

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4776891号
(P4776891)

(45) 発行日 平成23年9月21日(2011.9.21)

(24) 登録日 平成23年7月8日(2011.7.8)

(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 3 F 7/20 (2006.01) GO 3 F 7/20 5 2 1

請求項の数 6 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2004-128602 (P2004-128602)	(73) 特許権者	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22) 出願日	平成16年4月23日(2004.4.23)	(74) 代理人	100110412 弁理士 藤元 亮輔
(65) 公開番号	特開2005-311187 (P2005-311187A)	(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
(43) 公開日	平成17年11月4日(2005.11.4)	審査官	渡戸 正義
審査請求日	平成19年4月23日(2007.4.23)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 照明光学系、露光装置、及びデバイス製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

直線偏光光を射出する光源からの光を用いて、被照明面を照明する照明光学系であって、

偏光分離板と、

前記偏光分離板からの光の偏光状態を調整するための位相板と、

を有し、

前記位相板と前記被照明面との間の光路中に配置される第1光学系の面内複屈折量の平均値を m_1 、標準偏差を σ_1 とすると、前記第1光学系は

$m_1 + 2 \sigma_1 < 1.0 \text{ nm/cm}$ を満たし、

前記光源と前記偏光分離板との間の光路中に配置される第2光学系の面内複屈折量の平均値を m_2 、標準偏差を σ_2 とすると、前記第2光学系は

$m_2 + 2 \sigma_2 < 5.0 \text{ nm/cm}$ を満たすことを特徴とする照明光学系。

【請求項 2】

前記偏光分離板は、前記照明光学系の光軸に対して 15° 以上 65° 以下に傾斜して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】

前記光の偏光状態の調整量が互いに異なる複数の前記位相板が交換可能に挿脱されることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の照明光学系。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の照明光学系と、
前記被照明面を通過した光を基板に導くための投影光学系と、を有することを特徴とする露光装置。

【請求項 5】

前記露光装置が走査式露光装置であり、誘電体多層膜が形成された前記偏光分離板の少なくとも 1 つの面が前記走査式露光装置の走査方向に沿って傾斜して配置されていることを特徴とする請求項 4 に記載の露光装置。

【請求項 6】

請求項 4 又は請求項 5 に記載の露光装置を用いて基板にパターンを投影露光する工程と、投影露光された前記基板を現像する工程とを有するデバイスの製造方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光源からの光を用いて被照明面を照明する照明光学系、露光装置、デバイスの製造方法に関し、特にパターンが描画されたレチクル（マスク）を短波長の光を用いて照明する照明光学系に関する。本発明は、半導体素子、液晶表示素子、撮像素子（CCD 等）又は薄膜磁気ヘッド等を製造するためのリソグラフィ工程に使用される投影露光装置に好適である。

【背景技術】

【0002】

20

半導体素子製造工程のリソグラフィ工程において、露光装置が用いられている。リソグラフィ工程とは、半導体素子の回路パターンを半導体素子となる基板（シリコン基板等）上に投影転写する工程のことである。

【0003】

近年、半導体素子の微細化への要求は益々高くなっており、ライン・アンド・スペースの最小線幅は $0.15 \mu\text{m}$ をきり、 $0.10 \mu\text{m}$ に到達しようとしている。微細化を達成するために、リソグラフィ工程に用いられる投影露光装置の解像力の向上が近年の大きな課題となっている。

【0004】

一般に、リソグラフィ工程における解像可能な線幅 R は、露光光源の波長 λ と、露光装置の開口数 NA 、比例定数 k_1 を用いて、以下の式で表される。

30

【0005】

【数 1】

$$R = k_1 \frac{\lambda}{NA}$$

したがって、波長 λ を短くすれば波長に比例して解像可能な線幅 R は小さくなり、開口数 NA をあげれば反比例して、解像可能な線幅 R は小さくなる。そのため、近年では露光光源の短波長化と高 NA 化が進んでいる。現在主流の投影露光装置の露光光源は波長 248 nm の KrF エキシマレーザであるが、さらに露光波長の短い ArF エキシマレーザ（波長 193 nm ）や、さらには F_2 レーザ（ 157 nm ）を露光光源として用いた投影露光装置が開発されている。また、 NA も現在の主流は $NA 0.80$ 程度であるが $NA 0.90$ の投影露光装置の開発もなされている。

40

【0006】

しかし、光源の短波長化に伴い透過率の高い硝材が限定され、 157 nm の波長において使用に耐え得る硝材として考えられるのは現在のところ蛍石（ CaF_2 ）のみである。そのため単一硝材で色収差を良好に補正するために、投影光学系として、屈折光学系と反射光学系を組み合わせた反射屈折光学系（カタディオ光学系）を使用することが検討されている。

50

【 0 0 0 7 】

カタディオ光学系の例として、図 5 に示すように 45 度ミラーを用いた光学系が提案されている（例えば、特許文献 1 を参照。）。45 度ミラーの反射率は、S 偏光（電場ベクトルの方向が反射面の法線と光線の進行方向に垂直な光線）と P 偏光（S 偏光と直交する光線）とで異なる。そのため、カタディオ光学系ではミラーに対して P 偏光となる光線と S 偏光となる光線とで、レチクル - ウエハ間の透過率が異なるという問題があった。

【 0 0 0 8 】

一方、投影露光装置においてレチクルのライン・アンド・スペースがウエハ上の感光剤に形成する干渉縞のコントラストは、ライン・アンド・スペースの回折光に対して P 偏光であるときより S 偏光であるときの方が高いことが知られている。

10

【 0 0 0 9 】

したがって、図 5 に示すような 45 度ミラーを有するカタディオ光学系の投影光学系を用いた投影露光装置においては、レチクル面を S 偏光と P 偏光の光量比が等しい光で照明すると、パターン方向によってコントラストが変化してしまうという問題が発生する。

【 0 0 1 0 】

図 6 に、y 方向に延びる繰り返しパターンが形成されたレチクルを図 5 に示す光学系に適用した様子を示し、図 7 (a) , (b) に、x 方向に延びる繰り返しパターンが形成されたレチクルを図 5 に示す光学系に適用した様子を示す。図 6 に示した y 方向に延びる繰り返しパターンの回折光は x 方向に曲げられ、回折光の S 偏光成分がミラーに対して S 偏光成分となる。一方図 7 に示した x 方向に延びる繰り返しパターンの回折光は y 方向に曲げられ、回折光の S 偏光成分がミラーに対して P 偏光成分となる。

20

【 0 0 1 1 】

先に述べたようにミラーの反射率は S 偏光成分と P 偏光成分とで異なる。そのため、図 6 に示した繰り返しパターンと、図 7 に示した繰り返しパターンのそれぞれが発生する回折光の S 偏光成分はミラーに対してそれぞれ S 偏光と P 偏光になるため、投影光学系を透過する透過率が異なる。S 偏光成分と P 偏光成分とを合計した透過率はパターンによらず一定のため、ウエハ面に到達した回折光の S 偏光成分と P 偏光成分の光量比率がパターンの方向によって異なってしまふ。先に述べたように S 偏光成分と P 偏光成分とでコントラストが異なる。そのため、カタディオ光学系の投影光学系を用いた投影露光装置において、レチクル面を S 偏光と P 偏光の光量比が等しい光で照明するとパターンの方向によって

30

【 0 0 1 2 】

よって、S 偏光と P 偏光の光量比が等しい光でレチクル面を照明するとパターンの方向によってコントラストが異なり、解像力がパターン方向によって異なる「HV 差」と呼ばれるエラーが発生する。そのため、投影露光装置を使用して製作する半導体素子の歩留まりが低下するという問題が発生する。

【 0 0 1 3 】

そこで、レチクル面を部分偏光光により照明して、ウエハ面での S 偏光と P 偏光の光量比が等しくなるようにする方法も提案されている（例えば特許文献 2 を参照。）。

【特許文献 1】特公平 7 - 1 1 1 5 1 2 号公報

40

【特許文献 2】特開 2 0 0 0 - 3 8 5 2 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 4 】

照明光学系内で所定の偏光比にすると、レチクル面までの照明光学系内の硝材が有する複屈折及びレンズを固定する際にレンズに加わる応力により発生する複屈折により、偏光状態が変化してしまう。

【 0 0 1 5 】

図 8 に、照明光学系内の瞳位置で S 偏光であった光が、レチクル面で S 偏光、P 偏光それぞれのどのような光の強度分布になるかを計算した結果を示す。この照明光学系は、瞳位

50

置に偏光比調整用の光学系を有し、波長157nmの光を光源とし、複屈折量が $m + 2$ (m :平均、 σ :分散)で2nm/cmである蛍石を照明光学系のレンズとして用いている。

【0016】

照明光学系内の瞳位置からレチクルまでの硝材厚は約500mmであり、レンズの枚数は15枚である。右側の図はレチクル面の所定点でのP偏光の光の瞳分布である。S偏光を入射した場合でもレンズ内の複屈折によりP偏光に変わるものがあり、蛍石の複屈折が2nm/cmの時、レチクル面で最大25%のP偏光が発生することがわかる。

【0017】

図9に照明光学系レンズに用いる硝材の複屈折量と照明系内の瞳位置でS偏光であった光がレチクル面の瞳内で最大となるP偏光強度との関係を示す。同一複屈折量における複数の点は鏡筒へのレンズ組み込み角度を変えたものを示し、進相軸方向の組合せによってレチクル面での瞳内の最大P偏光強度が変化する。グラフより明らかなように、複屈折量が増大するにつれて、S偏光からP偏光に変わる割合が増え、5nm/cmの複屈折を許容としたとすると、照明光学系の瞳位置でS偏光であった光のうち90%の光がP偏光に変わってしまう場合がある。

10

【0018】

本発明は上記の事情に鑑みて為されたもので、レチクル面上で所望の偏光照明を実現することのできる照明光学系を提供することを例示的目的とする。

【課題を解決するための手段】

20

【0019】

本発明の側面としての照明光学系は、直線偏光光を射出する光源からの光を用いて、被照明面を照明する照明光学系であって、偏光分離板と、前記偏光分離板からの光の偏光状態を調整するための位相板と、を有し、

前記位相板と前記被照明面との間の光路中に配置される第1光学系の面内複屈折量の平均値を m_1 、標準偏差を σ_1 とすると、前記第1光学系は

$m_1 + 2 \sigma_1 < 1.0 \text{ nm/cm}$ を満たし、

前記光源と前記偏光分離板との間の光路中に配置される第2光学系の面内複屈折量の平均値を m_2 、標準偏差を σ_2 とすると、前記第2光学系は

$m_2 + 2 \sigma_2 < 5.0 \text{ nm/cm}$ を満たすことを特徴とする。

30

【0022】

偏光分離板が照明光学系の光軸に対して15°以上65°以下に傾斜して配置されてもよい。

【0024】

光の偏光状態の調整量が互いに異なる複数の位相板が交換可能に挿脱されてもよい。

【0025】

本発明の他の側面としての露光装置は、上記の照明光学系と、被照明面を通過した光を基板に導くための投影光学系と、を有することを特徴とする。露光装置が走査式露光装置であり、かつ誘電体多層膜が形成された偏光分離板の少なくとも1つの面が走査方向に沿って傾斜して配置されていてもよい。

40

【0026】

本発明の他の側面としてのデバイス製造方法は、上記の露光装置によって基板にパターンを投影露光する工程と、投影露光された基板を現像する工程とを有することを特徴とする。

【0027】

本発明の他の目的及び更なる特徴は、以下、添付図面を参照して説明される実施形態により明らかにされるであろう。

【発明の効果】

【0028】

50

本発明によれば、複屈折を有する硝材を用いた照明光学系で偏光照明を行うことができ、投影露光装置の解像力を向上することができる。照明光学系はレチクル面上で所望の偏光照明を実現することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0029】

[実施の形態1]

以下、図1を用いて本発明の実施の形態1に係る照明光学系について説明する。図1は、この実施の形態に係る照明光学系を含む露光装置Sの概略構成図である。光源1には、KrFエキシマレーザ、ArFエキシマレーザ、F₂レーザ等が用いられる。ビーム成形光学系2は、光源からの光を引き回して、ハエノメレンズ4上に所望の光強度分布を形成する。偏光素子3は、レチクル10面（被照明面）で所定の偏光比となるように偏光比を調整する。偏光素子3は、照明光学系の瞳位置近傍に配置されていてもよい。ハエノメレンズ4は、光源からの光を波面分割し、多数の2次光源を形成する。コンデンサレンズ5は、ハエノメレンズ4により形成された2次光源からの光をマスクングブレード6に重畳的に重ね合わせる。それにより、均一な光強度分布が得られる。光学素子としてのレンズ7とレンズ9とはリレー光学系であり、マスクングブレード6を通過した光を光学素子としての折り曲げミラー8で偏向させることにより、マスクングブレード6とレチクル10とを共役関係にしている。折り曲げミラーで偏向する際に、入射角度が45度から大きく離れると、ミラーに成膜されている誘電体反射膜によって、ミラーに対してP偏光の光とS偏光の光に位相差が発生し、偏光状態が崩れてしまう。そのため、折り曲げミラーに入射する光束は45度±30度以内にしておくことが望ましい。また、誘電体透過膜でも、反射膜に比べては小さいものの面に対して大きく傾くと、偏光によって位相差がついてしまう。そのため、レンズに入射する光束と、レンズから射出する光束は0度±50度以内にしておくことが望ましい。このビーム成形光学系2からレチクル10の直前のレンズ9までを有して照明光学系が構成され、その照明光学系が光源1を含んで照明光学装置が構成される。投影光学系11は、レチクル10上に描画されたパターンを感光剤が塗布されたウエハ（基板）12上に投影する。本発明は偏光素子3により形成された偏光比を維持しつつレチクル10を照明するために、偏光素子3からレチクル10までの光路上の光学部材の複屈折を $m+2$ で $1\text{nm}/\text{cm}$ 以下にしたものである。ここでmは、偏光素子3とレチクル10との間の光路中に配置される光学系の面内複屈折量の平均値であり、は偏光素子3とレチクル10との間の光路中に配置される光学系の面内複屈折量の標準偏差である。これにより、図9に示すように、偏光比の変化を10%以下にすることができ、十分な結像性能を得ることができる。

【0030】

レンズを保持する際に応力が加わるとレンズに複屈折が加わるため、偏光素子3からレチクル10までの光路上の光学部材を保持するには極力応力が加わらないように保持をする必要がある。偏光素子3としては、光路に対して傾けた1つ以上の面に誘電体多層膜を形成したものが望ましい。面が光路（すなわち光軸）に対して垂直であるとS偏光とP偏光との区別が困難となるため、面を傾ける必要がある。面の傾き角度としては15度から65度の間（面を15°以上65°以下に傾斜して配置）が膜の設計上望ましい。2つの面に誘電体多層膜（以下、誘電体膜）を形成する場合には、光軸に対して上向き光線と下向き光線の偏光特性を同じにするために、2つの面を逆方向に傾けて、光軸と垂直方向から見てハの字型となるようにするのが望ましい（図1を参照。）。また、光線が偏光素子3に入射する角度が変化すると、S偏光とP偏光の透過率又は反射率が変化する為に、偏光素子3の各点に入射する光線群の光量重心が光軸と実質的に平行であることが望ましい。

【0031】

なお、図1において、誘電体膜によって偏光比を調整する偏光素子3として透過型のものを例として記載したが、もちろん反射型のものを用いても構わない。誘電体膜によって偏光比を調整する場合、所望の偏光比を実現するために不要な光を反射又は透過により光

路外に散乱させて光量調節を行う。そのためウエハ 1 2 面での照度が低下しスルーポットが低下してしまう。したがって、偏光による H V 差がそれほど影響しない程度のパターンを転写する際には、偏光素子を挿入せずに高照度で露光することが望ましい。

【 0 0 3 2 】

[実施の形態 2]

以下、図 1 及び図 2 を用いて本発明の実施の形態 2 に係る照明光学系について説明する。本実施の形態 2 に係る照明光学系を含む露光装置の概略構成は図 1 に示す実施の形態 1 に係るものと略同様である。光源 1 には、K r F エキシマレーザ、A r F エキシマレーザ、F₂ レーザ等が用いられる。ビーム成形光学系 2 は、光源からの光を引き回して、ハエノメレンズ 4 上に所望の光強度分布を形成する。偏光素子 3 は、レチクル面で所定の偏光比となるように偏光比を調整する。ハエノメレンズ 4 は、光源からの光を波面分割し、多数の 2 次光源を形成する。コンデンサレンズ 5 は、ハエノメレンズ 4 により形成された 2 次光源からの光をマスキングブレード 6 に重畳的に重ね合わせる。それにより、均一な光強度分布が得られる。レンズ 7 とレンズ 9 とはリレー光学系であり、マスキングブレード 6 を通過した光を折り曲げミラー 8 で偏向させることにより、マスキングブレード 6 とレチクル 1 0 とを共役関係にしている。この光源 1 からレチクル 1 0 の直前のレンズ 9 までを有して照明光学系が構成される。投影光学系 1 1 は、レチクル 1 0 上に描画されたパターンを感光剤が塗布されたウエハ 1 2 上に投影する。

10

【 0 0 3 3 】

偏光素子 3 が調整すべき偏光比は偏光素子 3 からレチクル 1 0 までの間に变化する複屈折量に依存する。例えば、偏光素子 3 からレチクル 1 0 面までの光学部材の複屈折量が 2 n m / c m であって S 偏光の 2 5 % が P 偏光に変換され、P 偏光の 2 5 % が S 偏光に変換されるとする。レチクル 1 0 面で S 偏光 : P 偏光 = 2 : 1 の部分偏光照明を行う場合に偏光素子 3 が調整する S 偏光 : P 偏光の偏光比 (= X : Y) を、 $X \times 0.75 + Y \times 0.25 : X \times 0.25 + Y \times 0.75 = 3 : 1$ より、 $X : Y = 5 : 1$ とする。このように、偏光素子 3 とレチクル 1 0 との間に配置される光学系が複屈折をもつため、偏光素子 3 を通過した直後の光の偏光状態とレチクル 1 0 上 (被照明面上) での光の偏光状態とが異なる。

20

【 0 0 3 4 】

実際にはレチクル 1 0 面での瞳内の各点によって変換される偏光比が異なるため、瞳内の平均が所望の値となるように、偏光素子 3 が調整する偏光比を決定するのが望ましい。また、照明系の N A を変更した際や、照明領域を変更した際、光を連続的に照射することによって光学部材の複屈折量が変化した場合には、偏光素子 3 からレチクル 1 0 面までの間に偏光が変化する割合が変化する。

30

【 0 0 3 5 】

そのため、本実施の形態においては図 2 に示すように、光の偏光状態の調整量が互いに異なる 2 つの偏光素子 3 1 と偏光素子 3 2 とを交換可能とし、偏光素子からレチクル面までの間に偏光が変化する割合が変化した際にそれらの偏光素子を交換することが望ましい。なお、交換可能な偏光素子は 2 つに限らず、もちろん 3 つ以上 (複数) でも構わない。また、交換するのではなく、偏光素子の面の傾き角を変えることにより、連続的に偏光を変化させる方法でも構わない。偏光素子 3 が調整する偏光比を設定する際には、S 偏光と P 偏光の光量比を計測する偏光モニタをウエハステージ (不図示) 上に設け、ウエハ 1 2 面に挿入して偏光状態を検出し、S 偏光と P 偏光の光量比が所望の比となるように調整することが望ましい。

40

【 0 0 3 6 】

[実施の形態 3]

以下、図 3 を用いて本発明の実施の形態 3 に係る照明光学系について説明する。図 3 は、この実施の形態に係る照明光学系を含む露光装置 S の概略構成図である。光源 1 には、K r F エキシマレーザ、A r F エキシマレーザ、F₂ レーザ等が用いられる。ランダム偏光板 1 5 は、光源 1 からの光を 2 つの直交する方向に偏光し、それらの 2 つを 1 : 1 の光

50

量比のランダムな偏光とする。ランダム偏光板 15 としては、複屈折を有する硝材で形成されたクサビ状部材と、複屈折を有さない硝材で形成されたクサビ状部材とを重ねて平行平板としたものが使用される。ビーム成形光学系 2 は、光源からの光を引き回して、ハエノメレンズ 4 上に所望の光強度分布を形成する。ハエノメレンズ 4 は、光源からの光を波面分割し、多数の 2 次光源を形成する。コンデンサレンズ 5 は、ハエノメレンズ 4 により形成された 2 次光源からの光をマスキングブレード 6 に重疊的に重ね合わせる。それにより、均一な光強度分布が得られる。レンズ 7 とレンズ 9 とはリレー光学系であり、マスキングブレード 6 を通過した光を折り曲げミラー 8 で偏向させることにより、マスキングブレード 6 とレチクル 10 とを共役関係にしている。偏光素子 3 は、レチクル面で所定の偏光比となるように偏光比を調整する。この光源 1 からレチクル 10 の直前の偏光素子 3 までを有して照明光学系が構成される。投影光学系 11 は、レチクル 10 上に描画されたパターンを感光剤が塗布されたウエハ 12 上に投影する。この実施の形態では、照明系内の光学部材の複屈折に影響を受けないようにレチクル 10 面の直上で偏光素子 3 により偏光比を調整している。すなわち、偏光素子 3 とレチクル 10 との間の光路中には、パワーを有する光学部材を配置しない。

10

【 0 0 3 7 】

偏光素子 3 に入射する光の S 偏光と P 偏光との光量比は 1 : 1 であるランダム偏光であることが望ましい。というのは、S 偏光と P 偏光との光量比が 1 : 1 であるランダム偏光は照明系内の光学部材が複屈折を有して偏光状態を変えてしまう場合でも、S 偏光から P 偏光に変化する光と P 偏光から S 偏光に変化する光の量が等しいからである。その結果、光学部材の複屈折量によらず、偏光素子 3 に S 偏光と P 偏光との光量比が 1 : 1 に維持されたランダム偏光として入射する。

20

【 0 0 3 8 】

そこで、ランダム偏光板 15 により、光源 1 からの光を S 偏光と P 偏光との光量比が 1 : 1 のランダム偏光である偏光状態に変換している。なお、ランダム偏光板を備えることによって、光源から偏光素子までの間の光学部材の複屈折量を考慮する必要がなくなるため、他の実施の形態においてもランダム偏光板を光源と偏光素子との間に配置することが望ましい。また、レーザーからの光が直線偏光である場合には、ランダム偏光板の代わりに / 4 板 (/ 4 位相板) を用いてもよい。

【 0 0 3 9 】

走査式の投影露光装置 (走査式露光装置) においては、被照明面としてのレチクル 10 面は一般に短手方向と長手方向とを有する長方形状、楕円形状、弓形状等の照明領域によって照明される。そしてその短手方向に沿って走査される。この実施の形態 3 では、偏光素子の誘電体膜形成面を投影露光装置の走査方向、すなわち照明領域の短手方向に傾ける構成とすることができる。それにより、偏光素子を光路中に挿入するための光軸方向のスペースを削減することができる。

30

【 0 0 4 0 】

[実施の形態 4]

以下、図 4 を用いて本発明の実施の形態 4 に係る照明光学系について説明する。図 4 は、この実施の形態に係る照明光学系を含む露光装置 S の概略構成図である。この実施の形態 4 の構成は、図 3 に示す実施の形態 3 の構成に加え、レンズ 9 とレチクル 10 との間に位相板 (/ 2 板) 14 と平行平板 13 とが交換可能に挿脱できるように (挿脱可能に) 構成されている。

40

【 0 0 4 1 】

誘電体膜を用いて偏光させる偏光素子の場合、膜面における S 偏光の透過率を P 偏光の透過率に対して高く構成することは容易であるが、P 偏光の透過率を S 偏光の透過率に対して高くすることは難しい。そこで例えば、S 偏光 : P 偏光 = 1 : 3 の光量比の偏光で照明を行う場合には、偏光素子 3 によって S 偏光 : P 偏光 = 3 : 1 に予め調整する。その後 / 2 板 (/ 2 位相板) 14 を用いて位相を 180° 回転させることによって偏光方向を 90° 回転させ、レチクル 10 面において S 偏光 : P 偏光 = 1 : 3 の光量比の偏光を実

50

現する。

【 0 0 4 2 】

[実施の形態 5]

以下、図 1 0 を用いて本発明の実施の形態 5 に係る照明光学系について説明する。図 1 0 は、この実施の形態に係る照明光学系を含む露光装置 S の概略構成図である。この実施の形態 5 の構成は、図 1 に示す実施の形態 1 の構成では、偏光素子 3 が誘電体多層膜からなる偏光分離板で所望の偏光以外を捨てており光のロスが発生していた問題点を改良する物である。光源の偏光状態が所定の状態（例えば直線偏光）である場合に、光源の偏光状態を位相板 1 6 で変換することによって、ロスを少なくして所定の偏光状態にしている。実施の形態 5 に係る照明光学系の場合には、光源の偏光状態を偏光素子である位相板 1 6 まで保存する必要があるため、光源から偏光素子までの光路上の光学部材の複屈折も $m + 2$ で $1 \text{ nm} / \text{cm}$ 以下にしたものである。これにより、図 9 に示すように、偏光比の変化を 1 0 % 以下にすることができ、十分な結像性能を得ることができ、しかも光量のロスが少ない為、高照度で照明することができる。

10

【 0 0 4 3 】

[実施の形態 6]

以下、図 1 1 を用いて本発明の実施の形態 6 に係る照明光学系について説明する。図 1 1 は、この実施の形態に係る照明光学系を含む露光装置 S の概略構成図である。この実施の形態 6 の構成は、図 1 0 に示す実施の形態 5 の構成に、さらに偏光分離板 3 を偏光素子である位相板 1 6 よりも光源側に加えたものである。実施の形態 5 に係る照明光学系の場合には、光源の偏光状態を偏光素子である位相板 1 6 まで厳密に保存する必要があるため、光源から偏光素子までの光路上の光学部材（第 2 光学系）の複屈折も $m + 2$ で $1 \text{ nm} / \text{cm}$ 以下にする必要があった。実施の形態 6 においては、光源の偏光状態を略保存し、崩れた偏光状態を、偏光分離板 3 により必要な偏光光を取り出すようにしたものである。これにより、光源から偏光素子までの光路上の光学部材の複屈折を $m + 2$ で $5 \text{ nm} / \text{cm}$ 以下まで許容したとしても、位相板 1 6 に入射する光の偏光状態を所望の状態となる。また、実施の形態 1 に比べ、偏光分離板 3 に入射する光の偏光状態が略保存されているため、反射して被照明面に到達しない光量が少なくなるため、光量ロスが少なくなる。これにより、図 9 に示すように、偏光比の変化を 1 0 % 以下にすることができ、十分な結像性能を得ることができ、しかも、光量のロスが少ない為、高照度で照明することができる。

20

30

【 0 0 4 4 】

なお、説明は主に投影光学系の偏光による透過率差を補正するための部分偏光照明について説明したが、所定のパターンのコントラストを向上させるために、回折光が S 偏光のみである偏光照明を行う際にも本発明は適用可能であることはいうまでもない。

【 0 0 4 5 】

[実施の形態 7]

次に、図 1 2 及び図 1 3 を参照して、上述の露光装置 S を利用したデバイスの製造方法の実施例を説明する。図 1 2 は、デバイス（IC や L S I などの半導体チップ、LCD、CCD 等）の製造を説明するためのフローチャートである。ここでは、半導体チップの製造を例に説明する。ステップ 1 0 1（回路設計）ではデバイスの回路設計を行う。ステップ 1 0 2（レチクル製作）では、設計した回路パターンを形成したレチクルを製作する。ステップ 1 0 3（ウエハ製造）ではシリコンなどの材料を用いてウエハ（基板）を製造する。ステップ 1 0 4（ウエハプロセス）は前工程と呼ばれ、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。ステップ 1 0 5（組み立て）は後工程と呼ばれ、ステップ 1 0 4 によって作成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）等の工程を含む。ステップ 1 0 6（検査）では、ステップ 1 0 5 で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ 1 0 7）される。

40

50

【 0 0 4 6 】

図 1 3 は、ステップ 1 0 4 のウエハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ 1 1 1 (酸化) ではウエハの表面を酸化させる。ステップ 1 1 2 (CVD) では、ウエハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ 1 1 3 (電極形成) では、ウエハ上に電極を蒸着などによって形成する。ステップ 1 1 4 (イオン打ち込み) ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ 1 1 5 (レジスト処理) ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ 1 1 6 (露光) では、露光装置 S によってレチクルの回路パターンをウエハに露光する。ステップ 1 1 7 (現像) では、露光したウエハを現像する。ステップ 1 1 8 (エッチング) では、現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ 1 1 9 (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が形成される。この製造方法によれば従来よりも高品位のデバイスを製造することができる。

10

【 0 0 4 7 】

以上、本発明の好ましい実施の形態を説明したが、本発明はこれらに限定されるものではなく、その要旨の範囲内で様々な変形や変更が可能である。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 4 8 】

【図 1】本発明の実施の形態 1 に係る照明光学系を含む露光装置の概略構成図である。

【図 2】本発明の実施の形態 2 に係る照明光学系を含む露光装置の概略構成図である。

【図 3】本発明の実施の形態 3 に係る照明光学系を含む露光装置の概略構成図である。

20

【図 4】本発明の実施の形態 4 に係る照明光学系を含む露光装置の概略構成図である。

【図 5】従来のカタディオ光学系の構成例を示すブロック図である。

【図 6】y 方向に延びる繰り返しパターンが形成されたレチクルを図 5 に示す光学系に適用した様子を示すブロック図である。

【図 7】x 方向に延びる繰り返しパターンが形成されたレチクルを図 5 に示す光学系に適用した様子を示すブロック図であり、(a) は y 方向に沿って見た正面図であり、(b) は x 方向に沿って見た側面図である。

【図 8】複屈折量が $2 \text{ nm} / \text{cm}$ の照明光学系における偏光変化の計算結果を示す偏光光量分布図である。

【図 9】照明光学系レンズに用いる硝材の複屈折量と照明系内の瞳位置で S 偏光であった光がレチクル面の瞳内で最大となる P 偏光強度との関係を示すグラフである。

30

【図 1 0】本発明の実施の形態 5 に係る照明光学系を含む露光装置の概略構成図である。

【図 1 1】本発明の実施の形態 6 に係る照明光学系を含む露光装置の概略構成図である。

【図 1 2】図 1 に示す露光装置によるデバイス製造方法を説明するためのフローチャートである。

【図 1 3】図 1 2 に示すステップ 1 0 4 の詳細なフローチャートである。

【符号の説明】

【 0 0 4 9 】

S : 露光装置

1 : 光源

40

2 : ビーム成形光学系

3 , 3 1 , 3 2 : 偏光素子

4 : ハエノメレンズ

5 : コンデンサレンズ

6 : マスキングブレード

7 : レンズ (光学素子)

8 : ミラー (光学素子)

9 : レンズ (光学素子)

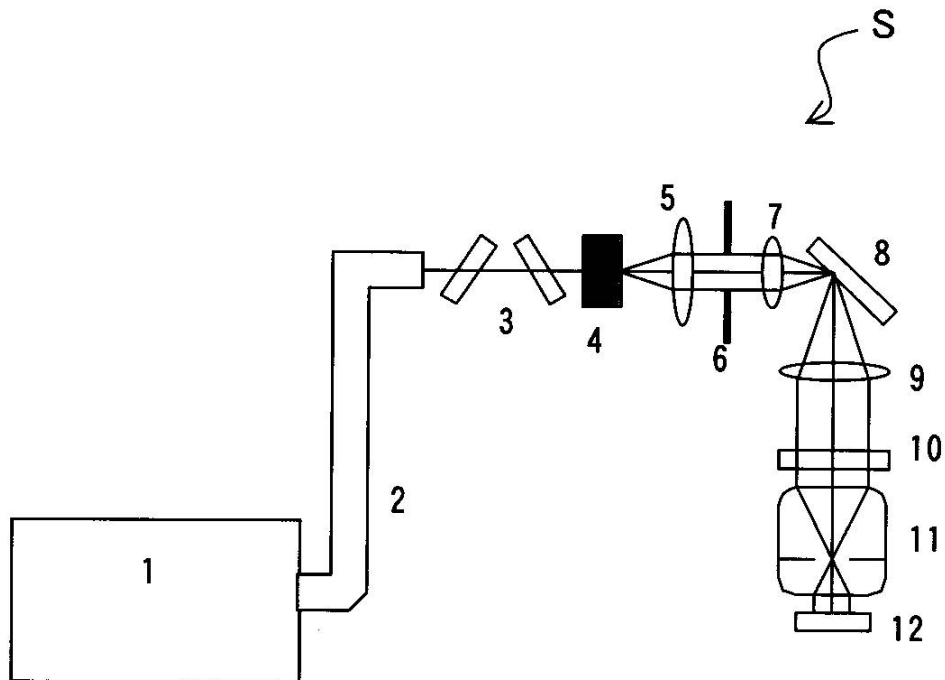
1 0 : レチクル

1 1 : 投影光学系

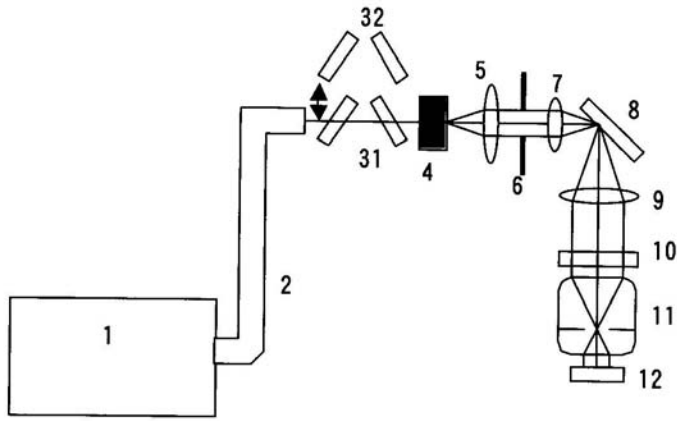
50

- 1 2 : ウエハ (基板)
- 1 3 : 平行平板
- 1 4 : 位相板 (/ 2 板)
- 1 5 : ランダム偏光板
- 1 6 : 位相板

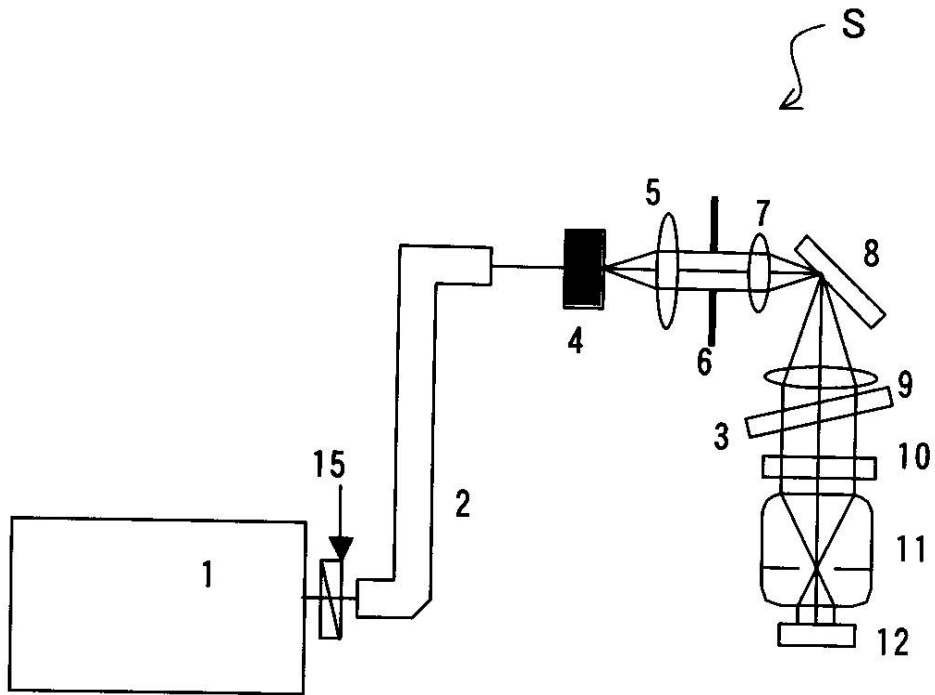
【 図 1 】



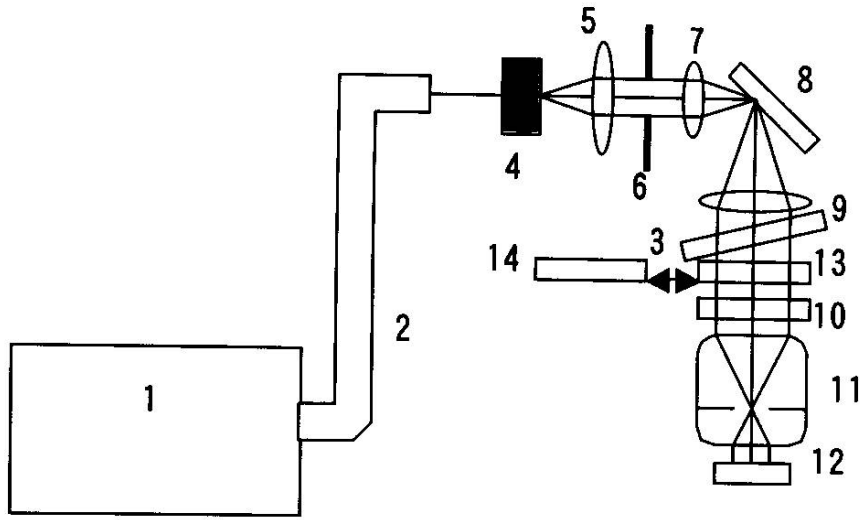
【 図 2 】



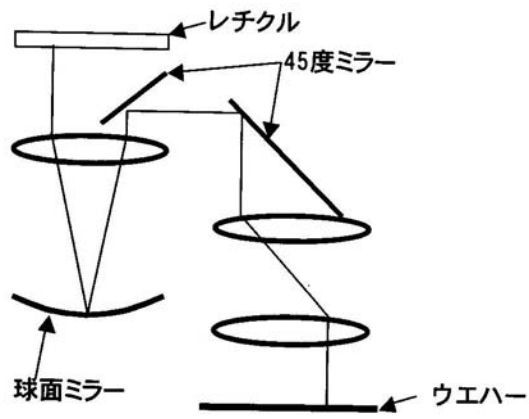
【 図 3 】



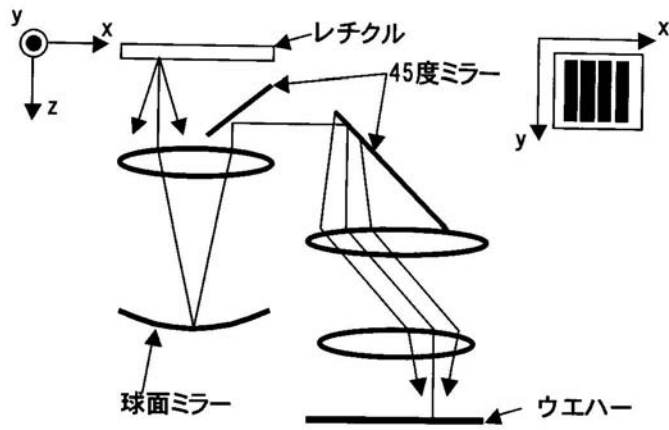
【 図 4 】



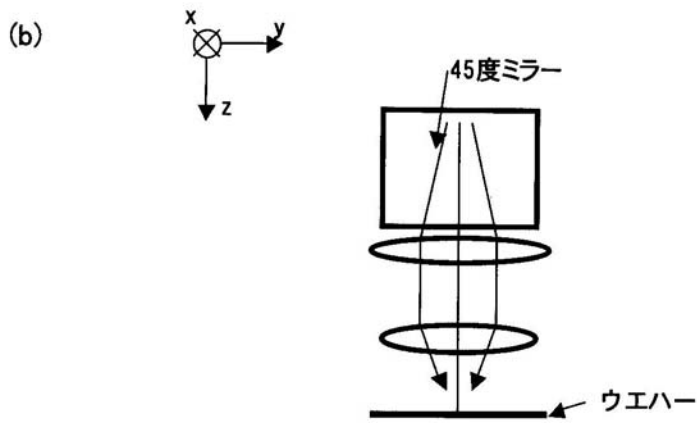
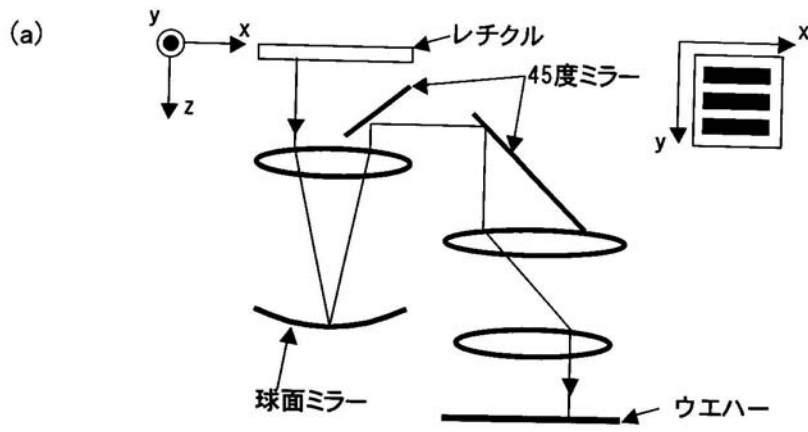
【 図 5 】



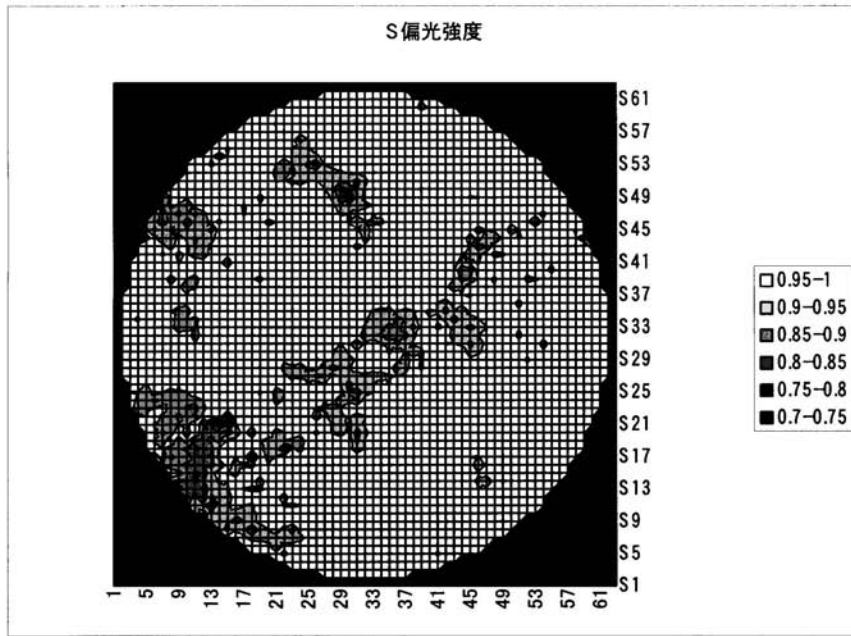
【図6】



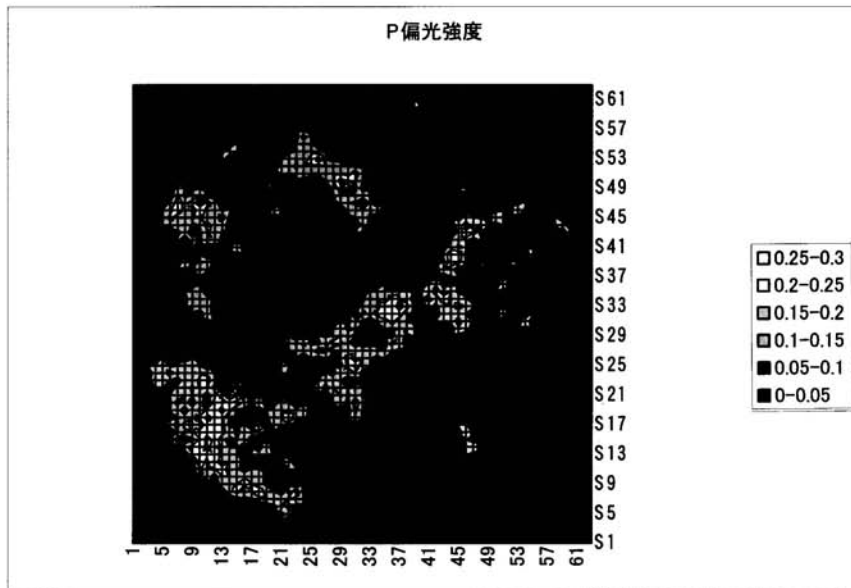
【 図 7 】



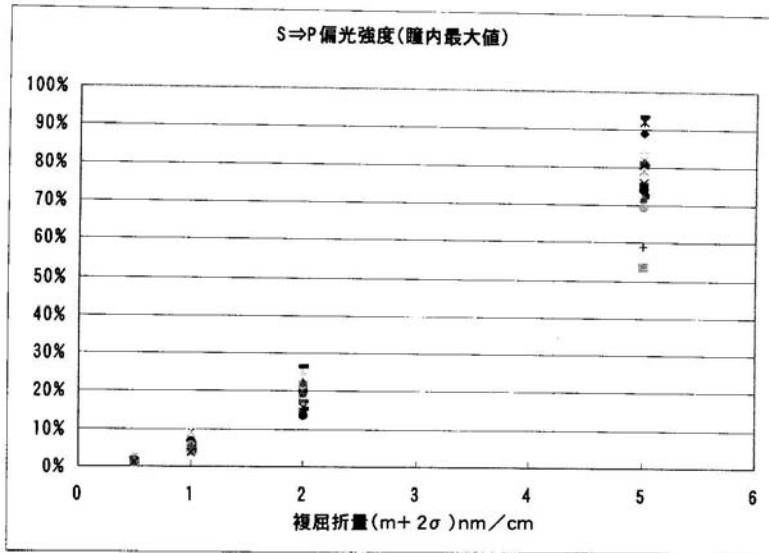
【 図 8 】
(a)



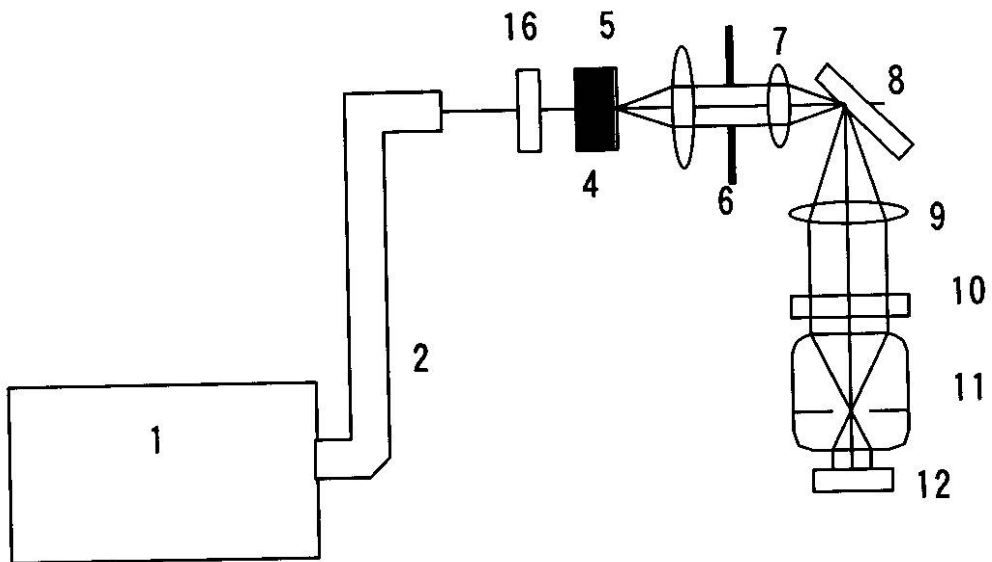
(b)



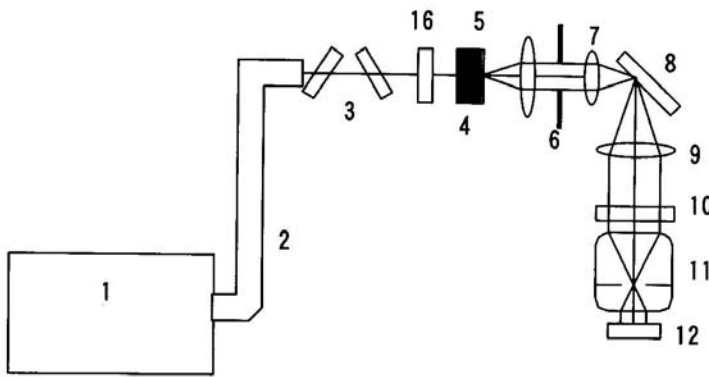
【 図 9 】



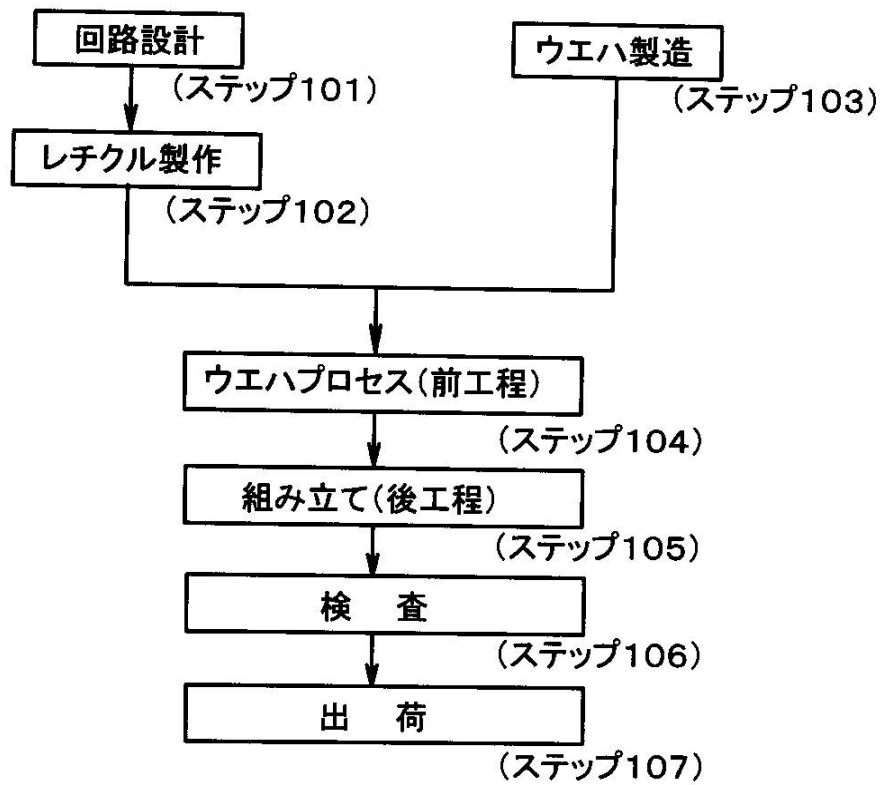
【 図 10 】



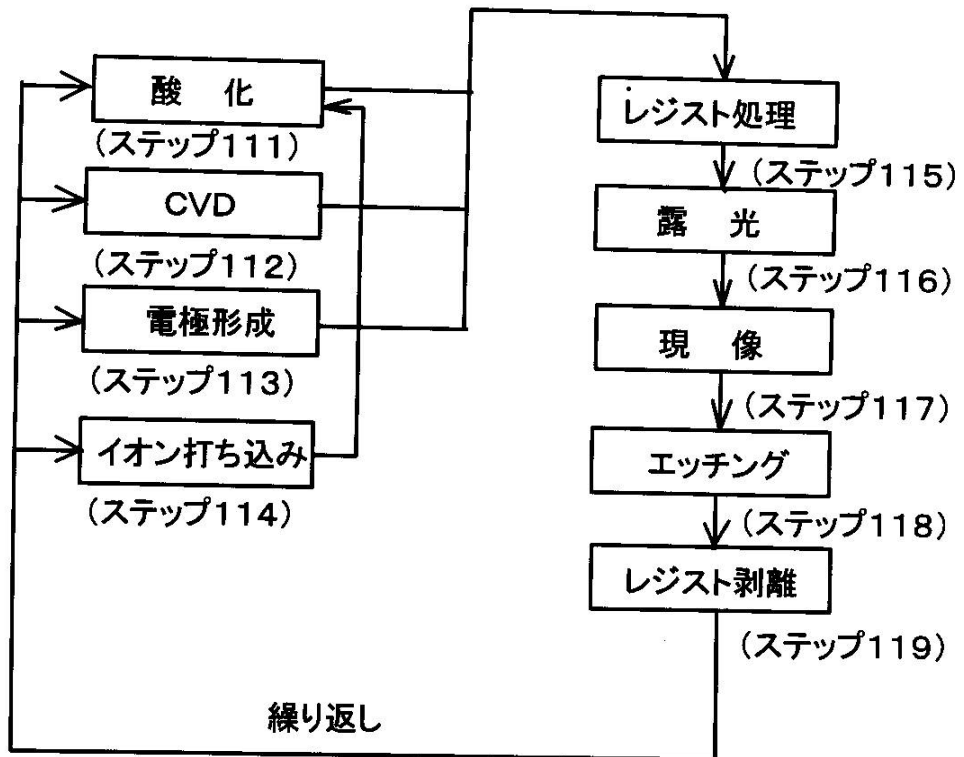
【図11】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2000-003852(JP,A)
特開2004-087987(JP,A)
特開2003-090978(JP,A)
特開平06-140306(JP,A)
国際公開第03/009017(WO,A1)
特開2000-114157(JP,A)
特開2003-131002(JP,A)
特開平06-120110(JP,A)
特表2003-515192(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027
G03F 7/20 - 7/24