

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4795745号
(P4795745)

(45) 発行日 平成23年10月19日(2011.10.19)

(24) 登録日 平成23年8月5日(2011.8.5)

(51) Int.Cl.	F I
H O 1 L 21/027 (2006.01)	H O 1 L 21/30 5 1 5 D
G O 3 F 7/20 (2006.01)	G O 3 F 7/20 5 2 1

請求項の数 7 (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2005-221109 (P2005-221109)	(73) 特許権者	503263355
(22) 出願日	平成17年7月29日(2005.7.29)		カール・ツァイス・エスエムティー・ゲー
(65) 公開番号	特開2006-41540 (P2006-41540A)		ムベーパー
(43) 公開日	平成18年2月9日(2006.2.9)		ドイツ連邦共和国、7 3 4 4 7 オベルコ
審査請求日	平成20年7月23日(2008.7.23)		ッヘン、ルドルフ・エーバー・シュトラ
(31) 優先権主張番号	60/591, 985		セ 2
(32) 優先日	平成16年7月29日(2004.7.29)	(74) 代理人	100082005
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 熊倉 禎男
(31) 優先権主張番号	60/631, 564	(74) 代理人	100067013
(32) 優先日	平成16年11月29日(2004.11.29)		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】 マイクロリソグラフィ用投影露光装置のための照明システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1の偏光マニピュレータ(PM1、PM21、PM31、PM41、PM51、PM611、PM621、PM111)、第2の偏光マニピュレータ(PM2、PM22、PM32、PM42、PM52、PM612、PM622、P112)、それらの間に配置される少なくとも1つの光学エレメント(L1、L2、18、30)を含むマイクロリソグラフィ用投影露光装置(PEA)のための照明システムにおいて：

(a) 前記第1の偏光マニピュレータ(PM1、PM21、PM31、PM41、PM51、PM611、PM621、P111)に入る光線(R)の電界ベクトルが、時間的に固定されている第1の方向(PD_i)において振動し、

(b) 前記第1の偏光マニピュレータ(PM1、PM21、PM31、PM41、PM51、PM611、PM621、P111)から放出される光線(R)の電界ベクトルが時間的に変化する第2の方向(PD_m)において振動し、

(c) 前記第2の偏光マニピュレータ(PM2、PM22、PM32、PM42、PM52、PM612、PM622、P112)から放出される光線(R)の電界ベクトルが時間的に固定されている第3の方向(PD_o)において振動し、

前記第1の偏光マニピュレータ(PM1、PM611)は、楕円偏光された光を生成する、照明システム。

【請求項 2】

前記第2の偏光マニピュレータ(PM2、PM612)は、楕円偏光された光を直線偏

10

20

光された光に変換する請求項 1 に記載の照明システム。

【請求項 3】

第 1 の偏光マニピュレータ (PM1、PM21、PM31、PM41、PM51、PM611、PM621、PM111)、第 2 の偏光マニピュレータ (PM2、PM22、PM32、PM42、PM52、PM612、PM622、P112)、それらの間に配置される少なくとも 1 つの光学エレメント (L1、L2、18、30) を含むマイクロシノグラフィ用投影露光装置 (PEA) のための照明システムにおいて：

(a) 前記第 1 の偏光マニピュレータ (PM1、PM21、PM31、PM41、PM51、PM611、PM621、P111) に入る光線 (R) の電界ベクトルが、時間的に固定されている第 1 の方向 (PD₁) において振動し、

(b) 前記第 1 の偏光マニピュレータ (PM1、PM21、PM31、PM41、PM51、PM611、PM621、P111) から放出される光線 (R) の電界ベクトルが時間的に変化する第 2 の方向 (PD_m) において振動し、

(c) 前記第 2 の偏光マニピュレータ (PM2、PM22、PM32、PM42、PM52、PM612、PM622、P112) から放出される光線 (R) の電界ベクトルが時間的に固定されている第 3 の方向 (PD_o) において振動し、

前記第 1 の偏光マニピュレータ (PM21、PM31、PM41、PM51、PM621) と、前記第 2 の偏光マニピュレータ (PM22、PM32、PM42、PM52、PM622) は、それぞれ偏光回転子を含み、

前記第 1 の偏光マニピュレータ (PM41、PM51) と前記第 2 の偏光マニピュレータ (PM42、PM52) は、前記第 2 の方向を断続的に回転する、照明システム。

【請求項 4】

m = 1、3、5、... として、前記第 1 の偏光マニピュレータ (PM41) が第 1 の方向を m × 90° 回転させる請求項 3 に記載の照明システム。

【請求項 5】

第 1 の偏光マニピュレータ (PM1、PM21、PM31、PM41、PM51、PM611、PM621、PM111)、第 2 の偏光マニピュレータ (PM2、PM22、PM32、PM42、PM52、PM612、PM622、P112)、それらの間に配置される少なくとも 1 つの光学エレメント (L1、L2、18、30) を含むマイクロシノグラフィ用投影露光装置 (PEA) のための照明システムにおいて：

(a) 前記第 1 の偏光マニピュレータ (PM1、PM21、PM31、PM41、PM51、PM611、PM621、P111) に入る光線 (R) の電界ベクトルが、時間的に固定されている第 1 の方向 (PD₁) において振動し、

(b) 前記第 1 の偏光マニピュレータ (PM1、PM21、PM31、PM41、PM51、PM611、PM621、P111) から放出される光線 (R) の電界ベクトルが時間的に変化する第 2 の方向 (PD_m) において振動し、

(c) 前記第 2 の偏光マニピュレータ (PM2、PM22、PM32、PM42、PM52、PM612、PM622、P112) から放出される光線 (R) の電界ベクトルが時間的に固定されている第 3 の方向 (PD_o) において振動し、

前記第 1 の偏光マニピュレータ (PM111) と前記第 2 の偏光マニピュレータ (PM112) との間に配置される第 3 の偏光マニピュレータ (PM113) を含み、その第 3 の偏光マニピュレータ (PM113) は、前記照明システム (1110) の光軸 (OA) に平行な光学軸を有する光学的にアクティブな結晶 (1101) を含み、その結晶 (1101) は、前記光学軸の方向に沿って局所的に変化する厚さを有する、照明システム。

【請求項 6】

第 1 の偏光マニピュレータ (PM1、PM21、PM31、PM41、PM51、PM611、PM621、PM111)、第 2 の偏光マニピュレータ (PM2、PM22、PM32、PM42、PM52、PM612、PM622、P112)、それらの間に配置される少なくとも 1 つの光学エレメント (L1、L2、18、30) を含むマイクロシノグラフィ用投影露光装置 (PEA) のための照明システムにおいて：

(a) 前記第1の偏光マニピュレータ(PM1、PM21、PM31、PM41、PM51、PM611、PM621、P111)に入る光線(R)の電界ベクトルが、時間的に固定されている第1の方向(PD₁)において振動し、

(b) 前記第1の偏光マニピュレータ(PM1、PM21、PM31、PM41、PM51、PM611、PM621、P111)から放出される光線(R)の電界ベクトルが時間的に変化する第2の方向(PD_m)において振動し、

(c) 前記第2の偏光マニピュレータ(PM2、PM22、PM32、PM42、PM52、PM612、PM622、P112)から放出される光線(R)の電界ベクトルが時間的に固定されている第3の方向(PD_o)において振動し、

前記第1の偏光マニピュレータ(PM111)と前記第2の偏光マニピュレータ(PM112)との間に配置され、偏光方向が放射方向から接線方向に変化する四重対称性を有する偏光分布を生成する第3の偏光マニピュレータ(PM113)を含み、前記第1の偏光マニピュレータ(PM111)は、 $m = 1, 3, 5, \dots$ とするととき、第1の方向を $m \times 90^\circ$ 回転させ、前記第2の偏光マニピュレータ(PM112)は、 $n = 1, 3, 5, \dots$ とするととき、 $n \times 45^\circ$ の角度で方向を変更することのできる光学軸を有する半波長プレート(1198)の機能を有する、照明システム。

【請求項7】

第1の偏光マニピュレータ(PM1、PM21、PM31、PM41、PM51、PM611、PM621、PM111)、第2の偏光マニピュレータ(PM2、PM22、PM32、PM42、PM52、PM612、PM622、P112)、それらの間に配置される少なくとも1つの光学エレメント(L1、L2、18、30)を含むマイクロリソグラフィ用投影露光装置(PEA)のための照明システムにおいて：

(a) 前記第1の偏光マニピュレータ(PM1、PM21、PM31、PM41、PM51、PM611、PM621、P111)に入る光線(R)の電界ベクトルが、時間的に固定されている第1の方向(PD₁)において振動し、

(b) 前記第1の偏光マニピュレータ(PM1、PM21、PM31、PM41、PM51、PM611、PM621、P111)から放出される光線(R)の電界ベクトルが時間的に変化する第2の方向(PD_m)において振動し、

(c) 前記第2の偏光マニピュレータ(PM2、PM22、PM32、PM42、PM52、PM612、PM622、P112)から放出される光線(R)の電界ベクトルが時間的に固定されている第3の方向(PD_o)において振動し、

(a) 第1のペアの偏光マニピュレータ(PM611、PM612)と、

(b) 前記第1のペアの偏光マニピュレータ(PM611、PM612)に続く第2のペアの偏光マニピュレータ(PM621、PM622)と、

(c) 前記第1のペアの偏光マニピュレータ(PM611、PM612)と前記第2のペアの偏光マニピュレータ(PM621、PM622)の間に配置された、少なくとも1つの別の偏光マニピュレータ(PM3)と、

を含む、照明システム。

【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用投影露光装置のための照明システムに関する。より詳細に述べれば、本発明は、あらかじめ決定された偏光状態を有する投影光を用いてマスクを照明する照明システムに関する。

【背景技術】

【0002】

マイクロリソグラフィ(フォトリソグラフィとも呼ばれる)は、集積回路、液晶ディスプレイ、その他のマイクロ構造化されたデバイスを製造するためのテクノロジーである。より詳細に述べれば、マイクロリソグラフィのプロセスは、エッチングのプロセスとともに、基板上、たとえばシリコン・ウエハ上に形成された薄膜スタック内にフィーチャをパタ

10

20

30

40

50

ーン形成するために使用される。製造において、最初に、深紫外線（ＤＵＶ）光等の放射線に対して敏感な材料であるフォトレジストを用いてウエハがコーティングされる。次に表面にフォトレジストを設けたウエハが、ステップ アンド スキャン・ツール等の投影露光装置内においてマスクを通った投影光によって露光される。このマスクは、フォトレジスト上に投影される回路パターンを含む。露光の後、フォトレジストが現像されてマスク内に含まれていた回路パターンに対応する像ができる。その後、エッチ・プロセスが回路パターンをウエハ上の薄膜スタックへ転写する。最後にフォトレジストが除去される。

【 ０ ０ ０ ３ 】

投影露光装置は、通常、照明システム、投影レンズを含み、さらにフォトレジストがコーティングされたウエハのアライメントを行うためのウエハ・アライメント・ステージを含む。照明システムは、細長い矩形のスリット形状を有することのできる照明フィールド内のマスクの領域を照明する。マイクロ構造化されたデバイスを製造するためのテクノロジーが進歩するに伴って、照明システムへの要求も増加の一途をたどっている。たとえば、慎重に選択された偏光状態を有する投影光を用いてマスクを照明することが、フォトレジスト上へのマスクの像ングをかなり改善できることがわかった。現時点においては、直線偏光された光を用いてマスクを照明することが、特に有利であると見られている。

【 ０ ０ ０ ４ 】

しかしながら、直線偏光された光を用いてマスクを照明することは種々の困難を伴う。もっとも顕著な問題の１つは、一般に偏光誘起複屈折と呼ばれる効果である。この効果は、たとえば非特許文献１および非特許文献２の中で述べられている。この効果は、ほとんどすべての適切な光学材料内において、それらがより長い時間にわたって高い強度と一定の偏光方向を有する直線偏光された光にさらされるとき、複屈折が現れることと関係がある。この複屈折は、材料内のわずかな密度変動によって生じる。複屈折材料内においては、入射光の方向に関する材料の向きの関数として、かつその偏光の関数として屈折率が変化する。偏光誘起複屈折の場合においては、速軸または遅軸のいずれかが、入射光の電界ベクトルが振動する方向と平行になる。

【 ０ ０ ０ ５ 】

この方向が変化しない限り、電界ベクトルが材料の速軸または遅軸のいずれかと平行に振動を続けるため、偏光誘起複屈折はほとんど問題とならない。したがって、複屈折によって生じる一般的な効果、たとえば、直線偏光された光から楕円偏光された光への変換が生じない。

【 ０ ０ ０ ６ 】

しかしながら、異なる かつ、必ずしも直交しない 偏光方向を有する直線偏光された光を用いてマスクが照明できると望ましいことが多い。たとえば、瞳平面内に偏光マニピュレータを配置し、マニピュレータのエリア全体にわたって接線状の偏光分布を作ることが提案されている。その場合、すべての可能性のある偏光方向が、その後続く光学エレメント内に生じる。その種の偏光マニピュレータを挿入することによって照明セッティングを変更する場合には、電界ベクトルの方向が、以前の照明セッティングによって誘起された複屈折の遅軸または速軸と必ずしも平行である必要がない。したがって、偏光誘起複屈折が目立つようになり、言い換えると新しい照明セッティングにおける光の偏光状態が複屈折によって擾乱されることになる。

【 ０ ０ ０ ７ 】

特許文献１から、マスクを照明する直線偏光された光の偏光方向を変化させることを可能にする照明システムが公知である。

【 ０ ０ ０ ８ 】

類似のコンセプトが、特許文献２から公知となる照明システムに採用されている。しかしながら、この公知の照明システムにおいては、マスクが擬似的な偏光消去光にさらされるように、続いて生じるレーザ・パルスが直交偏光状態を有する。

【 ０ ０ ０ ９ 】

特許文献３からは、マイクロリソグラフィ用投影装置のための別の照明システムが公知

10

20

30

40

50

となり、それにおいては、半波長プレートが高い角速度で光軸周りに回転される。この角速度は、その後に生じるパルスの直線偏光状態が2つの直交方向の間を交番するようにレーザー・パルスの周波数と同期される。その結果、ウエハ上のフォトリソが、擬似的な偏光消去光にさらされる。

【0010】

【特許文献1】米国特許第5,442,184A号

【特許文献2】米国特許第5,233,460号

【特許文献3】米国特許第6,483,573B1号

【特許文献4】米国特許第6,285,443号

【特許文献5】米国特許第6,392,890B2号

10

【非特許文献1】N. F. ボレリ (N. F. Borelli) ほか著「エキシマ・レーザー インデュースド・エキスパンション・イン・ハイドロジェン・ローデッド・シリカ (Excimer laser induced expansion in hydrogen loaded silica)」アプライド・フィジクス・レターズ (Appl. Phys. Lett.) 第78巻第17号、2001年4月23日、p2452 2454

【非特許文献2】N. F. ボレリ (N. F. Borelli) ほか著「ポーラライズド・エキシマ・レーザー インデュースド・バイレフリンジェンス・イン・シリカ (Polarized excimer laser induced birefringence in silica)」アプライド・フィジクス・レターズ (Appl. Phys. Lett.) 第80巻第2号、2002年1月14日、p219 221

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

本発明は、前述した偏光誘起複屈折の逆効果が低減されるか、さらには除去される照明装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明の第1の側面によれば、この目的はマイクロリソグラフィ用投影露光装置のための照明システムによって達成される。当該照明システムは、第1、第2の偏光マニピュレータおよびそれらの間に配置される少なくとも1つの光学エレメントを含む。第1の偏光マニピュレータに入る光線の電界ベクトルは、時間的に固定されている第1の方向で振動する。第1の偏光マニピュレータから放出される光線の電界ベクトルは、時間的に変化する第2の方向で振動する。第2の偏光マニピュレータから放出される光線の電界ベクトルは、時間的に固定されている第3の方向で振動する。

30

【0013】

この種の照明システムは、第1、第2の偏光マニピュレータの間に配置されるすべての光学エレメントが、当該光学エレメントに対する偏光方向が時間的に変化する光にさらされることを保証する。その結果として、偏光誘起複屈折の原因となる密度変動が生じないか、その種の変動を生じたとしてもそれらが対称になり、正味の複屈折がゼロになる。ここで言う対称は、第1の密度変動によってもたらされる（単独で考えた場合）偏光誘起複屈折の速軸が、第2の密度変動によってもたらされる別の偏光誘起複屈折の遅軸に一致することを意味する。

40

【0014】

第2の偏光マニピュレータは、変化の方向、すなわち2つの偏光マニピュレータの間において電界ベクトルの振動する方向が、再度時間的に固定された方向に変更されることを保証するタスクを有する。

【0015】

第2の方向、すなわち2つの偏光マニピュレータの間において電界ベクトルの振動する方向の変化は、種々のアプローチを使用して達成することができる。

50

【 0 0 1 6 】

おそらくはもっとも単純なアプローチは、2つの偏光マニピュレータの間における光が楕円偏光されること、あるいはより好ましくは円偏光されることの保証である。この場合、第2の方向の時間的な変化が極めて高速になる。楕円偏光された光の楕円率が1（これは、円偏光された光に対応する）に近づくほど、その光によって上記の少なくとも1つの光学エレメント内に誘起される複屈折が小さくなる。

【 0 0 1 7 】

入射光の直線偏光状態を楕円偏光または円偏光状態に変換するためには、この特性を有する任意の公知のデバイスを使用することができる。そのために1/4波長プレートまたは3/4波長プレートが頻繁に使用される。2つの偏光マニピュレータの間における偏光状態を円とする必要がある場合には、1/4波長プレートまたは3/4波長プレートが、第1の方向（すなわち、到来光の偏光方向）に対して45°の角度をなす主軸を有する必要がある。それに代えて、半波長プレートを伴う適切に配向された直線偏光子の組み合わせを、円偏光子として使用することも可能である。

【 0 0 1 8 】

第2の偏光マニピュレータは、楕円偏光または円偏光された光を、再び直線偏光された光に変換するタスクを有する。このため、第2の偏光マニピュレータについても、この分野で周知のとおり、たとえば1/4波長プレート、3/4波長プレート、または半波長プレートを伴う適切に配向された直線偏光子の組み合わせとすることができる。

【 0 0 1 9 】

第2の方向を時間的に変化させる別の方法は、それぞれのマニピュレータが偏光回転子を含む偏光マニピュレータを使用することである。この関係において、偏光回転子は、第1の固定された偏光方向を別の固定された偏光方向へ回転することのできる任意のデバイスを意味する。この回転は、楕円偏光または円偏光された光の電界ベクトルの回転と比較すると非常にゆっくりである。しかしながら、偏光誘起複屈折を防止するために回転の角速度は重要でない。

【 0 0 2 0 】

また偏光方向の回転が遅い場合には、偏光回転子として使用することができる多くのデバイスがこの分野で知られている。

【 0 0 2 1 】

たとえば半波長プレートは、その半波長プレートの主軸と入射光の偏光方向の間の角度をとるとき、偏光方向を2の角度で回転する特性を有している。この角度が45°に等しい場合には、入射光の偏光状態が、直交する偏光状態に変換される。入力偏光方向とは独立に、偏光方向に90°の回転を与える回転子は、第1の半波長プレートの主軸が第2の半波長プレートの主軸と45°の角度をなすように配置された第1の半波長プレートと第2の半波長プレートで構成することができる。

【 0 0 2 2 】

偏光状態を回転する別のアプローチは、光学的にアクティブな材料を含む偏光回転子の使用である。これらの材料は、それぞれの材料内を光線が伝播する距離に依存して偏光方向を回転する特性を有する。異なる厚さのアクティブ材料を使用することによって、回転の角度を変更することが可能である。

【 0 0 2 3 】

特に好都合なことは、アクティブ材料としての液晶の使用である。特定の液晶では、結晶がさらされる電界強度に応じて偏光方向を回転させることが可能である。したがって、2つの偏光マニピュレータの間において偏光方向を連続的に回転させることが、単に第1の偏光マニピュレータの液晶に印加する電圧を変更することだけで可能になる。

【 0 0 2 4 】

それに代えて少なくとも1つの偏光回転子が、たとえば磁気光学効果または電気光学効果を利用することのできる偏光変調器を含んでもよい。この種の変調器は、たとえばファラデー、カー、あるいはポッケルス回転子として入手することができる。

【 0 0 2 5 】

2つの偏光マニピュレータの間における光の偏光方向は、連続的に回転してもよく、あるいは断続的に回転してもよい。偏光方向が断続的に回転される場合には、最終的にそれらの偏光マニピュレータの間の光学エレメント内において対称密度変動が生じ、その結果として偏光誘起複屈折が生じないように回転角度が決定されることを保証する必要がある。もっとも単純なケースでは、この角度を 90° またはその奇数倍とする。

【 0 0 2 6 】

偏光方向の断続的な回転を達成するためには、第1、第2の偏光マニピュレータが、それぞれ、光線が偏光回転子を通過する第1のポジションと光線が偏光回転子を通過しない第2のポジションの間において偏光回転子を変位させるためのアクチュエータを含めばよい。この場合、回転子自体を回転させること、あるいは変化させたコントロール電圧を印加することがまったく不要となる。

10

【 0 0 2 7 】

回転角度が 90° またはその奇数倍である場合には、第1、第2の偏光マニピュレータの間に、直線偏光の一樣な偏光分布を直線偏光の放射状偏光分布または直線偏光の接線状偏光分布に変換する第3の偏光マニピュレータをアレンジすることができる。この種の追加の偏光マニピュレータは、通常、照明システムの瞳平面内またはその直近に配置される。この種の第3の偏光マニピュレータは、直線偏光の放射状偏光分布または直線偏光の接線状偏光分布を生成するために特定の入力偏光状態またはそれに対して直交する偏光状態を必要とすることから、そのほかの回転角度がある場合には、この偏光マニピュレータが機能しなくなる。

20

【 0 0 2 8 】

第3の偏光マニピュレータは、照明システムの光軸に平行な光学軸を有する光学的にアクティブな結晶から構成することができる。この結晶は、光学軸の方向に沿って局所的に変化する厚さを有する。この種の第3の偏光マニピュレータは、それ自体、米国特許出願第60/537,327号に開示されているが、入射光束の偏光分布が既知であり、かつ時間的に一定であれば、また少なくとも概略で結晶の光学軸と平行にその光が通過すれば、任意の偏光分布を得ることを可能にする。

【 0 0 2 9 】

別の好適な実施態様によれば、偏光方向が放射方向から接線方向に変化する四重対称性を有する偏光分布を生成する第3の偏光マニピュレータが提供される。第1の偏光マニピュレータは、 $m = 1, 3, 5, \dots$ とするととき、第1の方向を $m \times 90^\circ$ 回転させ、第2の偏光マニピュレータは、 $n = 1, 3, 5, \dots$ とするととき、 $n \times 45^\circ$ の角度で方向を変更することのできる光学軸を有する半波長プレートの機能を有する。この種の第3の偏光マニピュレータは、第1の偏光マニピュレータによって導入された回転とは無関係に放射状または接線状の偏光分布を獲得する上で単一の半波長プレート（または任意の等価デバイス）があれば充分であるという利点を有する。したがって、第2の偏光マニピュレータとしてかさの大きな回転子を使用する必要がなくなる。これは、通常、第2の偏光マニピュレータがマスク平面の直前に配置されることから重要な利点である。照明システムのこの部分においては、追加の光学エレメントを収容するために利用可能な空間が非常に制限されることが多い。

30

40

【 0 0 3 0 】

第3の偏光マニピュレータの設計に応じて、第3の偏光マニピュレータによって生成される偏光方向を、放射方向から接線方向へ離散的に変化させることもできれば、連続的に変化させることもできる。前述した局所的に変化する厚さ分布を有する光学的にアクティブな結晶は、四重対称性を有する偏光分布を得るために特に適している。

【 0 0 3 1 】

追加の偏光マニピュレータの使用を可能にする別の方法は、少なくとも2ペアの偏光マニピュレータを、追加の偏光マニピュレータの前後にアレンジする。その場合、追加の偏光マニピュレータを通る光が常に同一の直線偏光状態を有することが保証される。これは

50

、概して、特定の入力偏光状態を必要とするすべての偏光マニピュレータに適用できる。

【 0 0 3 2 】

可能な限り多くの光学エレメントが偏光誘起複屈折から保護されることを確実にするために、第 1、第 2 の偏光マニピュレータは、それぞれ、照明システムの先頭と末尾の極めて近くに配置される必要がある。その場合、それらの間に配置されるすべての光学エレメントは、電界ベクトルが振動する方向が時間的に変化する光にさらされることになり、したがって、偏光誘起複屈折によってもたらされる擾乱のリスクが低減されるか、あるいは取り除かれる。

【 0 0 3 3 】

本発明の第 2 の側面によれば、前述した目的が、照明システムの動作の間に、固定された偏光方向を有する直線偏光された光線が入射される光学エレメントを含む照明システムによって達成される。さらにこの照明システムは、その光学エレメントを回転軸周りに回転するためのアクチュエータを含む。また、そのアクチュエータをあらかじめ決定済みのコントロール・パターンに従ってコントロールするアクチュエータ用のコントロール・ユニットが提供される。

【 0 0 3 4 】

このように、本発明のこの第 2 の側面によれば、固定された光学エレメントに対して偏光方向を変化させるのではなく、その逆に、入射光の固定された偏光方向に対して、光学エレメントの角度ポジションを変化する。いずれの場合においても、結果は本質的に同じであり、言い換えれば、入射光の偏光方向とその光が通過する光学材料の向きの間の相対的なポジションが変化する。したがって、偏光誘起複屈折の原因となる密度変動が生じないか、その種の変動を生じたとしてもそれらが対称になり、正味の包括的な複屈折がゼロになる。

【 0 0 3 5 】

光学エレメントの回転は、入射光の偏光方向が完全に固定されていないか、入射光が完全に直線偏光されていない場合にも有用となる。たとえば、入射光の偏光方向にある種のジッターが存在する場合、あるいは入射光が楕円偏光され、楕円率が大きい場合にも偏光誘起複屈折を生じることがある。その場合にも、光学エレメントの回転によって、偏光誘起複屈折を実質的に低減することが可能になる。

【 0 0 3 6 】

しかしながら、通常、偏光方向は実質的に固定されることになる。この場合には、アクチュエータが光学エレメントを 90° またはその奇数倍の角度で回転するように適合されていると有利である。光学エレメントの材料内の密度変動を防止できなかったとしても、その種の密度変動がある場合には、それらが対称となること、したがって正味の複屈折効果が存在しなくなることが保証される。

【 0 0 3 7 】

特定の場合においては、コントロール・ユニットが、照明システムの露光動作期間と露光動作期間の間の一時停止の間に回転を開始することが必要となることもある。このことは、フォトレジストが投影光に露光されないときに限って回転が許されることを意味する。たとえば、光学エレメントが回転対称軸を有していない場合には、光学エレメントを回転させることが、その光学特性を変更することになる。通常、露光操作の間にこれが許容されることはあり得ない。その種の場合には、露光動作期間と露光動作期間の間の一時停止の間に光学エレメントを回転させるだけでなく、投影光源または追加の光源によって生成される補償光を用いてエレメントを照明することも必要になる。これについては、さらに詳細な説明を後述する。

【 0 0 3 8 】

しかしながら、照明システム内の光学エレメントは、一般に回転対称である。したがって、コントロール・ユニットは、照明システムの露光動作の間に、その光学特性を変化させることなく回転を開始させることができる。さらに、光学エレメントを連続的に回転することも可能であり、その結果、材料内の密度変動が完全に、あるいは少なくとも実質的

10

20

30

40

50

に防止される。

【 0 0 3 9 】

動作の間に光学エレメントを連続的に回転させることに代えて、露光動作期間と露光動作期間の間の一時停止の間にのみ光学エレメントに、好ましくは 90° またはその奇数倍の回転を与え、その後、望ましい角度に回転した光学エレメントを用いて動作を再開することも可能である。次の一時停止の間においては、再び光学エレメントの回転、たとえばそのオリジナルのポジションへ戻す回転が行われる。この手順に従えば、光学エレメントが実質的に等しい持続時間にわたって、2つの異なる（好ましくは直交する）偏光方向を有する光にさらされることになる。この手順は、光学エレメントが多重対称軸、たとえば三重、または四重対称軸を有する場合にも行うことが可能である。その場合は対称性が光学エレメントの回転角度を決定する。

10

【 0 0 4 0 】

一般に照明システムは、投影光が通過する光学エレメントを複数含んでいる。多くの場合には、非常に高い放射線密度が生じる光学エレメントだけを回転させれば充分であることができる。通常それらは、小径のレンズまたは瞳平面の近傍に配置されるレンズである。回転を必要とする光学エレメントの数が1を超える場合、および特にその種の光学エレメントが互いに隣接している場合には、アクチュエータが複数の光学エレメントに接続されていると有利なことがある。これは、複数の光学エレメントを単一のアクチュエータを用いて同時に回転させることを可能にする。

【 0 0 4 1 】

20

ここで注意する必要があるが、本発明の第2の側面に関連した上記の考察は、種々の偏光方向を伴う直線偏光された光が光学エレメント上の特定のポイントに入射する場合にも適用できる。支配的な偏光方向が存在しない場合には、偏光誘起複屈折が生じないことになる。しかしながら支配的な偏光方向が存在するのであれば、少なくとも1つの光学エレメントの回転もまた、偏光誘起複屈折の発生を抑えることになる。

【 0 0 4 2 】

本発明の第3の側面によれば、前述した目的が、あらかじめ決定済みの波長を有する光に敏感なレイヤを露光するための投影露光装置によって達成され、当該装置は：

- (a) あらかじめ決定済みの波長を有する投影光線を放射する第1の光源；
- (b) 少なくとも1つのポイントにおいて投影光が支配的な第1の包括的偏光方向を有するように、投影光線が通る少なくとも1つのポイントを含む光学エレメント；
- (c) 補償光線を放射する第2の含み、その補償光を、上記の少なくとも1つのポイントにおいて支配的な第1の包括的偏光方向と 45.1° と 90° の間の角度をなす支配的な第2の包括的偏光方向を有するように光学エレメントに向けることができる。

30

【 0 0 4 3 】

本発明のこの側面は、システムの通常の動作の間に生じ、かつ最終的に複屈折をもたらすことのある偏光誘起密度変動のオフセットのために補償光が使用される場合には、投影光の偏光方向または光学エレメントの角度ポジションのいずれも変更する必要がないという考察を基礎としている。光学エレメントの少なくとも1つのポイント上における補償光の支配的な第2の包括的偏光方向は、支配的な第1の包括的偏光方向と 45° を超える角度をなす必要があり、これは、それが満たされなければ偏光誘起密度変動を、少なくとも部分的に、補償することが不可能であり、増加することさえあるためである。理想的にはこれら2つの方向の間の角度が、実質上 90° に等しいとする。

40

【 0 0 4 4 】

補償光が、上記のレイヤが敏感でない波長を有する場合には、投影光によってそのレイヤが露光されている間に第2の光源を動作させて補償光を放射することができる。これには、時間軸上において、続いて生じる露光の間の期間、メンテナンス期間、あるいはそのほかの動作の中断に補償プロセスが限定されないという利点がある。この場合には、補償光の波長が、投影光より有意に小さくない偏光誘起密度変動をもたらすように選択されることが保証されるだけでよい。補償光に対する材料の応答がはるかに強くなる波長が選択

50

される場合には、短い時間期間だけ補償光を光学エレメントに対して指向するだけで充分とすることができる。

【 0 0 4 5 】

直線偏光された光または、より一般的に支配的な第2の包括的偏光方向を有する光に対する光学エレメントの材料のまったく同じ応答は、投影光と補償光がともに同一の波長を有するときに達成される。しかしながら、その場合においては、補償光線によって感光レイヤを露光できない時間内においてのみ第2の光源が補償光を放射することが、第2の光源に接続されているコントロール・ユニットによって保証されなければならない。コントロール・ユニットは、感光レイヤを表面に伴うウエハが投影レンズの正面に配置されていない時間期間の開始時に、たとえば開始コマンドを第2の光源に伝えることができる。

10

【 0 0 4 6 】

好適な実施態様においては、投影露光装置がコントロール・ユニットに接続され、補償光による感光レイヤの露光を防止するシャッタを含む。これによって、続いて生じる露光の間の短時間の期間内においてさえ、光学エレメント上に補償光を指向させることが可能になる。第1の光源と感光レイヤの間のすべての光学エレメントが補償光によって誘起される複屈折補償の利益を受ける必要があるとすれば、その種のシャッタを感光レイヤの直前にアレンジする必要がある。照明システムと投影露光装置の投影レンズの間にシャッタが配置される場合には、偏光誘起複屈折によってもたらされる逆効果から照明システム内のエレメントだけを保護することが可能になる。投影レンズ内の光の強度が、先行する光学エレメント内における吸収に起因して照明システム内より低くなるため、しばしばこれで充分となる。これらの光の強度は、低すぎて投影レンズの光学エレメント内に密度変動を生じさせることができない。

20

【 0 0 4 7 】

投影光と補償光の波長を同一とする必要がある場合に、異なる偏光方向を伴う光を放射する2つの異なる光源の提供を考えることができる。しかしながら、同一の効果を、追加の偏光マニピュレータと1つの光源だけを用いて達成可能であり、その場合の追加の偏光マニピュレータは、それが光線のパス内に挿入されているか否かに応じて入射光から投影光または補償光のいずれかを生成する。ビーム・スプリッタと結合器を補助として、互いに異なる偏光方向を有する投影光と補償光を同時に生成することも可能である。その後、照明システムの出口側にある偏光フィルタが、その光からすべての望ましくない偏光方向を除去することができる。

30

【 0 0 4 8 】

入射光が直線偏光される場合には、偏光マニピュレータは、それを通過する光の偏光方向を45°より大きい角度で、好ましくは90°またはその奇数倍の角度で回転させればよい。この結果として、直線偏光された入射光の場合には、同様に直線偏光されているが、異なる（好ましくは直交する）偏光方向を有する補償光がもたらされる。これに関して、光線のパス内に偏光マニピュレータが挿入されるときに投影光が生成されるか、あるいはそれが取り除かれたときに生成されるかは重要でない。

【 0 0 4 9 】

偏光誘起密度変動の完全な補償を達成するためには、支配的な第1、第2の包括的偏光方向の間に形成される角度を実質的に90°とする必要がある。光学エレメントの少なくとも1つのポイントを通る異なる偏光方向を有する投影光線がいくつかある場合には、当該少なくとも1つのポイントを通過する補償光が、その少なくとも1つのポイントを通過するそれぞれの投影光線の偏光方向に対して少なくとも実質的に直交する偏光方向を有するように、たとえば適切な第2の光源を用いて、あるいは偏光マニピュレータを用いてアレンジすることができる。

40

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 5 0 】

以下、添付図面を参照し、本発明の好ましい実施態様について説明する。

【 0 0 5 1 】

50

図 1 は、本発明を使用することのできる一例の投影露光装置の高度に簡略化した斜視図を示している。全体を P E A として示したこの投影露光装置は、投影光束を生成する照明システム 1 0 を備えており、それについては図 2 ~ 1 4 を参照してさらに説明する。投影光束は、図示の実施形態の場合、小構造 S T を擁しているマスク M 上の細い矩形の光視野 L F (light field) を照明する。光視野 L F 内の小構造 S T は、ウエハ W 上に堆積され、かつ投影レンズ P L の像平面に配置されたフォトレジスト上に結像される。投影レンズ P L が 1 より小さい倍率を有するので、光視野 L F 内における構造 S T の縮小された像 L F ' がウエハ W 上に投影される。

【 0 0 5 2 】

投影の間、マスク M とウエハ W は、Y 軸のスキャン方向に沿って移動する。マスク M とウエハ W の速度比は、投影レンズ P L の倍率に等しい。投影レンズ P L が像を反転させる場合には、マスク M とウエハ W が、互いに反対方向に移動し、図 1 の矢印 A 1 と A 2 によって示される通りになる。このように光視野 L F は、マスク M 上のより大きな構造化されたエリアも連続的にフォトレジスト上に投影できるようにマスク M 上をスキャンする。

【 0 0 5 3 】

図 2 は、照明システム 1 0 のメリジオナル平面の断面図を示している。簡明のため、図 2 の例示は、かなり簡略化されており、縮尺にも従っていない。このことは特に、種々の光学ユニットが非常のわずかな光学エレメントのみによって表されていることを意味する。実際には、これらのユニットが、これよりかなり多くのレンズやそのほかの光学エレメントを含む。照明システム 1 0 は、例示の実施形態においてはエキシマ・レーザ 1 4 として具体化されている光源を含む。エキシマ・レーザ 1 4 は、深紫外線 (D U V) スペクトル・レンジの波長、たとえば 1 9 3 n m の波長を有する投影光を放射する。

【 0 0 5 4 】

続いてこの投影光がビーム拡張ユニット 1 6 に入り、そこで光束が拡張される。ビーム拡張ユニット 1 6 を通過した後の投影光は、第 1 の偏光マニピュレータ P M 1 に入射するが、その機能の説明については、図 3 および 4 a ~ 4 c を参照して後述する。第 1 の偏光マニピュレータ P M 1 を通過した後の投影光は、第 1 の回折光学エレメント 1 8 によって回折される。第 1 の回折光学エレメント 1 8 は、1 ないしは複数の回折格子を含んでおり、それが、発散が導入されるように各入射光線を回折させる。図 2 においてはこれが、発散する 2 つの光線 2 0 、 2 2 に分岐される軸方向の光線として略図的に示されている。したがって第 1 の回折光学エレメント 1 8 は、投影光の角度分布を修正する。また第 1 の回折光学エレメント 1 8 は、このほかの種類の任意の光学ラスタ・エレメントに置き換えることも可能であり、たとえばフレネル・ゾーン・プレートによってマイクロ レンズが形成されるマイクロ レンズ・アレイに置き換えることができる。この目的に適したさらに別の光学ラスタ・エレメントの例が、特許文献 4 から与えられ、その内容は、参照によりこれに援用される。

【 0 0 5 5 】

第 1 の回折光学エレメント 1 8 は、ズーム・レンズ群 2 5 とアキシコン・エレメント 2 7 a 、 2 7 b のペア 2 7 だけが示されている第 1 の対物レンズ 2 6 の物体平面 2 4 内に配置されている。参照番号 2 8 は、第 1 の対物レンズ 2 6 の射出瞳平面を示している。射出瞳平面 2 8 内またはそれに近接して、異なる光学コンポーネント用の交換ホルダ 2 9 が配置されている。これらの光学コンポーネントは、交換ホルダ 2 9 内に挿入されたとき、瞳平面 2 8 内の光の特定の光学特性、たとえば偏光分布を修正する。

【 0 0 5 6 】

別の光学ラスタ・エレメントの形式の視野区画コンポーネント 3 0 もまた、第 1 の対物レンズ 2 6 の瞳平面 2 8 内またはそれに近接して配置されている。視野区画コンポーネント 3 0 は、各ポイントに対して発散を導入し、またマスク M 上の光視野のジオメトリに影響を与える。図 2 においては、視野区画コンポーネント 3 0 によって導入される発散が、入射する光線 2 0 、 2 2 に対して、発散している光線 2 0 a 、 2 0 b と 2 2 a 、 2 2 b によって略図的に表されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 7 】

発散している光線 2 0 a、2 0 b と 2 2 a、2 2 b が第 2 の対物レンズ 3 2 内に入る。図 2 においてはそれが、単一の集光レンズ 3 2 によって表されている。第 2 の対物レンズ 3 2 は、入射瞳が第 1 の対物レンズ 2 6 の射出瞳平面 2 8 と一致するように照明システム 1 0 内に配置される。第 2 の対物レンズ 3 2 の像平面 3 4 は、視野平面であり、そこには調整可能なストップ 3 8 が配置される。ストップ 3 8 は、スキャン方向 Y 内において、照明される光視野 L F の鋭いエッジを確保する。このため、第 2 の対物レンズ 3 2 の像平面 3 4 に一致する物体平面を有する第 3 の対物レンズ 4 2 が、照明システム 1 0 の光軸 4 4 に沿って配置される。第 3 の対物レンズ 4 2 の像平面 4 6 内に、マスク・ステージ（図示せず）を使用してマスク M を配置する。第 3 の対物レンズ 4 2 とマスク M の間には、第 2

10

【 0 0 5 8 】

図 3 は、図 2 に示されている照明システム 1 0 をさらに簡略化した図である。ズーム・レンズ群 2 5 とアキシコン・ペア 2 7 が単一のレンズ L 1 によって共通に示されており、交換ホルダ 2 9 と第 2 の偏光マニピュレータ P M 2 の間のすべての光学エレメントは、単一のレンズ L 2 によって表されている。

【 0 0 5 9 】

図 3 に示されている実施形態においては、レーザ 1 4 が、紙面に対して平行であり、かつ図 3 には両方向矢印 P D_i によって示されている偏光方向を有する直線偏光された光を生成することが仮定されている。偏光マニピュレータ P M 1 は、1 / 4 波長プレートであり、1 / 4 波長プレートの主軸が入射光の偏光方向 P D_i と 4 5 ° の角度を形成するように、照明システム 1 0 の光軸 O A に関して配向される。その結果、偏光マニピュレータ P M 1 から出た光が円偏光する。図 3 においてはこれが、円形矢印 5 0 によって単一の光線 R に対して示されている。

20

【 0 0 6 0 】

さらに、第 1 の偏光マニピュレータ P M 1 と第 2 の偏光マニピュレータ P M 2 の間の光学エレメント、すなわちレンズ L 1、L 2、および第 2 の回折光学エレメント 3 0 が、この円偏光を、光線 R が第 2 の偏光マニピュレータ P M 2 に入射するまで維持することが仮定されている。第 2 の偏光マニピュレータ P M 2 は、3 / 4 波長プレートであり、主軸が偏光方向 P D_i に関して 4 5 ° の角度をなすように光軸 O A に対して配向される。したがって、偏光マニピュレータ P M 2 が光線 R の円偏光状態を直線偏光状態に変換することになる。図 3 においてはそれが両方向矢印 P D_o によって示されている。照明システム 1 0 を通過する間に光線の伝播方向の周りに偏光方向が回転されなかったことになるため、第 1 の偏光マニピュレータ P M 1 に入る前と第 2 の偏光マニピュレータ P M 2 から出た後の光線 R の偏光状態が同一になる。

30

【 0 0 6 1 】

2 つの偏光マニピュレータ P M 1、P M 2 が照明システム 1 0 を分割する 3 つの部分における光線 R の偏光状態が、図式的に図 4 a、4 b、4 c に例示されている。

【 0 0 6 2 】

図 4 a、4 c は、光線 R の伝播方向に垂直な平面内の偏光方向 P D_i、P D_o を示している。図 4 b は、第 1、第 2 の偏光マニピュレータ P M 1 と P M 2 の間における光線 R に関する電界ベクトル 5 2 を示している。電界ベクトル 5 2 は、図 4 b に円形矢印 5 4 によって示されているように、伝播方向の周りの円を描く動きとなる。電界ベクトル 5 2 の回転の方向は、第 1 の偏光マニピュレータ P M 1 内に含まれている 1 / 4 波長プレートの主軸と、入射光の偏光方向 P D_i の関係に依存する。

40

【 0 0 6 3 】

電界ベクトル 5 2 の高速回転に起因して、レンズ L 1、L 2 と第 2 の回折光学エレメント 3 0 を通るすべてのポイントは、一様な偏光方向の分配を経験する。優先される偏光方向が存在しないので、レーザ 1 4 によって放出される高輝度の光が、最終的に光学的複屈折をもたらす光学材料内における一様でなく分布された密度変動を生じさせることはでき

50

ない。このことは、その材料が、高輝度の光によってもたらされる劣化をまったく受けないということを意味していない。しかしながら、それらの劣化が等方性であり、その結果、その材料の光学特性の変化があったとしても、それも等方性になる。したがって、2つの偏光マニピュレータPM1、PM2の間に配置されたすべての光学エレメント内において、異方性効果である偏光誘起複屈折が生じることができない。

【0064】

ここで理解する必要があるが、これまで説明した実施形態は種々の方法で修正できる。たとえば照明システム10が、その出口側において同一でなく、異なる直線偏光状態とすることが必要である場合には、たとえば追加の半波長プレートを適切に配向することによってそれを達成することができる。その種の半波長プレートを、単一のエレメントを構成するように第2の偏光マニピュレータPM2内に組み込むこともできる。たとえば、照明システム10の入力と出口側における偏光状態を直交させる場合には、第1、第2の偏光マニピュレータPM1、PM2とともに1/4波長プレートとするか、あるいはともに3/4波長プレートとすればよい。

【0065】

また、2つの偏光マニピュレータPM1、PM2の間における光線Rの偏光状態が正確に円形であることに絶対的な必要性はない。多くの場合には、わずかな楕円偏光状態もまた、非常に良好な範囲で偏光誘起複屈折の発生を防止する。許容可能な楕円の程度は、偏光マニピュレータPM1、PM2の間の光学エレメントに求められる寿命に依存する。

【0066】

さらにまた、それぞれの回折光学エレメント18、30の後に投影光の発散が増加することから、偏光マニピュレータPM1、PM2として使用される波長プレートは、各エレメントによって導入される360°の位相シフトの数に関して異なることがある。光軸と、第1の回折光学エレメント18から発出する光線の間に形成される角度が比較的小さいことから、第1の偏光マニピュレータPM1のために多次の1/4波長プレートを使用することができる。第2の回折光学エレメント30の後では、通常、これらの角度がかなり大きくなる。したがって、第2の偏光マニピュレータPM2としてゼロ次、擬似ゼロ次、または少なくとも低次の波長プレートを使用することが必要となる。

【0067】

図5は、図3と類似の例示により、照明システムについての第2の実施形態を示している。図5に例示されている全体が210によって示される照明システムは、偏光マニピュレータPM21、PM22を含むが、その偏光マニピュレータPM21、PM22が光学的アクティビティの効果を発揮する液晶であるという点において第1の実施形態の偏光マニピュレータPM1、PM2と異なる。材料の特定の軸に沿って光線が伝播するとき、直線光の光線の振動面が連続回転を受ける場合に、その材料は光学的にアクティブであると言う。いくつかの光学的にアクティブな材料を用いると、回転の角度が材料内のパスの長さだけでなく、液晶がさらされる電界にも依存する。回転角度をコントロールするこのアプローチは、たとえば、一般的な液晶ディスプレイ(LCD)において広く利用されている。

【0068】

したがって、照明システム210の偏光マニピュレータPM21、PM22は、それぞれ液晶のほかに電極のペアを含み、その結果、各液晶を概略均質な電界にさらすことができる。電界強度は、コントロール・ユニット256を使用してコントロール電圧を修正することによって変化させることが可能である。

【0069】

次に照明システム210の機能について、図6、7を参照して説明する。図6は、第1の偏光マニピュレータPM21から出た後の光線Rの偏光方向PD_mを実線として示している。偏光方向PD_mは、第1の偏光マニピュレータPM21に入る前の光線Rの偏光方向PD_iに対して、伝播方向の周りにθの回転を受けている。2つの偏光マニピュレータPM21、PM22の間に、偏光状態を変更する光学エレメントが存在しないので、光線

R は、回転された偏光方向 $P D_m$ を有したまま第 2 の偏光マニピュレータ $P M 2 2$ に入射する。

【 0 0 7 0 】

コントロール・ユニット 2 5 6 は、第 2 の偏光マニピュレータ $P M 2 2$ に含まれている液晶に対して、オリジナルの偏光状態が復元されるような電圧を印加する。したがって、マスク M 上に入射する光は、第 1 の偏光マニピュレータ $P M 2 1$ 上に入射する光と同一の偏光状態を有する。偏光マニピュレータ $P M 2 1$ 、 $P M 2 2$ の間の光学材料が複屈折となることを回避するため、照明システム 2 1 0 の動作の間にわたって角度 θ が変更される。

【 0 0 7 1 】

この変更をどのようにすれば実現できるかについては、多くの異なる可能性が存在する。

10

【 0 0 7 2 】

図 7 は、回転角 θ が時間 t の関数として示されたグラフである。この例においては、コントロール・ユニット 2 5 6 が第 1 の偏光マニピュレータ $P M 2 1$ 内の液晶に印加される電圧を、偏光方向が直線的に 90° まで増加し、続いて直線的に 0° まで逆転し、その後再び 90° まで増加するという形で続くようにコントロールする。図 5 においては、 90° の回転を受けた偏光方向（すなわち、紙面に対して直交する方向）が記号 5 9 によって示されている。この時間変化の結果、回転角が 0° と 90° の間に一様に分散される。この角度 θ の範囲は、複屈折の遅軸がその速軸と直交することから充分である。偏光方向が 0° と 90° の間のこの角度範囲を超えてスイープすると、速軸と遅軸のいずれも、直線偏光された光線 R によって材料へ『燃え尽きる』ことが不可能になる。

20

【 0 0 7 3 】

図 8 は、照明システムの第 3 の実施形態を示しており、その全体が 3 1 0 によって示されている。この照明システム 3 1 0 においては、それぞれが半波長プレートと当該半波長プレートに光軸 O A 周りに回転角 θ の回転を与えるアクチュエータを含む偏光マニピュレータ $P M 3 1$ 、 $P M 3 2$ が使用される。図 8 においては、アクチュエータが 2 つのモータ M 1、M 2 によって示されている。半波長プレートの回転は、図 8 において、円形の矢印 5 8、6 0 によって示されている。

【 0 0 7 4 】

すでに述べたように半波長プレートは、直線偏光された光の偏光方向に θ の回転を与える効果を有する。角度 θ は、半波長プレートの主軸と入射光の偏光方向の間における角度の 2 倍のサイズを有する。また、この実施形態においては、第 2 の偏光マニピュレータ $P M 3 2$ の半波長プレートが、オリジナルの偏光方向が復元されるように配向される。コントロール・ユニット 3 5 6 が、 0° と 45° の間の範囲の角度でこれらの半波長プレートが同期して回転するようにモータ M 1、M 2 をコントロールする場合には、第 2 の実施形態について図 7 に示した効果と同一の効果を達成することができる。

30

【 0 0 7 5 】

図 9 は、図 7 に示したものと類似のグラフを示している。実線は角度 θ の変化、すなわち第 1 の偏光マニピュレータ $P M 3 1$ 内における偏光状態が、照明システム 3 1 0 の動作時間 t の間にわたって回転させられる角度の変化を表している。破線は、半波長プレートが回転させられる角度 θ である。両方の半波長プレートが同一の方向に連続して回転すると、2 つの偏光マニピュレータ $P M 3 1$ 、 $P M 3 2$ の間における偏光方向 $P D_m$ の回転が半波長プレートの角周波数の 2 倍になるという結果がもたらされる。

40

【 0 0 7 6 】

図 1 0 は第 4 の実施形態に従った照明システムを示しており、その全体が 4 1 0 によって示されている。照明システム 4 1 0 は、交換ホルダ 2 9 内に第 3 の偏光マニピュレータ $P M 3$ が挿入されているという点だけが照明システム 2 1 0 と異なる。第 3 の偏光マニピュレータ $P M 3$ は、図 1 1 に略図的に示されているとおり、一様な直線偏光分布を放射状偏光分布に変換する。放射状偏光分布は、各光線が直線偏光されているが、光線 R が第 3 の偏光マニピュレータ $P M 3$ を通過するポジションに応じて偏光方向が異なるという点が

50

一様な直線偏光分布と異なる。偏光方向は、各ポジションについて、第3の偏光マニピュレータPM3の中心を通っている光軸に向いている。

【0077】

このため第3の偏光マニピュレータPM3は、エレメントのエリア全体にわたって分布する複数の六辺形半波長プレートを含むことができる。この種の偏光マニピュレータについての詳細は、特許文献5に記述されており、その内容は、参照によりこれに援用されている。第3の偏光マニピュレータPM3として使用できる別の光学エレメントは、米国特許出願第60/537,327号に開示されており、それについては、図23~25を参照して簡単な説明を後述する。この先の出願の完全な開示は、参照によりこれに援用される。

10

【0078】

第3の偏光マニピュレータPM3は、明確かつ一様な直線偏光状態を、その入力側において必要とすることから、図7に示されるような方法で偏光方向を連続的に回転させることができない。しかしながら、偏光マニピュレータPM41、PM42内に含まれる液晶がコントロール・ユニット456によってコントロールされ、図12に略図的に示されているように、それらが同期して0°と90°の回転角度の間で切り替えられる場合には、第3の偏光マニピュレータPM3が、オリジナルの一様な直線偏光状態を有する光またはオリジナルに直交する一様な直線偏光状態を有する光のいずれかにさらされる。

【0079】

第1の偏光マニピュレータPM41によって偏光方向が変えられない場合には、第3の偏光マニピュレータPM3が、接線状偏光分布を生成する。第2の偏光マニピュレータPM42が偏光方向を回転させないので、マスクMが、接線状偏光状態を有する光によって照明される。しかしながら、第1の偏光マニピュレータPM41が偏光方向を90°回転させる場合には、第3の偏光マニピュレータPM3が放射状偏光分布を生成する。この、すべての偏光方向が放射方向に走る放射状偏光分布は、その後、第2の偏光マニピュレータPM42内において追加の90°の回転を受ける。この場合においても、結果として望ましい接線状偏光分布がもたらされる(図10参照)。

20

【0080】

したがって、照明システム410は、連続的ではなく、90°の離散的な値で断続的に偏光方向を回転させる。同様にこれも、偏光マニピュレータPM41、PM42の間の光学材料内における複屈折を防止するために充分である。その理由は、直交する直線偏光方向を有する2つの光線によって誘起される密度変動もまた直交することである。したがって、光学材料内に複屈折が生じ得ず、2つの直交する偏光状態は、常に同一の屈折率を経験することになる。

30

【0081】

偏光回転子としての液晶の使用は、偏光方向をほとんど瞬時に回転させることが液晶によって可能になることから、この実施形態の場合に特に有利である。したがって、続いて生じる露光の間の短い中断においてさえも、偏光マニピュレータPM41、PM42の間の偏光方向が回転することが可能になる。

【0082】

40

いくぶん遅くはなるが、断続的に偏光方向に90°の回転を与える別のアプローチを図13に示す。第5の実施形態に従ったこの照明システムには、その全体が510により示されているが、それぞれが交換ホルダ571、572、2つの半波長プレートをそれぞれ含む半波長プレート581と回転子582、アクチュエータ591、592をそれぞれ含む偏光マニピュレータPM51、PM52が備えられている。アクチュエータ591、592は、コントロール・ユニット556に接続されており、それによって、図13に矢印596により示されるとおり、半波長プレート581および回転子582を交換ホルダ571、572内にそれぞれ挿入し、かつそこから取り除くことができるようにアクチュエータ591、592をコントロールすることが可能になる。

【0083】

50

半波長プレート 581 と回転子 582 が、図 13 の破線によって示されるように光線のパス外のポジションにある場合には、レーザ 14 によって提供される一様な直線偏光状態が、第 3 の偏光マニピュレータ PM3 に光線が入射するまで維持されることになる。これらの一様な偏光分布は、図 10、11 を参照して説明を前述したとおり、接線状偏光分布に変換される。第 2 の半波長プレート 582 もまた光線のパス外にあることから、投影光は、接線状偏光分布を伴ってマスク M 上に入射することになる。

【0084】

コントロール・ユニット 556 のコントロール・コマンドに応答して、アクチュエータ 591、592 が、半波長プレート 581 と回転子 582 をそれぞれの交換ホルダ 571、572 内へ移動させる。半波長プレート 581 の主軸は、偏光方向に 90° の回転が生じるように配置される。回転子 582 は、偏光方向を 90° 回転させるべく構成される。この効果は、図 10 ~ 12 を参照して前述した液晶を使用する偏光方向の回転によって達成されるものに同一である。

【0085】

図 14 は、第 6 の実施形態に従った照明システム 610 を示している。照明システム 610 もまた第 3 の偏光マニピュレータ PM3 を含んでおり、それが交換ホルダ 29 内に挿入されている。前述した実施形態とは異なり、この照明システム 610 は、2 ペアの偏光マニピュレータ、すなわちマニピュレータ PM611 と PM612 の第 1 のペア、およびマニピュレータ PM621 と PM622 の第 2 のペアを含む。第 3 の偏光マニピュレータ PM3 は、電界ベクトルが振動する方向の時間的变化によって影響を受けないように、これら 2 ペアの偏光マニピュレータの間に配置されている。したがって、第 3 の偏光マニピュレータ PM3 の直前における投影光束の偏光分布は、常に、第 3 の偏光マニピュレータ PM3 によって求められる形式を有することができる。

【0086】

各ペアの偏光マニピュレータ PM611、612 と 621、622 は、これまで述べたうちの任意の実施形態に従って実現することができる。図示の実施形態においては、第 1 のペアの偏光マニピュレータ PM611、PM612 が、図 3 に示した第 1 の実施形態を参照して説明した態様で $1/4$ 波長プレートと $3/4$ 波長プレートをそれぞれ含んでいる。第 2 のペアの偏光マニピュレータ PM621、PM622 は、2 つの半波長プレートをそれぞれ含んでおり、それらは、両方のプレート的主軸が、それらの間に 45° の角度を形成するように配置されている。この種の 2 つの半波長プレートの組み合わせは、入射光の偏光方向が未知であるか、変化する場合であっても、偏光方向の方向に 90° の回転が与えられることを保証する。

【0087】

図 15 は、第 7 の実施形態に従った照明システム 710 を示している。偏光マニピュレータを有する代わりに、照明システム 710 は、全体が 740 として示されるアクチュエータを含む。アクチュエータ 740 は、レンズ L1、L2 を、光軸 OA に一致するそれらの共通回転対称軸周りに回転させることを可能にする。

【0088】

このためアクチュエータ 740 は、モータ m によって回転される歯付きローラ 742 を含む。レンズ L1、L2 の外周には、歯付きホイール・リム 744、746 が取り付けられている。歯付きホイール・リム 744、746 は、歯付きローラ 742 とともに、歯車係合を構成し、それが、モータ m とレンズ L1、L2 の間の伝達を提供する。したがって、モータ m の付勢は、レンズ L1、L2 の共通回転対称軸周りの回転をもたらす。

【0089】

モータ m は、コントロール・ユニット 748 に接続されており、それによりあらかじめ決定済みのコントロール・パターンに従ってモータ m をコントロールすることが可能になる。図示の実施形態においてはこのパターンが、照明システム 710 の露光動作の間にわたって、レンズ L1、L2 が連続的に、ゆっくりと回転されるように設定される。これは、偏光方向 PD_i を有する直線偏光された光によって、レンズ L1、L2 が作られている

10

20

30

40

50

材料内に偏光誘起複屈折が生じ得ないことを保証する。これは、レンズL1、L2の連続的な回転に起因して、偏光方向PD_iとレンズL1、L2の材料の間に固定された空間的關係が存在しないことによる。

【0090】

コントロール・ユニット748は、上記に代えて、照明システム710の露光動作期間と露光動作期間の間の一時停止間にのみレンズL1、L2が回転されるような方法でモータmをコントロールすることもできる。これは、光学エレメントが回転対称性を有してなく、多重対称性だけを有している場合に有利である。すなわち、光学エレメントの形状が任意角度の回転の下に一樣性を保つのではなく、特定の角度、たとえば90°の回転の下に一樣性を保つことを意味する。この場合、その光学エレメントの光学特性は、特定の角

10

【0091】

照明システムの動作の間にレンズL1、L2が連続的に回転させられない場合には、最終的には複屈折をもたらす偏光誘起密度変動を完全に防止できないこともあり得る。しかし、アクチュエータ740の補助によってレンズL1、L2に90°またはその奇数倍の回転を与えると、少なくとも実質的に対称な密度変動を達成することは可能である。

【0092】

この状況が、XVI XVI線に沿った照明システム710の断面が示されている図16に例示されており。両方向矢印PD_iは、入射光の偏光方向を示す。参照番号750は、レンズL2と固定的に関連付けられた基準方向を示す。レンズL1、L2が、照明システム710の動作期間と動作期間の間における一時停止の間に、矢印752によって示されるように90°の回転角度で回転した場合には、続いて生じる基準方向750が偏光方向PD_iに一致する動作期間の間に、レンズL2（およびレンズL1）が入射光にさらされることになる。これは、その前と同様に密度変動を誘起するが、方向が直交する。2つの角度ポジションの間における動作期間の持続時間が同一であれば、複屈折が生じない。

20

【0093】

モータmのコントロールについては、このほかの種々のコントロール・パターンが可能であることを理解すべきである。たとえば、レンズL1、L2を照明システム710の動作の間に、レンズL1、L2の合計の回転角度が90°となるまで、10°の回転角度で断続的にレンズL1、L2を回転させることも可能である。その後、レンズL1、L2が、それらのオリジナルのポジションに戻るまで、同一の手順を逆行させればよい。偏光誘起密度変動のある種の『ぼかし』は、最大回転角度が45°に満たない場合であっても達成することができる。これが、偏光誘起複屈折の発生の抑圧に充分となることもある。

30

【0094】

図17aは、本発明の第8の実施形態に従った投影露光装置PEA2のメリジナル平面の断面図を極めて簡略化して示している。

【0095】

投影露光装置PEA2は、810として示されている照明システムが、さらに半波長プレート811を含み、それをレーザ14によって放射される光線のパス内に挿入できるという点において図1、2に示されている投影露光装置PEAと異なる。このため、照明システム810内にアクチュエータ812が備えられ、その機能がコントロール・ユニット813によってコントロールされる。半波長プレート811は、放射された光の偏光方向に関して、半波長プレート811が光線のパス内に挿入された場合には、この偏光方向が90°の回転を受けるように配向される（両方向矢印814参照）。

40

【0096】

投影露光装置PEA2は、さらに全体が816として示されているシャッタを含む。シャッタ816は、投影レンズPL8の最後のレンズL82と、フォトレジストPRの間に配置されており、適切なアクチュエータ（図示せず）の補助によって光線のパス内に移動

50

することができる2つの可動ブレード818、820を含む。投影露光装置用のシャッタが概してこの分野で公知であることから、ここではこれ以上の詳細を論じない。

【0097】

図17aは、投影モードの投影露光装置PEA2を示している。このことは、レーザ14によって放射される光線の直線偏光が投影露光装置PEA2の光学部品全体を通じて、その光線がフォトレジストPR上に入射するまで維持されることを意味する。この固定された直線偏光状態を伴う動作の間に、レーザ14とフォトレジストPRの間に配置された少なくともいくつかの光学エレメント内に偏光誘起密度変動が生じることがある。補償をまったく伴わない場合には、これらの密度変動が最終的に複屈折をもたらすことになる。

【0098】

図17bは、補償モードの投影露光装置PEA2を示している。補償モードにおいては、アクチュエータ812によって半波長プレート811が光線のパス内に挿入され、その結果、オリジナルの偏光方向が90°回転する。図17bでは、この回転した偏光方向が記号822によって示されている。光線が照明システム810と投影レンズPL8内に配置された種々の光学エレメントを通り抜ける間にわたって、この偏光方向が有意の変更を受けないことを前提とすると、レーザ14によって放射される光は、このとき、密度変動の補償を誘起する補償光として作用する。このことは、補償モードにおいて光線によって誘起される密度変動が、投影モードにおいて誘起される密度変動に対して直交することを意味する。投影露光装置PEA2が、投影モードと補償モードにおいて等しい持続時間にわたって動作する場合には、複屈折が生じ得ない。

【0099】

補償モードの光がフォトレジストPR上に入射することを防止するため、最後のレンズL82を通過した光が投影レンズPL8から出ることができないようにシャッタ816を作動させる。シャッタ816は、コントロール・ユニット813に接続されており、その動作を照明システム810内における半波長プレート811の挿入と同期させることができる。

【0100】

図18aと18bは、最後のレンズL82上の特定ポイント上の光線の、投影モードと補償モードにおける偏光方向830、832をそれぞれ示している。明確にわかるとおり、当該特定ポイントに入射する光は、すべて、同一の偏光方向を有し、直線偏光されている。補償モードにおいては、すべての偏光方向が90°回転し、その結果、その特定ポイントが、投影モードと比較した場合に直交する偏光方向を有する直線偏光された光にさらされる。

【0101】

レンズL82の第2のポイントにおいては、図19aと19bに示されるように、物理的な条件が、より複雑なものとなる。ここで、第2のポイントを通る光線が結合されて、結果として得られる偏光状態が、支配的な包括的偏光方向834を伴う楕円偏光として記述できると仮定する。包括的偏光方向は、この場合、楕円の長軸である。この種の直線偏光状態からの逸脱は、たとえば、中間の複屈折光学エレメントによって生じる。図19aにおいて、偏光状態の楕円は、密度変動を誘起するに十分な大きさであると仮定する。

【0102】

図19bは、補償モードにおける第2のポイントの状態を示している。ここでも、包括的な偏光状態が楕円であるが、図19bに、矢印836によって示されている、その楕円の長軸によって与えられる支配的な包括的偏光方向が、45°より大きい角度だけ回転している。半波長プレート811によって誘起される90°の角度からのずれは、中間の複屈折光学材料によっても生じることがある。しかしながら、投影モードにおける支配的な包括的偏光方向834が、45°を超えて回転することから、この補償モードにおいても補償効果が得られる。

【0103】

図20は、PEA3として示した投影露光装置の第9の実施形態を示している。投影露

10

20

30

40

50

光装置 P E A 3 は、追加のレーザ 9 1 4 を含んでおり、それが、フォトレジスト P R が敏感でない波長を有する補償光を放出する。したがって、投影露光装置 P E A 3 の通常の露光動作の間に補償を行うことができる。このために追加のレーザ 9 1 4 によって放出される光は、レーザ 1 4 によって放射される光の方向と直交する偏光方向を有する。レーザ 1 4 と追加のレーザ 9 1 4 によって放射される光は、片側ミラー付きエレメントとして具体化された結合器 9 3 0 に補助されて結合される。

【 0 1 0 4 】

図 2 1 は、図 2 と類似の表現により極めて簡略化して示した、本発明の第 1 0 の実施形態に従った投影露光装置を示している。投影露光装置 P E A 4 の照明システム 1 0 1 0 は、片側ミラー付きのディバイダと結合器、平面ミラー、半波長プレート 1 0 1 4 を含むア
10
レンジメント 1 0 1 2 を含む。このアレンジメント 1 0 1 2 は、入射光の強度の約半分を分離し、その偏光方向を 9 0 ° 回転し、この分岐と、偏光方向が変更されていないオリジナルの光を結合する。その結果、アレンジメント 1 0 1 2 から出る光は、直交する偏光方向を伴う 2 つの直線偏光状態を含む。これは、照明システム 1 0 1 0 内のその後に続く光学エレメント内に偏光誘起複屈折が生じないことを保証する。光がマスク M 上に入射する前に、一方の偏光方向が、偏光フィルタ 1 0 1 6 によって投影光から取り除かれる。

【 0 1 0 5 】

図 2 2 は、第 1 1 の実施形態に従った照明システムの第 1 の動作モードを示している。全体が 1 1 1 0 によって示されるこの照明システムは、図 1 0、1 3 及び 1 4 に示されて
20
いる照明システムと同様に第 3 の偏光マニピュレータ P M 1 1 3 を含み、接線状偏光分布を生成することが意図されている。しかしながら、第 3 の偏光マニピュレータ P M 1 1 3 は、以下から明らかになるとおり、放射状または接線状の偏光分布のいずれも生成しない。まず、図 2 3 ~ 2 5 を参照して第 3 の偏光マニピュレータ P M 1 1 3 の構造について説明する。

【 0 1 0 6 】

第 3 の偏光マニピュレータ P M 1 1 3 は、その斜視図を図 2 3 に示すが、光学的アクティビティの効果を発揮する結晶 1 1 0 1 を含む。約 1 8 0 n m ~ 8 0 0 n m の間の範囲の波長については、結晶 1 1 0 1 として結晶質石英 (S i O ₂) を使用することができる。
30
より長い波長については、A g G a S ₂ または T e O ₂ といった別の結晶を使用することができる。直線偏光された光線が、結晶質石英内を、その光学軸に対して平行に進むと、偏光方向が、結晶学的構造に応じて時計方向または反時計方向に回転する。図示の実施形態においては、石英結晶が偏光方向を時計方向に回転することが仮定されている。右周りの回転を導入する材料は、一般的に d 旋光性と呼ばれる。結晶質石英の旋光能力は、1 9 3 n m の波長において、3 2 5 . 2 + / - 0 . 5 ° / m m である。

【 0 1 0 7 】

直線偏光された光が光学的にアクティブな結晶内を、その光学軸と平行に進むと、結晶内を光線が通過した幾何学的パス長だけに依存する角度で偏光方向が回転されることになる。異なる光線を異なる角度で回転させる必要がある場合には、適切な厚さの結晶 1 1 0 1 のプロファイルを選択することによってそれを達成できる。その場合、光線が結晶内をその光学軸と少なくとも概略平行に伝播することだけが保証される必要がある。通常、瞳
40
平面 2 8 を通過する光線が照明システム 1 1 1 0 の光軸 O A と小さい角をなすことから、このことは、結晶の光学軸を光軸 O A と平行に整列させる必要があることを意味する。

【 0 1 0 8 】

図 2 3 に示されている実施形態においては、結晶 1 1 0 1 が、実質的にディスク形状であり、平坦なベース表面 1 1 0 3 と、その反対側の 2 つのエリア 1 1 0 5 a、1 1 0 5 b も分割されたトップ表面を有する。第 3 の偏光マニピュレータ P M 1 1 3 のエレメント軸 E A は、光学軸 1 1 0 1 と平行に整列され、照明システム 1 1 1 0 の光軸 O A と一致する。エレメント軸 E A と垂直に、エレメント軸 E A と交差し、アジマス角 の基準軸として機能する基準軸 R A を定義することができる。図 2 3 の例示においては、2 つのエリア 1 1 0 5 a、1 1 0 5 b に、それぞれ 0 ° から 1 8 0 ° まで、および 1 8 0 ° から 3 6 0 °
50

までのアジマス角範囲が割り当てられている。

【0109】

エレメント軸EAに対して垂直であり、かつ基準軸RAと角度 θ をなす任意の半径 r に沿って、結晶1101は、一定の厚さ d を有する。この『厚さ』という用語は、結晶1101の、その光学軸に沿ったかさに関係する。したがって、結晶1101の厚さプロファイルは、純粹にアジマス角 θ の関数であり、エレメント軸EAからの半径方向距離の関数ではない。

【0110】

結晶1101の中心には、ボア1107が備わっており、それによって結晶1101の取り扱いが簡単になる。さらに第3の偏光マニピュレータPM113は、結晶1101を支えるマウント1109を含む。

10

【0111】

図24は、 $\theta = 0^\circ$ から $\theta = 360^\circ$ までのアジマス角範囲にわたる結晶1101の厚さプロファイル $d(\theta)$ を例示したグラフである。図24からわかるように、厚さは、 $\theta = 0^\circ$ から $\theta = 180^\circ$ までの間、最小の厚さ d_{\min} から最大の厚さ d_{\max} まで直線的に増加している。結晶1101のこの部分は、トップ表面のエリア1105aに対応する。角度 $\theta = 180^\circ$ においては、厚さが d_{\max} から d_{\min} に落ちることから厚さプロファイルにステップが存在し、その後は、角度が $\theta = 360^\circ$ に到達するまで、再び d_{\min} から d_{\max} まで直線的に増加する。この第2の部分は、エリア1105bに対応する。角度 $\theta = 360^\circ$ 、すなわちエリア1105bと1105aの間には、再び厚さプロファイルにステップが存在する。

20

【0112】

図25は、代替厚さ分布 $d'(\theta)$ を示したグラフである。この厚さ分布 $d'(\theta)$ は、結晶1101が d 旋光性ではなく l 旋光性である場合、すなわち通り過ぎる光線の偏光方向を反時計方向に回転する場合に、図24に示されている厚さ分布 $d(\theta)$ と同じ物理的効果を達成する。これは、図25に示されているようにアジマス角 θ の増加に伴って反時計方向の回転を減ずることが、事実上、図24に示されるような時計方向の回転の増加を意味するという効果による。

【0113】

再度図22を参照するが、さらに照明システム1110は、第1の偏光マニピュレータPM111を含み、そこには、交換ホルダ1171、回転子1181、アクチュエータ1191が含まれている。アクチュエータ1191は、コントロール・ユニット1156に接続されており、それによってアクチュエータ1191を、図22内に両方向矢印1196によって示されるように、交換ホルダ1171内への回転子1181の挿入と、そこからの取り出しが可能となるようにコントロールすることができる。

30

【0114】

回転子1181は、図示の実施形態においては、一定の厚さを有する光学的にアクティブな結晶であり、その厚さは、 90° の偏光方向の回転が達成されるように決定される。それに代えて、回転子1181が単一の半波長プレートを含み、その光学軸が入射光の初期偏光方向に対して 45° をなすようにしてもよい。

40

【0115】

第2の偏光マニピュレータPM112は、半波長プレート1198および、半波長プレート1198を照明システム1110の光軸OA周りに少なくとも 45° 回転するためのモータM11を含む。モータM11は、コントロール・ユニット1156によってコントロールされる。

【0116】

図22に示されている第1の動作モードにおいては、回転子1181が交換ホルダ1171から引き出され、その結果、入射光がその初期偏光方向 PD_i を維持する。これが図26に示されており、そこには、照明システム1110の光軸OAに沿った種々の位置P1、P2、P3、P4における瞳全体にわたる偏光分布を図式的に例示されている。図2

50

2に矢印によって示されているとおり、参照番号P 1は、第1の偏光マニピュレータPM 1 1 1の直前のポジションを表す。参照番号P 2およびP 3は、それぞれ第3の偏光マニピュレータPM 1 1 3の直前および直後のポジションに対応する。参照番号P 4は、第2の偏光マニピュレータPM 1 1 2の直後のポジションに対応する。

【0 1 1 7】

ここで、投影光束が瞳平面2 8の環状領域のみを通過するように照明システム1 1 1 0が設定されているものと仮定する。これは、たとえば図2に示されているようにアキシコン・エレメント2 7 a、2 7 bを離すことによって達成することができる。その結果、図2 6に示されている瞳にわたる偏光分布についても環状領域に制限される。回転子1 1 8 1が引き出される第1の動作モードでは、位置P 2において、すなわち第3の偏光マニピュレータPM 1 1 3の直前において、投影光が初期の偏光方向PD_iを伴って完全に直線偏光されたままとなる。このとき、第3の偏光マニピュレータPM 1 1 3が、結晶1 1 0 1を光線が通過する場所に応じて偏光方向を回転する。

【0 1 1 8】

照明システム1 1 1 0において結晶1 1 0 1が、基準軸RAが紙面内に横たわるように配向されているとすれば、これが結果として位置P 3に示される偏光分布をもたらす。この偏光分布は、放射状と接線状の偏光方向が交番する四重対称性によって特徴付けされる。図示の構成においては、接線状偏光がアジマス角0°、90°、180°、270°において達成され、放射状偏光がアジマス角45°、135°、225°、315°において達成される。結晶1 1 0 1が直線的な厚さプロファイルを有することから、偏光方向が接線方向と放射方向の間において連続的に変化する。結晶1 1 0 1がステップ状の厚さプロファイルを伴って設計されている場合には、偏光方向が滑らかにならず、放射状偏光方向と接線状偏光方向の間においてステップ状に変化する。

【0 1 1 9】

図2 2に示されている第1の動作モードにおいては、半波長プレート1 1 9 8が、その光学軸が初期偏光方向PD_iと平行に走るような角度ポジションにある。図2 6にはこれが軸の向きAOによって略図的に示されている。この向きにおいては、半波長プレート1 1 9 8が位置P 3における偏光分布を、位置P 4について示されているとおりのマスクMに望ましい接線状偏光分布に変換する。これは、事実上、半波長プレートがその光学軸において偏光方向のミラーリングを行うことを考えれば容易に理解することができる。

【0 1 2 0】

図2 7に、照明システム1 1 1 0の第2の動作モードを示す。コントロール・ユニット1 1 5 6によって開始されるこの第2の動作モードにおいては、回転子1 1 8 1がアクチュエータ1 1 9 1を介して交換ホルダ1 1 7 1内に挿入される。それに加えて、半波長プレート1 1 9 8がモータM 1 1によって45°回転させられる。第3の偏光マニピュレータPM 1 1 3の角度ポジションは変更されない。

【0 1 2 1】

図2 8は、第2の動作モードにおける偏光分布を、図2 6に類似の表現を用いて示している。回転子1 1 8 1の挿入に起因して、位置P 2、すなわち第3の偏光マニピュレータPM 1 1 3の直前における偏光方向は、この場合90°の回転を受ける。第3の偏光マニピュレータPM 1 1 3は、この偏光分布を位置P 3に示されている偏光分布に変換する。この偏光分布は、図2 6に示されている位置P 3の偏光分布を、すべての偏光方向を90°回転することによって得ることができる。

【0 1 2 2】

図2 8には、回転された半波長プレート1 1 9 8の光学軸の向きAO'が略図的に示されている。この回転された軸の向きAO'に起因して、位置P 3における偏光分布は、この場合にもマスクMの近傍において接線状偏光分布に変換される。したがって、照明システム1 1 1 0は、両方の動作モードにおいて接線状偏光分布を得ることが可能であり、しかも第1、第2の偏光マニピュレータPM 1 1 1、PM 1 1 2の間における偏光方向を交番させる。

【 0 1 2 3 】

図 1 3 に示されている第 5 の実施形態とは対照的に、照明システム 1 1 1 0 は、第 2 の偏光マニピュレータ P M 1 1 2 用に半波長プレートを一つだけしか必要としない。この半波長プレート 1 1 9 8 は、ゼロ次のプレートとして構成することができる。これは、位置 P 4 において生じる、より大きな入射角の観点から有利である。同じ理由から、入射角に応じて幾何学的パス長が異なるため、照明システムのこの部分に光学的にアクティブな結晶の使用は困難である。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 1 2 4 】

【 図 1 】 照明システムを含む投影露光装置の簡略化した斜視図である。

10

【 図 2 】 偏光マニピュレータとして 1 / 4 波長プレートと 3 / 4 波長プレートを含む図 1 の照明システムを通る断面を示したメリジナル平面の断面図である。

【 図 3 】 図 2 の照明システムを、さらに簡略化して示した説明図である。

【 図 4 】 照明システムの入口側の偏光方向を示した説明図 (a)、円偏光された光の電界ベクトルを示した説明図 (b)、照明システムの出口側の偏光方向を示した説明図 (c) である。

【 図 5 】 偏光マニピュレータとして液晶を含む本発明の第 2 の実施形態に従った照明システムを、図 3 と類似の態様で例示した説明図である。

【 図 6 】 液晶によってもたらされる偏光方向の回転を示した説明図である。

【 図 7 】 回転角 の時間的変化を例示したグラフである。

20

【 図 8 】 偏光マニピュレータとして半波長プレートを含む本発明の第 3 の実施形態に従った照明システムを、図 3 と類似の態様で例示した説明図である。

【 図 9 】 図 8 に示されている第 3 の実施形態について回転角 の時間的変化を例示したグラフである。

【 図 1 0 】 第 3 の偏光マニピュレータを含み、かつ液晶を偏光マニピュレータとして含む本発明の第 4 の実施形態に従った照明システムを、図 3 と類似の態様で例示した説明図である。

【 図 1 1 】 放射状偏光分布を略図的に表現した説明図である。

【 図 1 2 】 図 1 0 に示されている第 4 の実施形態について回転角 の時間的変化を例示したグラフである。

30

【 図 1 3 】 第 3 の偏光マニピュレータを含み、かつ 2 つの移動可能な偏光マニピュレータを含む本発明の第 5 の実施形態に従った照明システムを、図 3 と類似の態様で例示した説明図である。

【 図 1 4 】 2 ペアの偏光マニピュレータおよびそれらのペアの間に配置される第 3 の偏光マニピュレータを含む本発明の第 6 の実施形態に従った照明システムを、図 3 と類似の態様で例示した説明図である。

【 図 1 5 】 照明システムの動作の間に 2 つのレンズを回転するためのアクチュエータを含む本発明の第 7 の実施形態に従った照明システムを、図 3 と類似の態様で例示した説明図である。

【 図 1 6 】 図 1 5 に示されている照明システムの X V I X V I 線に沿った断面図である。

40

【 図 1 7 a 】 本発明の第 8 の実施形態に従った投影露光装置を、投影モードについてかなり簡略化して示した説明図である。

【 図 1 7 b 】 図 1 7 a の投影露光装置を、補償モードについて示した説明図である。

【 図 1 8 】 光学エレメントの第 1 のポイントにおける偏光方向を、それぞれ投影モードおよび補償モードについて示した説明図である。

【 図 1 9 】 光学エレメントの第 2 のポイントにおける偏光方向を、それぞれ投影モードおよび補償モードについて示した説明図である。

【 図 2 0 】 装置の露光動作の間に偏光誘起複屈折の補償が行われる本発明の第 9 の実施形態に従った投影露光装置をかなり簡略化して示した説明図である。

50

【図 2 1】装置の露光動作の間に照明システムの中だけで偏光誘起複屈折の補償が行われる本発明の第 1 0 の実施形態に従った投影露光装置をかなり簡略化して示した説明図である。

【図 2 2】第 3 の偏光マニピュレータを含み、かつ挿入可能な回転子を第 1 の偏光マニピュレータとして、回転可能な半波長プレートを第 2 の偏光マニピュレータとして含む本発明の第 1 1 の実施形態に従った照明システムを、第 1 の動作モードについて示した説明図である。

【図 2 3】図 2 2 に例示されている第 3 の偏光マニピュレータの斜視図である。

【図 2 4】図 2 3 に示されている第 1 のマニピュレータの厚さプロファイルを、d 旋光性の光学的にアクティブな結晶について例示したグラフである。

10

【図 2 5】図 2 3 に示されている第 1 のマニピュレータの厚さプロファイルを、l 旋光性の光学的にアクティブな結晶について例示したグラフである。

【図 2 6】光軸に沿った種々のポジションにおける瞳偏光分布を、第 1 の動作モードについて示した説明図である。

【図 2 7】図 2 2 の照明システムを第 2 の動作モードについて示した説明図である。

【図 2 8】光軸に沿った種々のポジションにおける瞳偏光分布を、第 2 の動作モードについて示した説明図である。

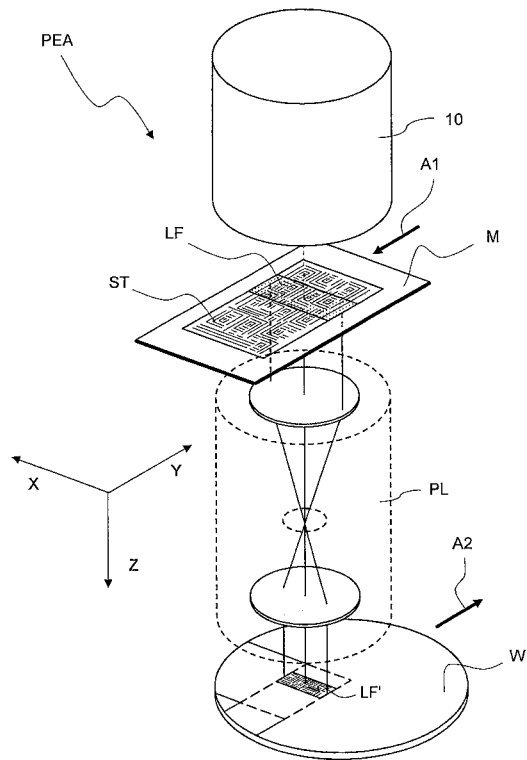
【符号の説明】

【 0 1 2 5 】

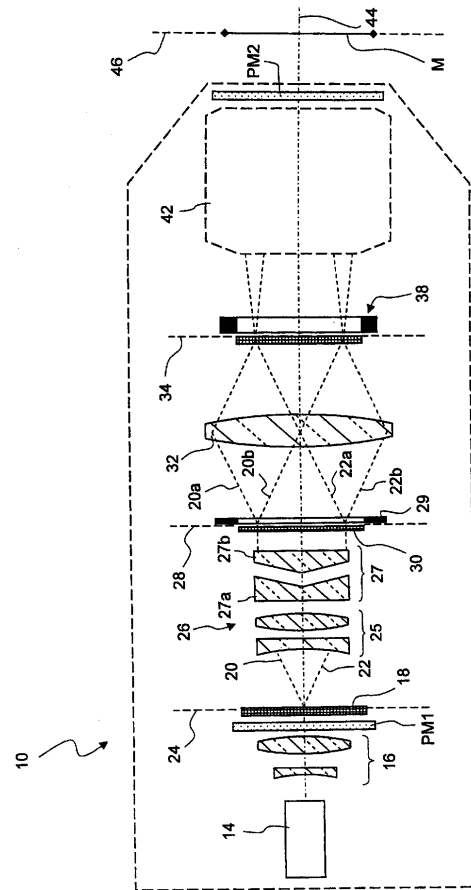
1 0 照明システム、1 4 エキシマ・レーザ、1 6 ビーム拡張ユニット、1 8 第 1 の回折光学エレメント、2 0 光線、2 0 a、b 発散した光線、2 2 光線、2 2 a、b 発散した光線、2 4 物体平面、2 5 ズーム・レンズ群、2 6 第 1 の対物レンズ、2 7 アキシコン・エレメントのペア、2 7 a アキシコン・エレメント、2 7 b アキシコン・エレメント、2 8 射出瞳平面；瞳平面、2 9 交換ホルダ、3 0 視野区画コンポーネント；第 2 の回折光学エレメント、3 2 第 2 の対物レンズ；集光レンズ、3 4 像平面、4 2 第 3 の対物レンズ、4 4 光軸、4 6 像平面

20

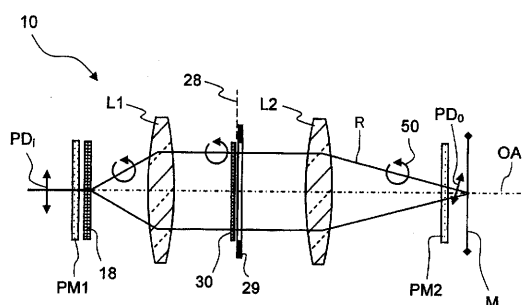
【図 1】



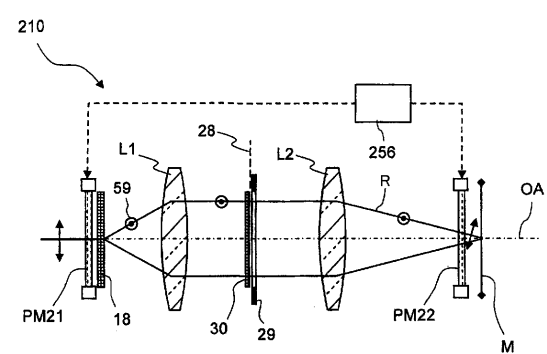
【図 2】



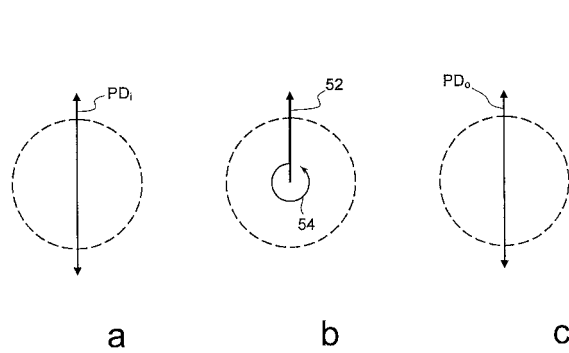
【図 3】



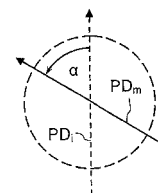
【図 5】



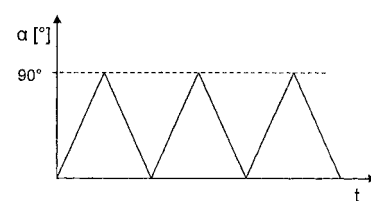
【図 4】



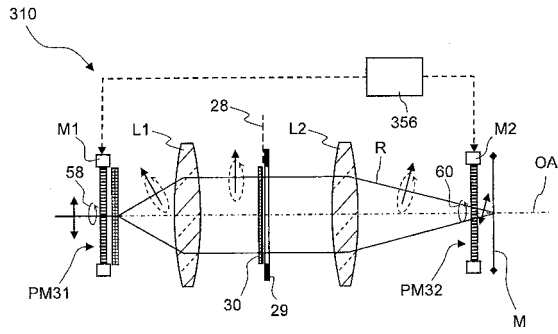
【図 6】



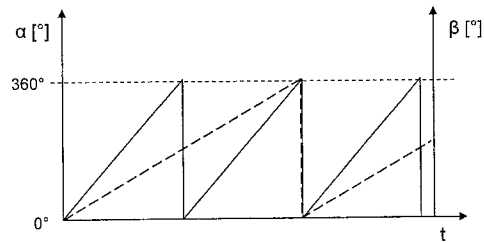
【図 7】



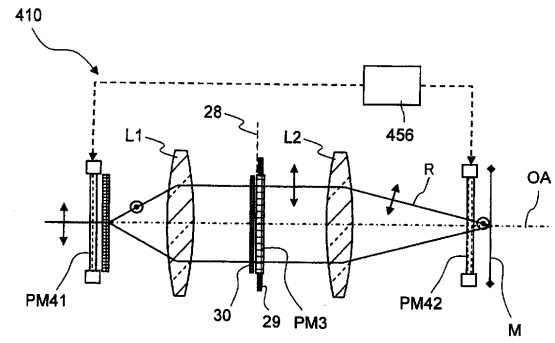
【図 8】



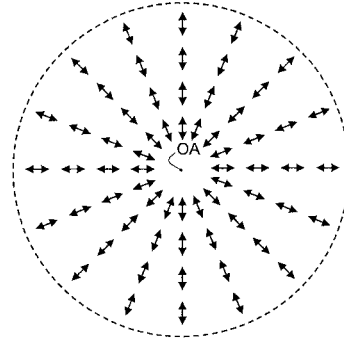
【図 9】



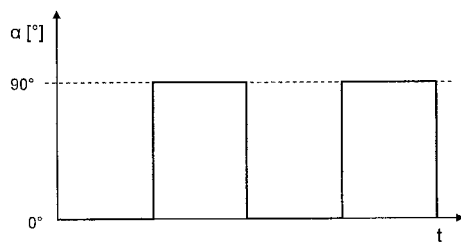
【図 10】



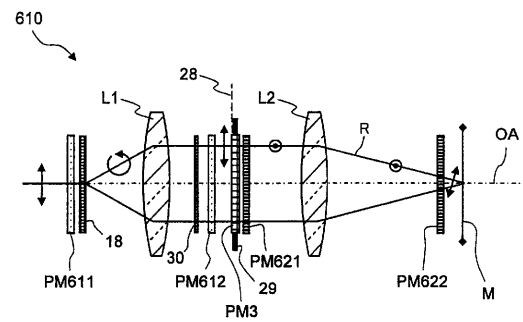
【図 11】



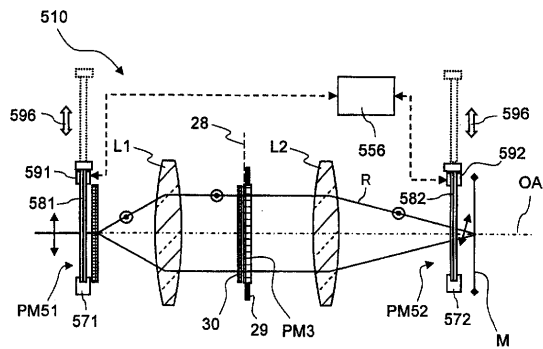
【図 12】



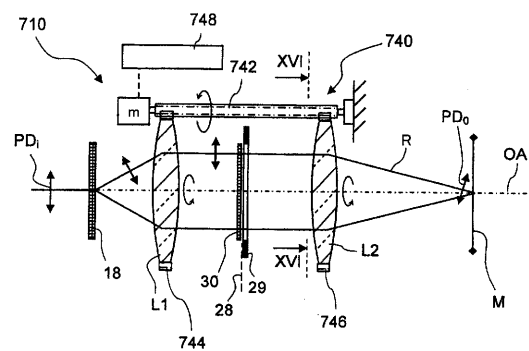
【図 14】



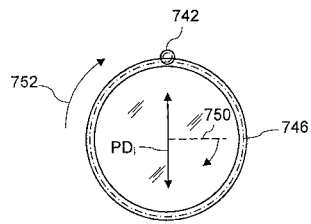
【図 13】



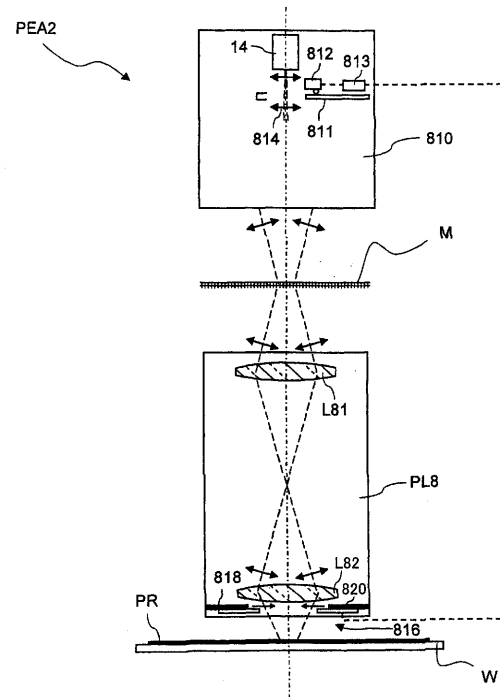
【図 15】



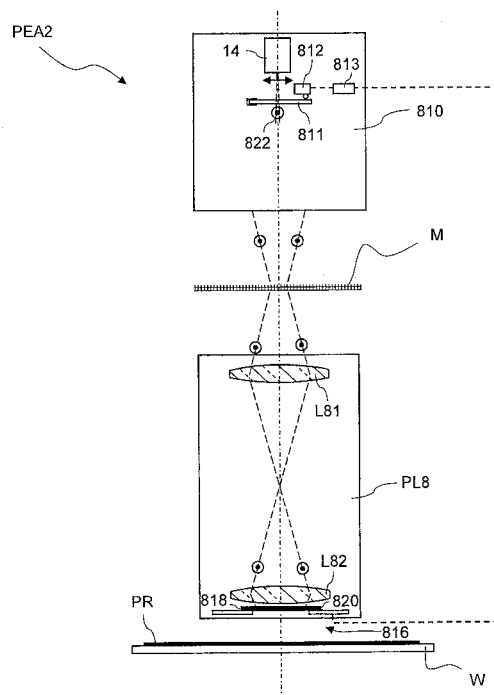
【図 16】



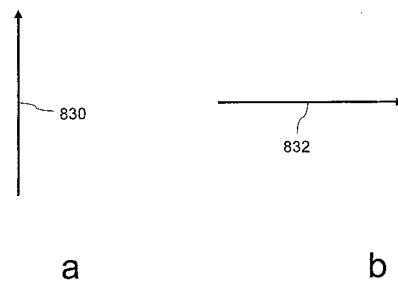
【図 17 a】



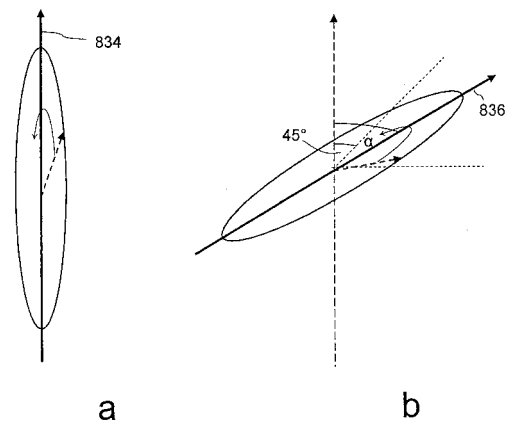
【図 17 b】



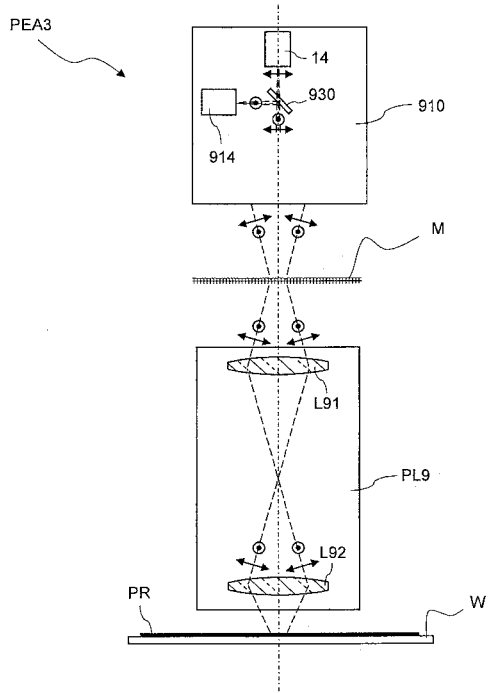
【図 18】



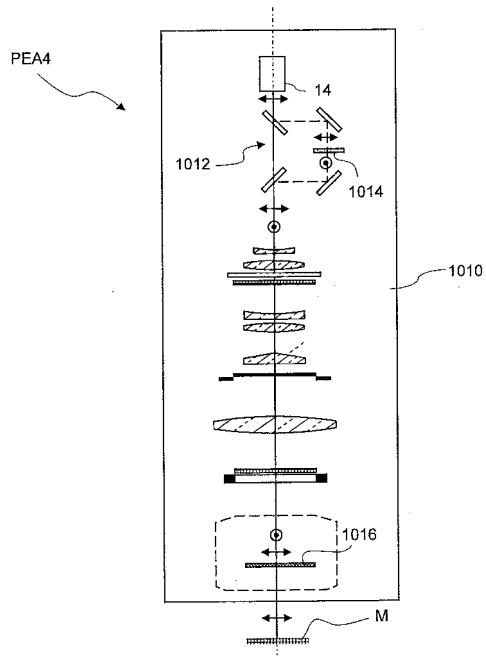
【図 19】



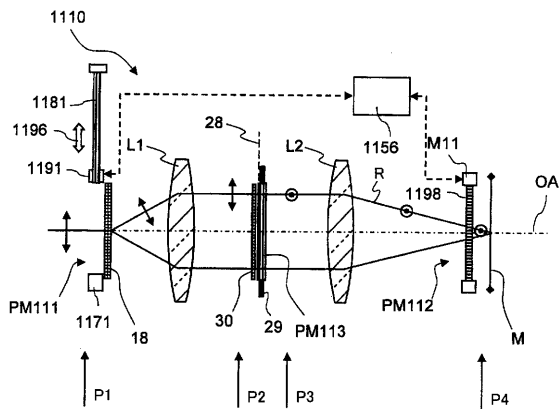
【図 20】



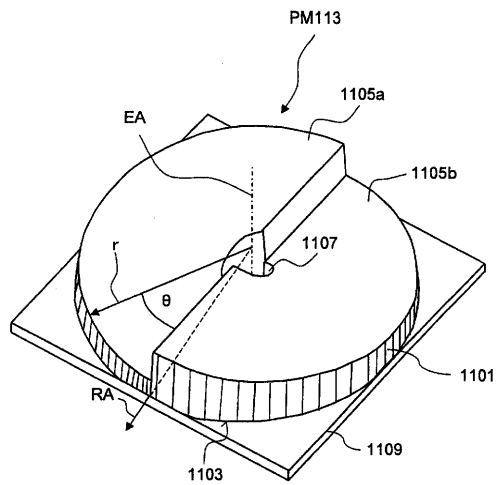
【図 21】



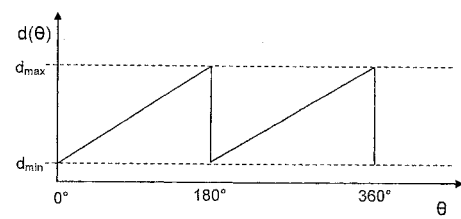
【図 22】



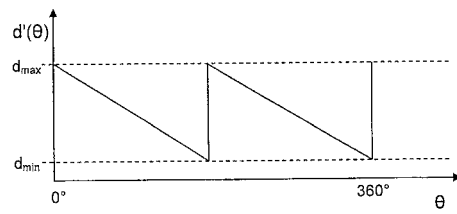
【図 23】



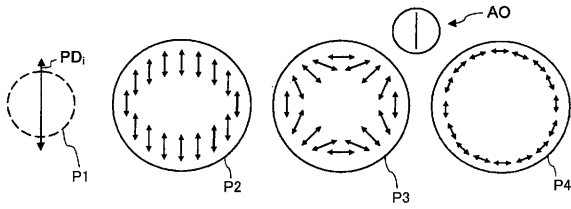
【図 24】



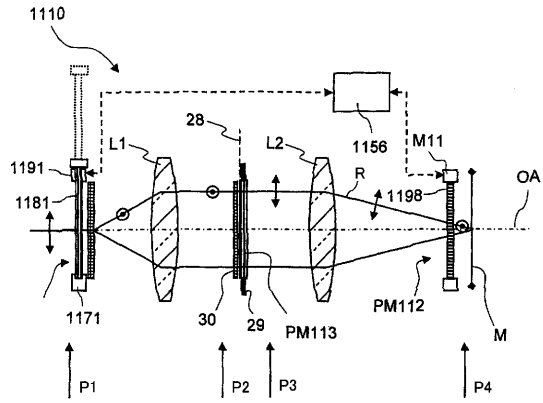
【図 25】



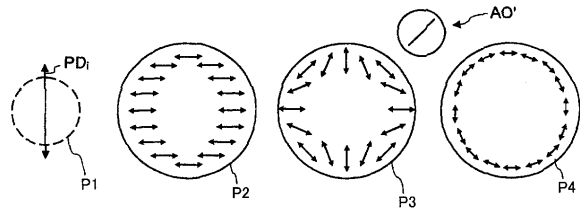
【図 26】



【図 27】



【図 28】



フロントページの続き

(72)発明者 ダミアン・フィオルカ

ドイツ連邦共和国・ディ - 7 3 4 4 7 ・オーバーコッヘン・ヘッケンローゼンヴェーク・3 6

(72)発明者 ラルフ・リンドナー

ドイツ連邦共和国・ディ - 7 3 4 4 7 ・オーバーコッヘン・ハイデンハイマー シュトラッセ・1
1 - 1 5

(72)発明者 ラルフ・シャーンウェバー

ドイツ連邦共和国・ディ - 7 3 4 3 0 ・アーレン・シルシエルシュトラッセ・1 3

審査官 岩本 勉

(56)参考文献 特開2000-323403(JP, A)

特開平07-201729(JP, A)

特開平07-201730(JP, A)

特開平08-328261(JP, A)

特開2005-167254(JP, A)

特表2007-515768(JP, A)

国際公開第2004/051717(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027

G03F 7/20