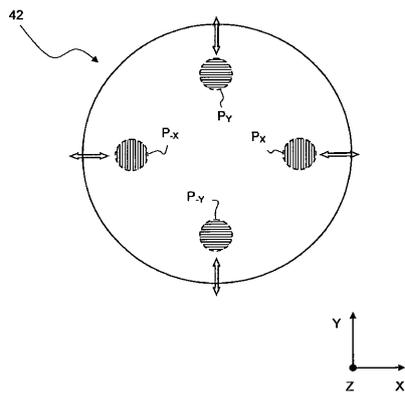


Fig. 8

【 9 】

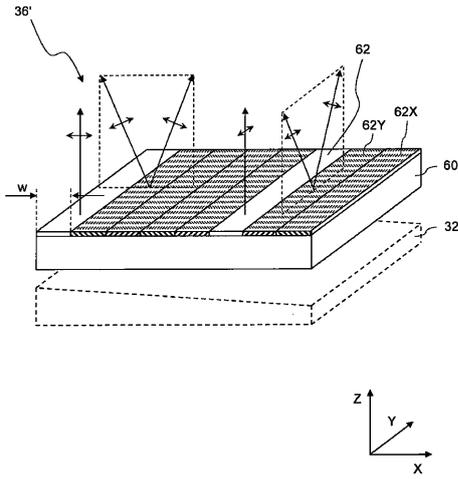


Fig. 9

【 10 】

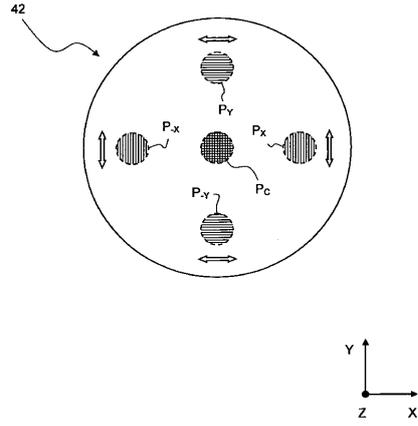


Fig. 10

【 11 】

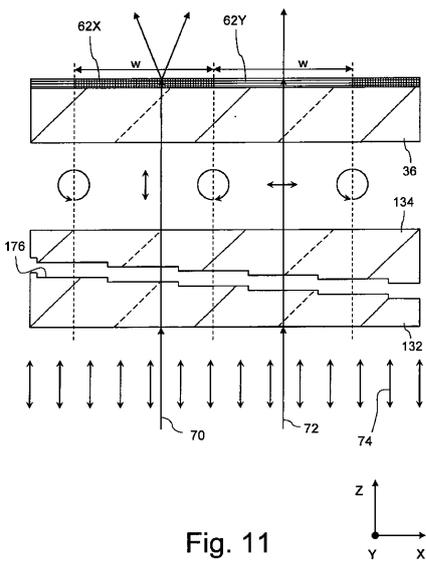


Fig. 11

フロントページの続き

(72)発明者 フィオルカ ダミアン

ドイツ連邦共和国 73447 オーベルコーヘン ヘッケンローゼンヴェーク 36

審査官 渡戸 正義

(56)参考文献 国際公開第2005/050718(WO, A1)

特開2006-196715(JP, A)

特開2006-005319(JP, A)

特開2006-018292(JP, A)

特開2003-090978(JP, A)

特開2007-227918(JP, A)

特開2006-269462(JP, A)

特開2005-268489(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027

G03F 7/20 - 7/24

G02B 5/04