

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4971932号
(P4971932)

(45) 発行日 平成24年7月11日(2012.7.11)

(24) 登録日 平成24年4月13日(2012.4.13)

| | | | | |
|---------------|---------------|------------------|--------|---------------|
| (51) Int. Cl. | | F I | | |
| HO 1 L | 21/027 | (2006.01) | HO 1 L | 21/30 5 1 5 D |
| GO 3 F | 7/20 | (2006.01) | HO 1 L | 21/30 5 2 7 |
| | | | GO 3 F | 7/20 5 2 1 |

請求項の数 9 (全 17 頁)

| | | | |
|-----------|------------------------------|-----------|-------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2007-258040 (P2007-258040) | (73) 特許権者 | 000001007 |
| (22) 出願日 | 平成19年10月1日(2007.10.1) | | キヤノン株式会社 |
| (65) 公開番号 | 特開2009-88358 (P2009-88358A) | | 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 |
| (43) 公開日 | 平成21年4月23日(2009.4.23) | (74) 代理人 | 100076428 |
| 審査請求日 | 平成22年9月27日(2010.9.27) | | 弁理士 大塚 康德 |
| | | (74) 代理人 | 100112508 |
| | | | 弁理士 高柳 司郎 |
| | | (74) 代理人 | 100115071 |
| | | | 弁理士 大塚 康弘 |
| | | (74) 代理人 | 100116894 |
| | | | 弁理士 木村 秀二 |
| | | (74) 代理人 | 100130409 |
| | | | 弁理士 下山 治 |
| | | (74) 代理人 | 100134175 |
| | | | 弁理士 永川 行光 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 照明光学系、露光装置、デバイス製造方法および偏光制御ユニット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光源からの光を用いて被照明領域を照明する照明光学系であって、
前記光源と前記照明光学系の瞳との間に配置されて光の偏光状態を制御する第1偏光制御ユニットと、
前記第1偏光制御ユニットと前記瞳との間に配置されて光の偏光状態を制御する第2偏光制御ユニットとを備え、
前記瞳における領域は、複数の部分領域を含み、前記複数の部分領域は、最も面積が大きい部分領域を含む第1グループと、前記最も面積が大きい部分領域とは異なる部分領域を含む第2グループとに分類され、
前記第2偏光制御ユニットは、前記第1グループ及び前記第2グループのうち前記第2グループに属する部分領域における偏光状態を制御する、
ことを特徴とする照明光学系。

【請求項2】

前記第2偏光制御ユニットは、前記第1偏光制御ユニットと前記瞳との間で前記瞳の近傍に配置されている、ことを特徴とする請求項1に記載の照明光学系。

【請求項3】

前記第2偏光制御ユニットは、前記第1グループに属する部分領域に入射させる光が通過する部分に開口を有する、ことを特徴とする請求項1または2に記載の照明光学系。

【請求項4】

前記第 2 偏光制御ユニットは、前記第 1 グループに属する部分領域に入射させる光が通過する部分に、光の偏光状態を変化させない光学素子を有する、ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の照明光学系。

【請求項 5】

複数の前記第 1 偏光制御ユニットが選択的に使用することができるように設けられている、ことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の照明光学系。

【請求項 6】

複数の前記第 2 偏光制御ユニットが選択的に使用することができるように設けられている、ことを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の照明光学系。

【請求項 7】

原版のパターンを基板に投影して該基板を露光する露光装置であって、
該原版の被照明領域を照明するように構成された請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の照明光学系と、
該原版のパターンの像を該基板に投影する投影光学系と、
を備えることを特徴とする露光装置。

10

【請求項 8】

デバイス製造方法であって、
請求項 7 に記載の露光装置を用いて基板を露光する工程と、
該基板を現像する工程と、
を含むことを特徴とするデバイス製造方法。

20

【請求項 9】

光源からの光を用いて被照明領域を照明する照明光学系の瞳と前記光源との間に配置され、光の偏光状態を制御する偏光制御ユニットであって、

前記瞳における領域は複数の部分領域を含み、前記複数の部分領域は最も面積が大きい部分領域を含む第 1 グループと、前記最も面積が大きい部分領域とは異なる部分領域を含む第 2 グループとに分類され、

前記偏光制御ユニットは、前記第 2 グループのみに属する部分領域における偏光状態を制御することを特徴とする偏光制御ユニット。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

本発明は、照明光学系、露光装置、デバイス製造方法および偏光制御ユニットに関する

【背景技術】

【0002】

半導体デバイス等のデバイスは、リソグラフィ工程を経て製造されうる。このリソグラフィ工程において、投影露光装置が用いられる。リソグラフィ工程は、回路パターンを感光剤が塗布された基板（例えば、シリコン基板、ガラス基板）上に投影して該感光剤に転写する工程を含む。

40

【0003】

近年、半導体素子の微細化が進んでおり、 $0.15\ \mu\text{m}$ 以下の線幅を有するパターンが基板に転写される。半導体素子の微細化が進むことにより、集積度が向上し、低電力かつ高性能な半導体デバイスの製造が可能になる。その為、更なる半導体素子の微細化への要求が高く、それに伴い、投影露光装置に対する解像力向上への要求も高くなっている。

【0004】

解像力 R （転写可能なラインアンドスペースのピッチ）と、投影光学系の開口数 NA 、露光波長 λ の関係は、係数 k_1 を用いて (1) 式で表される。

【0005】

$$R = k_1 \times \lambda / NA \quad \dots (1)$$

50

(1)式より明らかなように、解像力を上げる(Rを小さくする)には、露光波長を小さくか、投影光学系の開口数NAを大きくすればよい。そのため、以前より、露光装置の高NA化が進むとともに、露光波長の短波長化が進んできた。

【0006】

しかし、近年、高NA化が進むと、レジスト内でP偏光(基板に入射する光の電場ベクトルが、光線と基板の垂線を含む平面にある光)同士の光が干渉縞のコントラストを下げるという問題が発生することがわかってきた。そのため、NAを大きくして解像力を向上するためには、高NA化と同時に、P偏光を除去して、S偏光(P偏光と電場ベクトルが直交する光)のみで照明する偏光照明を実現する必要がある。

【0007】

これは、レジストが光の電場成分の強度によって感光することに起因し、P偏光の電場ベクトルが高NAになると干渉縞を発生せず、場所によらず一律に強度を持つ強度分布になる為である。

【0008】

図2に示すように座標を取り、2つの回折光 E_+ と E_- が干渉して干渉縞を形成するものとする。なお、本明細書では、z方向を光軸方向とし、x、y平面をz軸を法線とする平面に取る。ここで、光軸がミラーによって折り曲げられる場合には、z方向も折り曲げられる。すなわち、本明細書では、x、y、z方向は、光軸方向を基準とする相対的な座標において定義される。

【0009】

図2において、回折光 E_+ と E_- は、電場ベクトルが基板Wと平行なS偏光(振幅 E_s)と、それに直交するP偏光(振幅 E_p)からなる。

【0010】

回折光 E_+ と E_- は、振動数を、波長をとして、(2)、(3)式のように表現される。ここでは、簡単化の為、S偏光とP偏光の光の位相がそろっている、45度方向の直線偏光とする。

【0011】

【数2】

$$E_+ = \begin{pmatrix} -E_p \cos \theta \\ E_s \\ -E_p \sin \theta \end{pmatrix} e^{2\pi i \left(vt - \frac{z \cos \theta}{\lambda} + \frac{x \sin \theta}{\lambda} \right)}$$

・・・(2)

【0012】

【数3】

$$E_- = \begin{pmatrix} -E_p \cos \theta \\ E_s \\ -E_p \sin \theta \end{pmatrix} e^{2\pi i \left(vt - \frac{z \cos \theta}{\lambda} - \frac{x \sin \theta}{\lambda} \right)}$$

・・・(3)

E_+ と E_- の和が干渉縞の振幅であり、(4)式のように表現される。

【0013】

10

20

30

40

50

【数4】

$$E_+ + E_- = \begin{pmatrix} -2E_p \cos \theta \cos(2\pi \frac{x \sin \theta}{\lambda}) \\ 2E_s \cos(2\pi \frac{x \sin \theta}{\lambda}) \\ -2iE_p \sin \theta \sin(2\pi \frac{x \sin \theta}{\lambda}) \end{pmatrix} e^{2\pi i(vt - \frac{z \cos \theta}{\lambda})} \quad 10$$

・・・(4)

この振幅の絶対値の自乗が干渉縞の強度であり、(5)式のように表現される。

【0014】

【数5】

$$\begin{aligned} |E_+ + E_-|^2 &= 4E_p^2 \cos^2 \theta \cos^2(2\pi \frac{x \sin \theta}{\lambda}) + 4E_s^2 \cos^2(2\pi \frac{x \sin \theta}{\lambda}) + 4E_p^2 \sin^2 \theta \sin^2(2\pi \frac{x \sin \theta}{\lambda}) \\ &= 4(E_s^2 + E_p^2 \cos 2\theta) \cos^2(2\pi \frac{x \sin \theta}{\lambda}) + 4E_p^2 \sin^2 \theta \end{aligned} \quad 20$$

・・・(5)

(5)式において、(6)式の項が干渉縞の振動の幅を表し、x方向に周期 $\lambda / \sin \theta$ を持つラインアンドスペースの強度分布となる。

【0015】

【数6】

$$\cos^2(2\pi \frac{x \sin \theta}{\lambda})$$

・・・(6)

高NAの投影光学系を用いて微細なパターンの投影を行うと回折光のなす角 θ が大きくなる。例えば、ArF波長 $\lambda = 193 \text{ nm}$ で、周期 $L \text{ nm}$ のラインアンドスペースの投影を行った場合に感光剤内(レジスト内:屈折率1.7)で回折光がなす角度 θ を図3に示す。バイナリマスク(マスク上にCrで遮光をただけのマスク)を用いると、160 nmを切るあたりで回折光のなす角 θ が45度となる。一方、レベンソン位相シフトマスク(マスク上で遮光のみならず位相の変調も行うマスク、Alt-PSMとも呼ぶ)を用いると80 nmを切るあたりで回折光のなす角 θ が45度となる。

【0016】

が45度となると、(6)式で示す項の係数内の $\cos^2 \theta$ が0になり、(6)式で示す項が0となる。そのため、P偏光の振幅 E_p は、干渉縞の振動幅の項には全くあられず、x方向に振動しない $\sin^2 \theta$ のみにあられる。以上より、P偏光の光は、干渉縞のコントラストを下げる効果をあたえるだけになってしまうことが説明される。

【0017】

なお、回折光がP偏光であるかS偏光であるかということは、回折光と基板の関係で決まっている。つまり、上述の説明では、y方向に伸び、x方向に周期性をもつパターンについてのS偏光、P偏光であったので、S偏光はy方向に電場ベクトルが向いているY偏光、P偏光はx軸方向に電場ベクトルが向いているX偏光であった。しかし、逆に、x方向に伸び、y方向に周期性をもつパターンの場合には、回折光がy方向に発生するので、S偏光はx軸方向に電場ベクトルが向いているX偏光、P偏光はS偏光に直交するY偏光となる。つまり、x方向に周期性をもつパターンに対してS偏光であった光は、y方向に周

30

40

50

期を持つパターンに対してはP偏光となる。偏光状態については基準となる面と光線の入射方向によって変わるので注意を要する。

【0018】

以上述べたように、高NAの投影光学系を備えた露光装置では、P偏光の光は像のコントラストを低減させる効果を持つので、高いコントラストの像を得るためには、P偏光の光を減らし、S偏光の光を増やした露光光で露光を行うことが効果的となってくる。このためマスクを所定の偏光状態で照明する偏光照明系が今後の高NAリソグラフィーでは重要となってくる。

【0019】

偏光照明系が実現する照明系の瞳面での偏光状態を図4に示す。Y偏光小照明は、Alt-PSMと一緒に用いることにより、x方向の繰り返しパターンを転写する際に有効である。ここで、 α は照明光学系の射出側NAを投影光学系の入射側NAで割った値であって、コヒーレンスファクターと呼ばれる。X偏光小照明は、Alt-PSMと一緒に用いることにより、y方向の繰り返しパターンを転写する際に有効である。Y偏光Xダイポール照明は、バイナリマスクやハーフトーンマスク(Att-PSMとも呼ぶ)と一緒に用いることにより、x方向の繰り返しパターンに有利である。X偏光Yダイポール照明は、バイナリマスクやAtt-PSMと一緒に用いることにより、y方向の繰り返しパターンを転写する際に有効である。タンジェンシャル偏光クロスボール照明は、バイナリマスクやAtt-PSMと一緒に用いることにより、x方向、y方向の両方の繰り返しパターンが混載するパターンを転写する際に有効である。タンジェンシャル輪帯照明は、バイナリマスクやAtt-PSMと一緒に用いることにより、様々な方向の繰り返しパターンが混載するパターンを転写する際に有効である。タンジェンシャル偏光とは、照明系の瞳内の各点において光軸中心方向と略直交した方向に電場ベクトルが向いている偏光状態をいう。ラジアル偏光45度四重極照明は、CrレスPSMと一緒に用いることにより、コンタクトホールパターンを転写する際に有効である。ラジアル偏光とは、照明系の瞳内の各点において光軸中心方向に電場ベクトルが向いている偏光状態をいう。

【0020】

図5は、原版を偏光で照明する照明光学系を備えた投影露光装置の構成例を示す図である。このような投影露光装置の例は、例えば特許文献1に記載されている。

【0021】

光源1は、照明光学系に光を提供する。光源1としては、例えば、エキシマレーザーが用いられる。波長板(偏光制御ユニット)2は、例えば、水晶、フッ化マグネシウムなどの複屈折をもつ硝材で製作された光学素子であり、光源1から提供された偏光光を所定の偏光状態に一括して変換する。

【0022】

減光フィルター(ND)3は、基板17上に塗布された感光剤の感度に応じて照明光の照度を変えるために使用される。

【0023】

マイクロレンズアレイ4は、光源1からの光が床振動や露光装置の振動によって照明光学系の光軸に対してずれたり偏心したりしてもマイクロレンズアレイ4の後側に配置された光学系に入射する光の特性が変化しないように、特定の角度分布で光を射出する。コンデンサーレンズ5は、マイクロレンズアレイ4から出射された光をCGH(計算機ホログラム)61に投影する。CGH61は、任意の回折光を発生し、コンデンサーレンズ7を通して、A面に所望の光分布を形成する。マイクロレンズアレイ62は、CGH61と交換可能に配置されており、光路に挿入された場合には、コンデンサーレンズ7を通して、A面に均一な光分布を形成する。変倍リレーレンズ8は、A面にできた分布を拡大または縮小して、オプティカルインテグレータ10に投影する。

【0024】

偏光制御ユニット9は、複数の波長板を配列して構成され、複数の偏光状態を有する有効光源を照明光学系の瞳面に形成するために使用される。図4は、複数の偏光状態を有す

10

20

30

40

50

る有効光源を例示する図である。

【0025】

図9は、偏光制御ユニット9の構成例を示す図である。図9では、光軸方向から見た偏光制御ユニット9が示されている。一点鎖線で示した領域が照明光学系の瞳の径を示し、瞳における領域を8つの部分領域(1つの中央部分と7つの周辺部分)分割して、各部分領域に、形成すべき偏光状態に対応した波長板が配置されている。

【0026】

オプティカルインテグレータ10は、照明光学系の瞳の位置(オプティカルインテグレータ10の出射面)に複数の2次光源を形成する。オプティカルインテグレータ10は、例えば、ハエノ目レンズまたはマイクロレンズアレイとして構成されうる。

10

【0027】

コンデンサーレンズ11は、オプティカルインテグレータ10で波面分割された光束を重畳的に重ね合わせてB面に略均一な強度分布を形成する。ハーフミラー12は、露光量を制御するための露光量センサ13に光を分岐する。リレー光学系14は、B面に形成された略均一な強度分布の光を原版(レチクル)15に投影する。

【0028】

投影光学系16は、原版15に描画された回路パターンを感光剤が塗布された基板(ウエハ)17に投影する。基板ステージ19は、基板17を位置決めする。基板ステージ19は、例えば、走査露光のために基板17を走査駆動したり、ショット領域を切り替えるために基板17をステップ移動させたりする。基板ステージ19には、照度計18が搭載されている。照度計18は、任意のタイミングで基板ステージ19を駆動することにより、露光領域内に挿入され、これにより露光領域内の照度が計測される。制御装置20は、露光量センサ13からの出力に基づいて、基板17の露光量が目標露光量となるように光源1を制御する。

20

【特許文献1】WO2004/051717号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0029】

波長板によって光の偏光状態を制御して偏光照明を行う際には、正確な位相差を発生するように波長板を製作しなくてはならない。図6を参照して説明する。複屈折硝材からなる1/2波長板101は、基板の厚みをd、硝材の複屈折量をNとして、波長の光に対して位相差が $180 + 360 \times m$ 度(mは自然数)となるように製作する必要がある。厚みが数 μm ずれるだけで位相差が大きく変化してしまうため、波長板101の厚みdを正確に制御する必要がある。

30

【0030】

また、複屈折硝材からなる波長板101で正確な位相差を発生するためには、それに入射する角度範囲を小さくしなくてはならない。図6のように、垂直光に対して角度をもって波長板101に光が入射すれば、光が波長板101に垂直に入射する場合よりも、波長板101を通る光路長が長くなる。そのため、波長板101からの射出光に度の位相誤差が発生する。

40

【0031】

図7のような複屈折硝材2枚組の波長板(0オーダー1/2波長板)に対して角度を持った光を入射させた場合を考える。図8は、波長板の厚みを変化させながら偏光純度をシミュレーションした結果を示す図である。

【0032】

x方向に振動する光の強度を I_x 、y方向に振動する光の強度を I_y として、偏光純度を $I_x / (I_x + I_y)$ と定義する。波長板に入射する光の偏光状態はY偏光($I_y = 1$ 、 $I_x = 0$)であり、波長板は、X軸に対して45度の方向に進相軸のある1/2波長板であるものとした。入射角が0度の入射光(Y偏光)は、1/2波長板によってX偏光に変換されるので、偏光純度は1となる。

50

【 0 0 3 3 】

図 8 は、波長板の厚み d (mm) と偏光純度の関係を示したものである。縦軸および横軸が、入射光の波長板に対する x 方向または y 方向の入射角度を示し、色の濃さが偏光純度の変化を示す。白色が偏光純度の高い状態を示し、黒色が偏光純度の低い状態を示す。この結果により、射出される光の偏光純度は、波長板の厚みと入射角度に依存し、波長板の厚みが厚くなればなるほど、また、入射角度が大きくなればなるほど、偏光純度の変化が大きいことがわかる。

【 0 0 3 4 】

以上より、投影露光装置において厚い波長板を用いると、また、入射角度分布が大きいところに波長板を配置すると、被照射面における偏光純度が低下することがわかる。それによって、像のコントラストが低下するので、EDウインドウが縮小し、チップの歩留まりが悪化する。よって、複屈折硝材で製造した波長板を露光装置に用いる場合には、厚みの薄い(好ましくは 0.5 mm 以下)波長板を入射角の小さい場所(好ましくは ± 3 度以下)に配置することが望まれる。

10

【 0 0 3 5 】

一方、複屈折硝材として用いられる材料、例えば、水晶やフッ化マグネシウムには、複屈折硝材を結晶成長させるための炉の制約から製作可能な外径に限界がある。通常は、製作可能な水晶の結晶は、直径が 70 mm 程度までである。それよりも大きな水晶の結晶は、結晶成長に時間がかかることと、不純物の制御が難しいため、非常に高価で、かつ安定した供給が難しい。したがって、商業的な水晶を利用した波長板を使用するためには、波長板の光線有効径を 70 mm 以下にする必要がある。

20

【 0 0 3 6 】

光路内において、入射角と光線径の大きさは相反関係にある。これは一般的な光学の原理として知られており、例えば「光学の原理 I」(東海大学出版会 マックス・ボルン、エミル・ウォルフ著、草川徹・横田英嗣訳)の 225 ページから 228 ページにおいて Smith-Helmholtz の公式として紹介されている。

【 0 0 3 7 】

したがって、良好な偏光純度を得るためには、入射角の小さい場所に波長板を構成すべきであるが、入射角の小さい場所は光線径が大きく、必要な波長板の大きさが大きくなってしまふ。しかし、波長板の大きさは、前述のように複屈折硝材の製造上の制約によって制限される。そのため、従来は、図 9 の右図に示すように、複屈折硝材の外径制限を満足し、かつ最も大きい形状となるように、偏光制御ユニット 9 を配置する位置が決められていた。

30

【 0 0 3 8 】

しかし、近年、個別の露光条件に対して最適な偏光状態、例えば図 10 のような特殊な偏光状態を実現することが求められている。

【 0 0 3 9 】

照明光学系の瞳に分布する大きな部分領域における偏光状態を該瞳の近傍に配置された波長板で制御しようとする、そのために要求される波長板の外形が複屈折硝材の外形制限を超えてしまふ。一方、波長板の製作を可能にするための、光線有効径の小さなところに波長板を配置すると、波長板への入射角度が大きくなってしまひ、良好な偏光純度を得ることができない。

40

【 0 0 4 0 】

本発明は、上記の課題認識を契機としてなされたものであり、例えば、目標とする偏光状態を高い偏光純度で得るために有利な技術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】

【 0 0 4 1 】

本発明の第 1 の側面は、光源から提供される光を用いて被照明領域を照明する照明光学系に係り、前記照明光学系は、前記光源と前記照明光学系の瞳との間に配置されて光の偏光状態を制御する第 1 偏光制御ユニットと、前記第 1 偏光制御ユニットと前記瞳との間に

50

配置されて光の偏光状態を制御する第2偏光制御ユニットとを備える。ここで、前記瞳における領域は、複数の部分領域を含み、前記複数の部分領域は、最も面積が大きい部分領域を含む第1グループと、前記最も面積が大きい部分領域とは異なる部分領域を含む第2グループとに分類される。前記第2偏光制御ユニットは、前記第1グループ及び前記第2グループのうち前記第2グループに属する部分領域における偏光状態を制御する。

【0042】

本発明の第2の側面は、原版のパターンを基板に投影して該基板を露光する露光装置に係り、前記露光装置は、該原版の被照明領域を照明するように構成された上記の照明光学系と、該原版のパターンを該基板に投影する投影光学系とを備える。

【0043】

本発明の第3の側面は、デバイス製造方法に係り、前記デバイス製造方法は、上記の露光装置を用いて基板を露光する工程と、該基板を現像する工程とを含む。

【発明の効果】

【0044】

本発明によれば、例えば、目標とする偏光状態を高い偏光純度で得るために有利な技術を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0045】

以下、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態を説明する。

【0046】

図13は、本発明の好適な実施形態の露光装置の概略構成を示す図である。なお、図5と同一の構成要素については、同一の符号を付し、説明を省略する。図13に示す露光装置は、図5に示す露光装置の照明光学系における波長板2、偏光制御ユニット9をそれぞれ第1偏光制御ユニット2'、第2偏光制御ユニット9'で置き換えた構成を有する。

【0047】

本発明の好適な実施形態の露光装置は、光源1から提供される光を用いて被照明領域としての原版15またはその一部を照明する照明光学系1Lと、原版15のパターンを基板17に投影する投影光学系16とを備えうる。

【0048】

照明光学系1Lは、図13に示す例では、符号2'、3、M、4、5、61、7、8、9'、10、11、12、13、14が付された構成要素によって構成されうる。照明光学系1Lは、特徴的な構成要素として、第1偏光制御ユニット2'と第2偏光制御ユニット9'とを備える。第1偏光制御ユニット2'は、光路内において、光源1と照明光学系1Lの瞳(オプティカルインテグレータ10の出射面)との間に配置されて光の偏光状態を制御する。第2偏光制御ユニット9'は、光路内において、第1偏光制御ユニット2'と前記瞳との間に配置されて光の偏光状態を制御する。第2偏光制御ユニット9'は、第1偏光制御ユニット2'と前記瞳との間であって前記瞳の近傍に配置されることが好ましい。

【0049】

第1偏光制御ユニット2'は、典型的には、1枚の波長板で構成されうる。ここで、複数の第1偏光制御ユニット2'を準備しておき、これらから任意の第1偏光制御ユニット2'を選択して光路に挿入することができるように構成されることが好ましい。これにより、例えば、図1に例示されるような複数の照明モードから任意の照明モードを選択することができる。複数の第1偏光制御ユニット2'は、例えば、回転板に配列され、該回転板を回転させることによって任意の照明モードが選択的に使用される。複数の第1偏光制御ユニット2'としては、例えば、光源1から提供される偏光光をX偏光に変換する第1偏光制御ユニットや、光源1から提供される偏光光をY偏光に変換する第1偏光制御ユニットを挙げることができる。

【0050】

第2偏光制御ユニット9'は、複数の波長板を配列して構成され、複数の偏光状態を有

10

20

30

40

50

する有効光源を照明光学系の瞳面に形成するために使用される。ここで、複数の第2偏光制御ユニット9'を準備しておき、これらから任意の第2偏光制御ユニット9'を選択して光路に挿入することができるように構成されることが好ましい。これにより、例えば、図1に例示されるような複数の照明モードのうち任意の照明モードが選択的に使用される。

【0051】

図1は、第1偏光制御ユニット2'および第2偏光制御ユニット9'の機能、並びに、照明光学系ILの瞳における偏光状態を例示する図である。図1において、矢印は、偏光の方向を示している。図1において、"瞳における偏光状態"は、照明光学系ILの瞳における偏光状態を例示している。図1において、"第2偏光制御ユニットの入射面における偏光状態"は、第2偏光制御ユニット9'の入射面における偏光状態を例示していて、この偏光状態は、第1偏光制御ユニット2'によって決定される。図1において、"第2偏光制御ユニットの構成"は、第2偏光制御ユニット9'の構成を示していて、ハッチングが付された部分および白抜きの部分は、光が通過する部分である。ここで、ハッチングが付された領域は、1/2波長板が配置された領域である。白抜きの部分は、開口であるか、偏光状態を変化させない光学素子(例えば、複屈折を持たない硝材で製作された平板)である。照明光学系ILの瞳における偏光状態は、第1偏光制御ユニット2'および第2偏光制御ユニット9'によって決定される。第1偏光制御ユニット2'は、典型的には、照明光学系ILの瞳における領域の全体の偏光状態を一括して制御することができる位置、例えば、光源1とオプティカルインテグレータ4との間に配置される。

【0052】

照明光学系ILの瞳における領域は、複数の部分領域を含み、該複数の部分領域は、最も面積が大きい部分領域を含む第1グループと、該最も面積が大きい部分領域とは異なる部分領域を含む第2グループとに分類される。第2偏光制御ユニット9'は、第1グループ及び第2グループのうち第2グループに属する部分領域における偏光状態を制御する。即ち、照明光学系ILの瞳において最も面積が大きい部分領域については、第1偏光制御ユニット2'および第2偏光制御ユニット9'のうち第1偏光制御ユニット2'によって偏光状態が決定される。また、照明光学系ILの瞳において、最も面積が大きい部分領域とは異なる部分領域については、第1偏光制御ユニット2'および第2偏光制御ユニット9'の双方によって偏光状態が決定される。なお、複数の部分領域の全てが同一の面積を有する場合には、それらのうちの少なくとも1つを最も面積が大きい部分とみなせばよい。

【0053】

"非対称タンジェンシャル偏光クロスポール1"については、瞳における領域は、複数の部分領域201~204を含む。複数の部分領域201~204は、最も面積が大きい部分領域201および202を含む第1グループと、部分領域201および202とは異なる部分領域203および204を含む第2グループとに分類される。第1偏光制御ユニット2'は、第2偏光制御ユニット9'の入射面に、偏光方向がy方向に向いた偏光状態を形成する。第2偏光制御ユニット9'は、第1グループおよび第2グループのうち第2グループに属する部分領域203および204における偏光状態を制御する。具体的には、第2偏光制御ユニット9'は、部分領域203および204に入射する偏光の方向がx方向に沿うように1/2波長板によって偏光方向を回転させる。また、第2偏光制御ユニット9'は、部分領域201および202に入射する偏光については、偏光状態を変化させない。

【0054】

"非対称タンジェンシャル偏光クロスポール2"については、瞳における領域は、複数の部分領域211~214を含む。複数の部分領域211~214は、最も面積が大きい部分領域211および212を含む第1グループと、部分領域211および212とは異なる部分領域213および214を含む第2グループとに分類される。第1偏光制御ユニット2'は、第2偏光制御ユニット9'の入射面に、偏光方向がx方向に向いた偏光状態

を形成する。第2偏光制御ユニット9'は、第1グループおよび第2グループのうち第2グループに属する部分領域213および214における偏光状態を制御する。具体的には、第2偏光制御ユニット9'は、部分領域213および214に入射する偏光の方向がy方向に沿うように1/2波長板によって偏光方向を回転させる。また、第2偏光制御ユニット9'は、部分領域211および212に入射する偏光については、偏光状態を変化させない。

【0055】

”非対称タンジェンシャル6重極1”については、瞳における領域は、複数の部分領域221~224を含む。複数の部分領域221~214は、最も面積が大きい部分領域221および222を含む第1グループと、部分領域221および222とは異なる部分領域223および224を含む第2グループとに分類される。ここで、部分領域221は、等しい偏光状態を有する2つの近接した極(ポール)を含み、部分領域222は、等しい偏光状態を有する2つの近接した極(ポール)を含む。第1偏光制御ユニット2'は、第2偏光制御ユニット9'の入射面に、偏光方向がx方向に向いた偏光状態を形成する。第2偏光制御ユニット9'は、第1グループおよび第2グループのうち第2グループに属する部分領域223および224における偏光状態を制御する。具体的には、第2偏光制御ユニット9'は、部分領域223および224に入射する偏光の方向がy方向に沿うように1/2波長板によって偏光方向を回転させる。また、第2偏光制御ユニット9'は、部分領域221および222に入射する偏光については、偏光状態を変化させない。

【0056】

”非対称タンジェンシャル6重極2”については、瞳における領域は、複数の部分領域231~234を含む。複数の部分領域231および232は、最も面積が大きい部分領域231および232を含む第1グループと、部分領域231および232とは異なる部分領域233および234を含む第2グループとに分類される。ここで、部分領域231は、等しい偏光状態を有する2つの近接した極(ポール)を含み、部分領域232は、等しい偏光状態を有する2つの近接した極(ポール)を含む。第1偏光制御ユニット2'は、第2偏光制御ユニット9'の入射面に、偏光方向がy方向に向いた偏光状態を形成する。第2偏光制御ユニット9'は、第1グループおよび第2グループのうち第2グループに属する部分領域233および234における偏光状態を制御する。具体的には、第2偏光制御ユニット9'は、部分領域233および234に入射する偏光の方向がx方向に沿うように1/2波長板によって偏光方向を回転させる。また、第2偏光制御ユニット9'は、部分領域231および232に入射する偏光については、偏光状態を変化させない。

【0057】

なお、以上の説明では、照明光学系ILの瞳において2つの偏光状態のみが存在する場合について説明したが、本発明は、図11に例示するような3つ以上の偏光状態がある偏光状態を形成する場合にも適用することができる。また、以上の説明では、偏光状態として直線偏光状態について説明したが、図12に例示するように、円偏光、ランダム偏光(無偏光)、さらには楕円偏光などが存在してもよい。その際には、円偏光の領域には1/4波長板、無偏光の領域には偏光解消板、楕円偏光の領域にはn波長板(nは実数)を第2偏光制御ユニットに配置する。

【0058】

図12の右端に示すように円偏光の部分領域の面積が最も大きい場合、第1偏光制御ユニットとして光の偏光状態を一括して円偏光に変換する1/4波長板を配置し、第2偏光制御ユニットとして円偏光から直線偏光に変換する1/4波長板を配置すればよい。

【0059】

以上のように、本発明の好適な実施形態によれば、第2偏光制御ユニット9'は、第1グループおよび第2グループのうち第2グループに属する部分領域における偏光状態を制御し、第1グループに属する部分領域における偏光状態を制御しない。よって、本発明の好適な実施形態は、目標とする偏光状態を高い偏光純度で得るために有利である。

【0060】

10

20

30

40

50

次に上記の露光装置を利用したデバイス製造方法を説明する。図14は、半導体デバイスの全体的な製造プロセスのフローを示す図である。ステップ1（回路設計）では半導体デバイスの回路設計を行う。ステップ2（レチクル作製）では設計した回路パターンに基づいてレチクル（原版またはマスクともいう）を作製する。一方、ステップ3（ウエハ製造）ではシリコン等の材料を用いてウエハ（基板ともいう）を製造する。ステップ4（ウエハプロセス）は前工程と呼ばれ、上記のレチクルとウエハを用いて、リソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。次のステップ5（組み立て）は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の組み立て工程を含む。ステップ6（検査）ではステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これを出荷（ステップ7）する。

10

【0061】

図15は、上記ウエハプロセスの詳細なフローを示す図である。ステップ11（酸化）ではウエハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）ではウエハ表面に絶縁膜を成膜する。ステップ13（電極形成）ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ14（イオン打込み）ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ15（CMP）ではCMP工程によって絶縁膜を平坦化する。ステップ16（レジスト処理）ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ17（露光）では上記の露光装置を用いて、回路パターンが形成されたマスクを介し感光剤が塗布されたウエハを露光してレジストに潜像パターンを形成する。ステップ18（現像）ではウエハ上のレジストに形成された潜像パターンを現像してレジストパターンを形成する。ステップ19（エッチング）ではレジストパターンが開口した部分を通してレジストパターンの下にある層又は基板をエッチングする。ステップ20（レジスト剥離）ではエッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンを形成する。

20

【図面の簡単な説明】

【0062】

【図1】第1偏光制御ユニットおよび第2偏光制御ユニットの機能、並びに、照明光学系の瞳における偏光状態を例示する図である。

【図2】偏光状態によってコントラストが変化することを説明する図である。

30

【図3】LS周期とレジスト内の回折光角度を示す図である。

【図4】照明光学系の瞳位置における偏光状態を例示する図である。

【図5】投影露光装置の構成を示す図である。

【図6】波長板の厚さおよび発生する位相差を説明する図である。

【図7】入射角度・板厚と偏光純度の計算条件を説明する図である。

【図8】入射角度・板厚と偏光純度の関係を示す図である。

【図9】偏光制御ユニットの構成を例示する図である。

【図10】偏光状態を例示する図である。

【図11】偏光状態を例示する図である。

【図12】偏光状態を例示する図である。

40

【図13】本発明の好適な実施形態の投影露光装置の構成を示す図である。

【図14】デバイス製造方法を例示する図である。

【図15】デバイス製造方法を例示する図である。

【符号の説明】

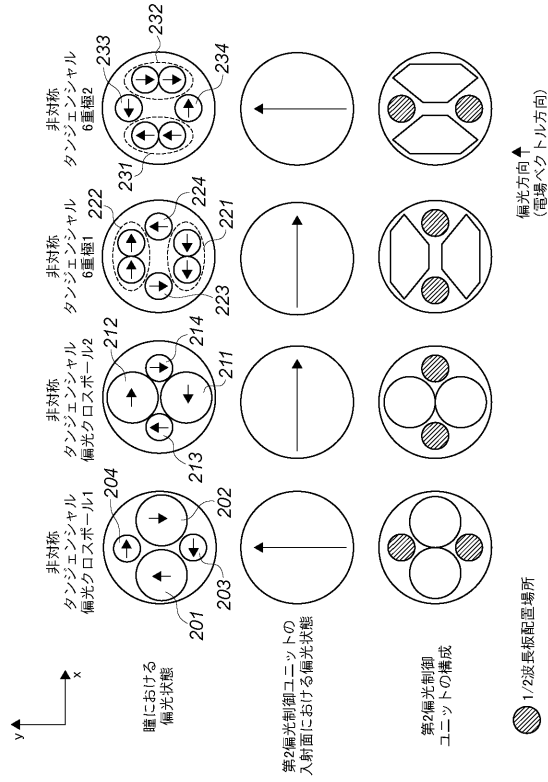
【0063】

2' 第1偏光制御ユニット

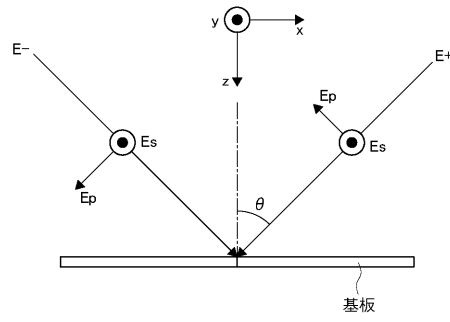
9' 第2偏光制御ユニット

I L 照明光学系

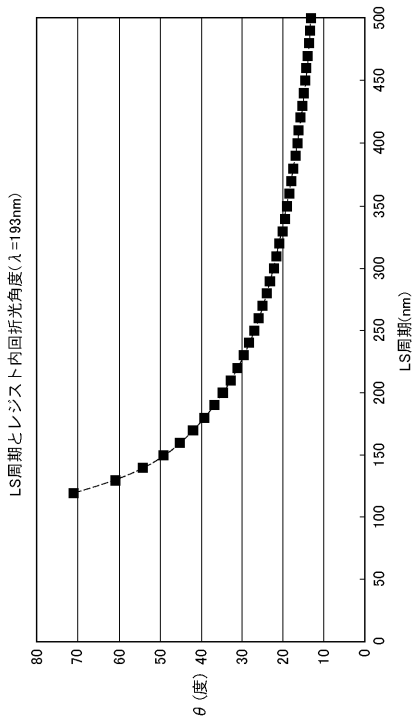
【図1】



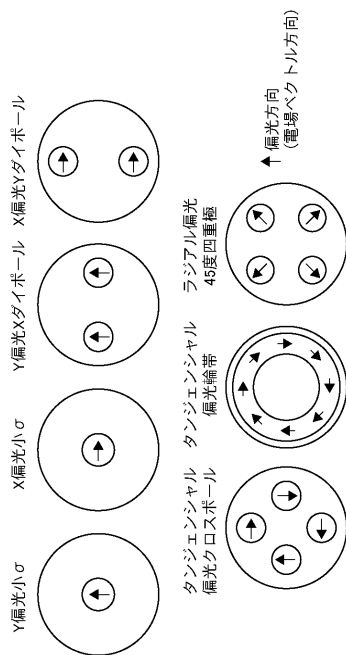
【図2】



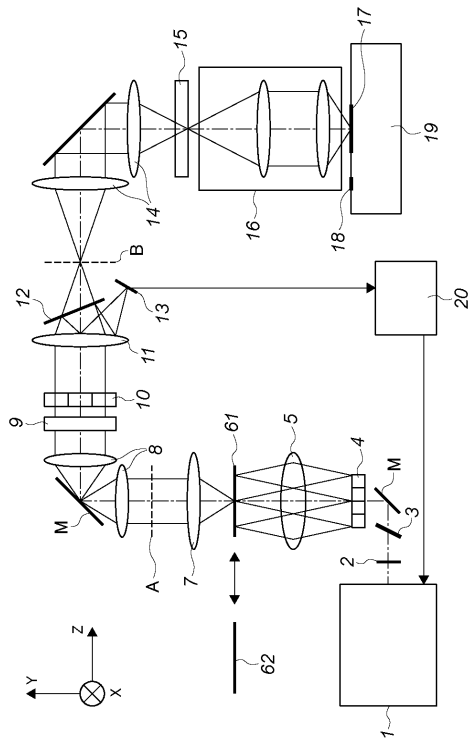
【図3】



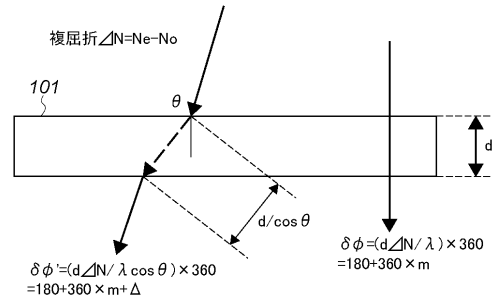
【図4】



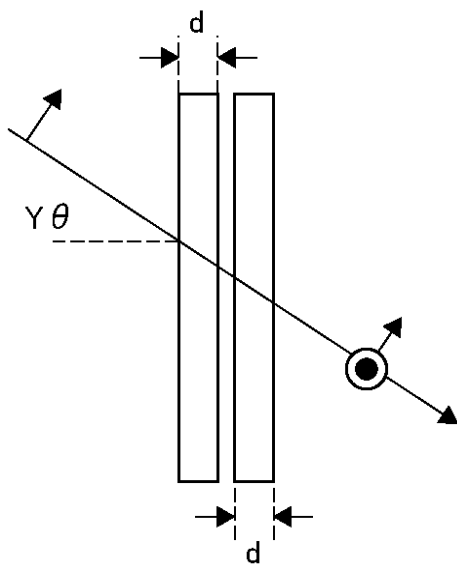
【図5】



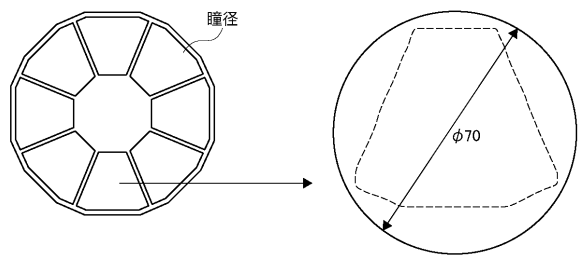
【図6】



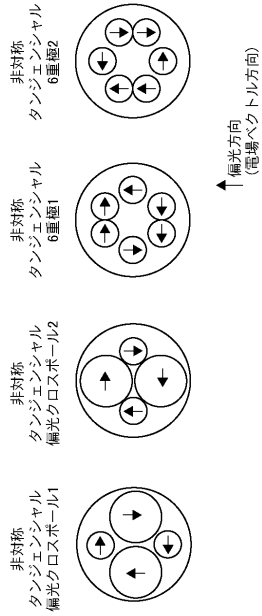
【図7】



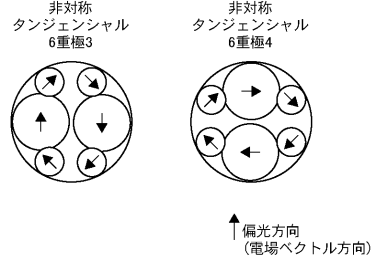
【図9】



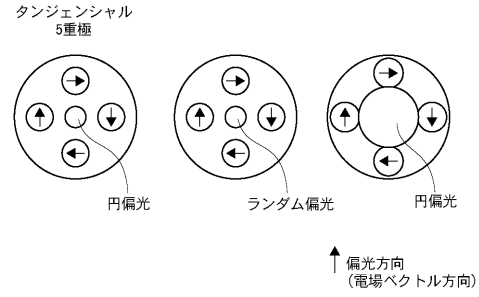
【図10】



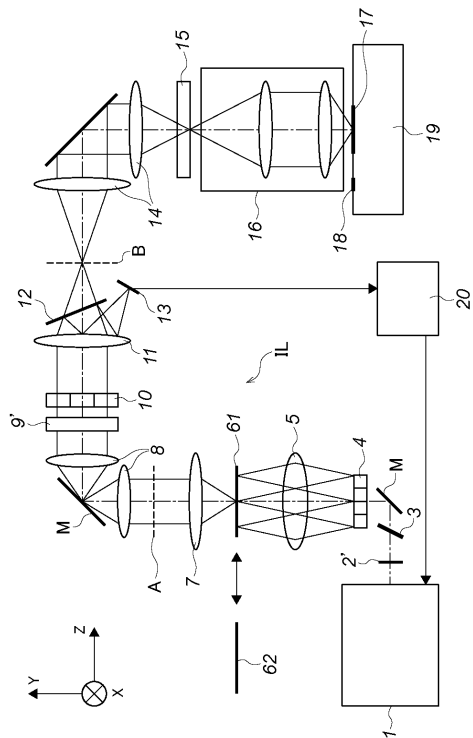
【図11】



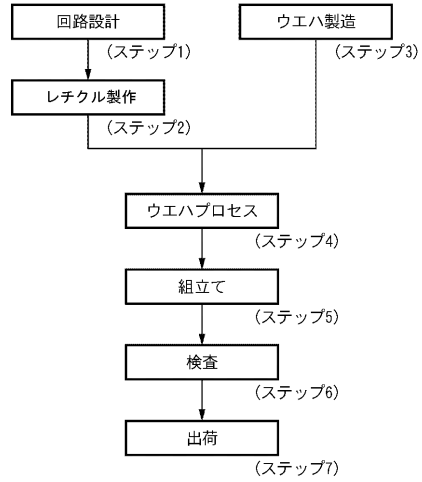
【図12】



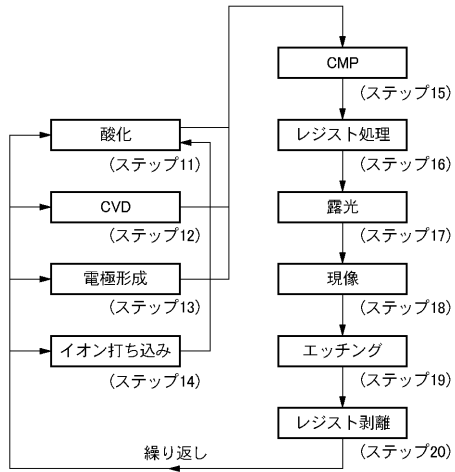
【図13】



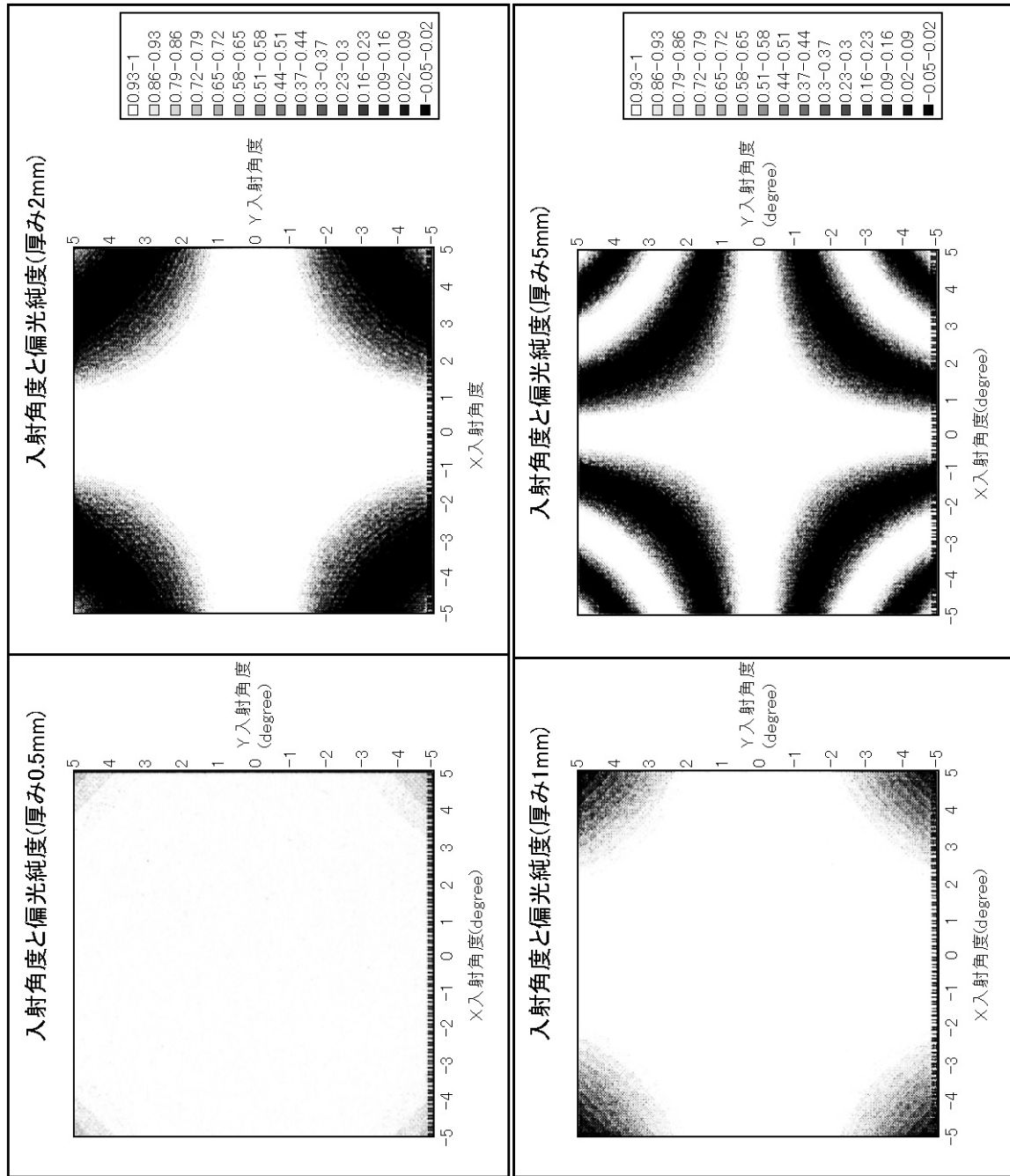
【図14】



【図15】



【 図 8 】



フロントページの続き

(72)発明者 森 堅一郎
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

審査官 久保田 創

(56)参考文献 特開2007-27719(JP,A)
特開2007-220767(JP,A)
特開2007-048871(JP,A)
特開2005-236088(JP,A)
特開平10-79337(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/027
G03F 7/20