

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2008-16516

(P2008-16516A)

(43) 公開日 平成20年1月24日(2008.1.24)

(51) Int.CI.

H01L 21/027 (2006.01)

F 1

H01L 21/30

515D

テーマコード(参考)

5FO46

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号

特願2006-183851 (P2006-183851)

(22) 出願日

平成18年7月3日(2006.7.3)

(71) 出願人 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

(74) 代理人 100076428

弁理士 大塚 康徳

(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

(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

最終頁に続く

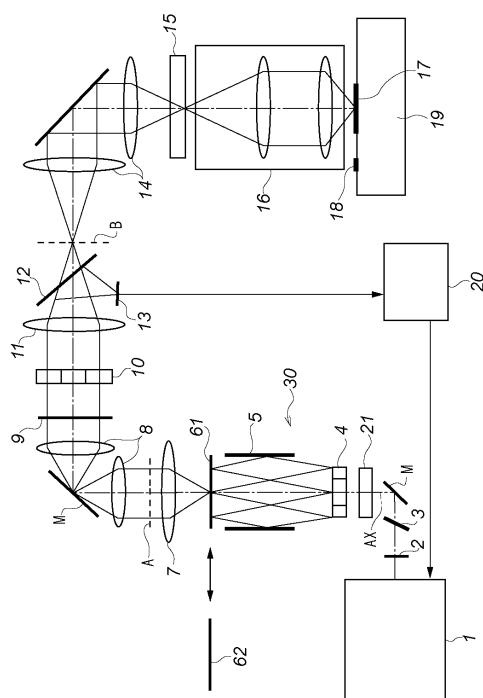
(54) 【発明の名称】露光装置

## (57) 【要約】

【課題】投影光学系の複屈折に起因して基板上で発生する像高間における偏光度の差を低減する。

【解決手段】基板を露光する露光装置は、照明光で原版15を照明する照明光学系30と、原版15のパターンを基板17に投影する投影光学系16とを備える。照明光は、互いに直交する主偏光成分及び副偏光成分を含む。照明光学系30は、主偏光成分の方向を変えることなく主偏光成分と副偏光成分との間の位相差を連続的に調整する機能を有する位相差調整ユニット21を含む。

【選択図】図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

基板を露光する露光装置であって、  
 照明光で原版を照明する照明光学系と、  
 前記原版のパターンを基板に投影する投影光学系とを備え、  
 前記照明光は、互いに直交する主偏光成分及び副偏光成分を含み、  
 前記照明光学系は、前記主偏光成分の方向をえることなく前記主偏光成分と前記副偏光成分との間の位相差を連続的に調整する機能を有する位相差調整ユニットを含む、  
 ことを特徴とする露光装置。

## 【請求項 2】

前記位相差調整ユニットは、一軸性結晶で構成された位相差調整板を含み、前記位相差調整板の正面と前記照明光学系の光軸とのなす角を調整することが可能であることを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置。 10

## 【請求項 3】

前記位相差調整ユニットは、前記位相差調整板を前記照明光学系の光軸に直交する軸の回りで回転させるアクチュエータを更に含むことを特徴とする請求項 2 に記載の露光装置。 20

## 【請求項 4】

前記位相差調整ユニットは、ソレイユ補正器を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置。 20

## 【請求項 5】

前記ソレイユ補正器は、2枚の楔を含み、前記位相差調整ユニットは、前記照明光学系の光軸方向における前記2つの楔の合計の厚さを変更するアクチュエータを更に含むことを特徴とする請求項 4 に記載の露光装置。

## 【請求項 6】

前記照明光の主偏光成分の光量を  $I_m$ 、前記照明光の副偏光成分の光量を  $I_s$ 、原版上における前記主偏光成分と前記副偏光成分との間の位相差を  $\phi$ 、前記投影光学系のリターン量を  $R_oP$  とし、 $(I_m / (I_m + I_s))$  を  $R_oP$ としたときに、(1)式を満たす、

## 【数 1】

$$|\sin \phi| \leq \frac{0.02}{|\sin \theta| \sqrt{R_oP - R_oP^2}}$$

… (1)

ことを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置。 40

## 【請求項 7】

前記原版上における偏光状態を計測する計測装置を更に備え、前記計測装置による計測結果に基づいて前記位相差調整ユニットが制御されることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

## 【請求項 8】

前記原版上における偏光状態を計測する計測ユニットと、  
 前記計測装置による計測結果に基づいて前記位相差調整ユニットを制御する位相差制御ユニットを更に備えることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の露光装置。  
 【請求項 9】 50

デバイス製造方法であって、  
請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の露光装置を使って基板を露光する工程と、  
前記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。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、基板を露光する露光装置に関する。

【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。

【0003】

近年、半導体素子の微細化が進んでおり、 $0.15\text{ }\mu\text{m}$ 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】

投影露光装置の解像力を向上させる方法として、投影光学系の高NA化と、露光波長の短波長化があり、両者とも近年ますます加速している。

【0005】

投影光学系の高NA化については、1990年代にはNAが0.6程度の投影光学系が主流であった。近年では、NAが0.9を超える投影光学系が開発されている。更には、基板を水等の高屈折液体に浸す液浸露光技術を用いたNA1.0を超える投影光学系も設計が進められている。

【0006】

一方、露光波長についても短波長化が進んでいる。従来は、光源としてKrFエキシマーレーザーを用いて波長 $248\text{ nm}$ の光で露光を行っていた。しかし、近年では、ArFエキシマーレーザーを光源とした波長 $193\text{ nm}$ の光、更には、 $F_2$ レーザーを光源とした波長 $157\text{ nm}$ の光で露光が使われるに至っている。

【0007】

高NAリソグラフィにおいては、感光剤内でP偏光同士の光が干渉縞のコントラストを下げる現象を考慮すべきである。P偏光とは、基板上に入射する光の電場ベクトルが、光線と基板の法線とを含む平面にある光であり、TM偏光とも呼ばれる。感光剤は、光の電場強度によって感光する。P偏光の電場ベクトルは干渉縞を発生させず、場所によらず一律に強度を持つ強度分布を基板上に形成する。したがって、P偏光は、干渉縞のコントラストを下げる。

【0008】

一方、S偏光同士の光は、高コントラストな干渉縞を発生する。S偏光とは、基板上に入射する光の電場ベクトルが、基板に平行な平面にある光であり、TE偏光とも呼ばれる。マスクをS偏光のみで照明することにより良好な結像性能を得ることができる。

【0009】

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。

【0010】

10

20

30

40

50

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。

【0011】

回折光 $E_+$ と $E_-$ は、振動数を $\nu$ 、波長を $\lambda$ として、(2)、(3)式のように表現されうる。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。

【0012】

【数2】

$$E_+ = \begin{pmatrix} -Ep \cos \theta \\ Es \\ -Ep \sin \theta \end{pmatrix} e^{2\pi i(\nu t - \frac{z \cos \theta}{\lambda} + \frac{x \sin \theta}{\lambda})}$$
10

・・・(2)

【0013】

【数3】

$$E_- = \begin{pmatrix} -Ep \cos \theta \\ Es \\ Ep \sin \theta \end{pmatrix} e^{2\pi i(\nu t - \frac{z \cos \theta}{\lambda} - \frac{x \sin \theta}{\lambda})}$$
20

【0014】

・・・(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。

【0015】

【数4】

$$E_+ + E_- = \begin{pmatrix} -2Ep \cos \theta \cos(2\pi \frac{x \sin \theta}{\lambda}) \\ 2Es \cos(2\pi \frac{x \sin \theta}{\lambda}) \\ -2iEp \sin \theta \sin(2\pi \frac{x \sin \theta}{\lambda}) \end{pmatrix} e^{2\pi i(\nu t - \frac{z \cos \theta}{\lambda})}$$
30
40

・・・(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。

【0016】

## 【数5】

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

・・・(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 / sin を持つラインアンドスペースの強度分布となる。

## 【0017】

## 【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 が大きくなる。例えば、Ar F波長 = 193 nmで、周期 L 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 を図3に示す。バイナリーマスク（マスク上にCrで遮光をしただけのマスク）を用いると、160 nmを切るあたりで回折光のなす角 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 が45度となる。

## 【0018】

が45度となると、(6)式で示す項の係数内のcos2 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Epは、干渉縞の振動幅の項には全くあらわれず、x方向に振動しないsin<sup>2</sup>のみにあらわれる。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となってしまうことが説明される。

## 【0019】

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方向に周期を持った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。

## 【0020】

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なになってくる。

## 【0021】

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、 はコヒーレンスファクターである。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、バイナリー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、バイナリーマスクやAtt-P SM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ポート照明は、バイナリーマスクやAtt-P SM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、バイナリーマスクやAtt-P SM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。

10

#### 【0022】

図5は、偏光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。

#### 【0023】

エキシマレーザー1は、光源として使用される。レーザー1は、例えば、KrFエキシマレーザー(波長248nm)、ArFエキシマレーザー(波長193nm)、又は、F<sub>2</sub>レーザー(波長157nm)を含みうる。

#### 【0024】

平面板2は、光源1と露光装置とを空間的に分離する。レーザーと露光装置で、空間内の清潔度の要求が異なるため、これらは平面板2によって空間的に分離され、個別にページされる。

20

#### 【0025】

減光フィルター3は、被照明面の照度を調整するために、多段の減光フィルターが切り替え可能に配置されている。

#### 【0026】

4はマイクロレンズアレイ(マイクロシリンドリカルレンズアレイでも構わない、以下MLAと呼ぶ)である。レーザー1と投影露光装置とは分離されて別置きされ、異なる階に配置されることがある。その為、光源と投影露光装置とで床振動が非同期に発生し、レーザー1と投影露光装置との間で軸ずれや軸傾きが絶え間なく発生しうる。4はいわゆるフィールドタイプのハエノ目レンズとしての役割を持つMLAであり、MLAに入射する光の光軸が傾いたとしても、MLAの光軸を中心とした所定の角度分布で光を出射する。これにより、床振動等により軸の傾きが発生した場合でも、投影露光装置には一定の角度分布の光が供給されるようになる。

30

#### 【0027】

4のMLAから射出された光は、内面反射部材5内で反射されることにより、内面反射部材5の出口で略均一な分布を得ることができる。内面反射部材は、内面反射型インテグレータであり、オプティカルロッドとも呼ばれる。内面反射部材により分布が均一化されるため、内面反射部材から射出する光は、レーザーと投影露光装置との間に光路ずれが発生していても均一な光となる。上述のMLAと内面反射部材を組み合わせることによって、レーザーと投影露光装置との間に光軸ずれや光軸傾けが発生しても、内面反射部材の射出面には、投影露光装置の光軸に対して均一で、一定の角度分布を持った光が得られる。

40

#### 【0028】

光学素子61、62は、計算機ホログラム(Computer Generated Hologram、以下CGHと呼ぶ)などの回折光学素子、又は、MLAなどの屈折光学素子である。光学素子61、62は、選択的に光路に入れられうる。

#### 【0029】

第1コンデンサレンズ7は、光学素子(CGH又はMLA)61、62のフーリエ像をAの位置に形成する。光学素子61、62に使用されるMLAは、六角形状のマイクロレ

50

ンズが並んだもの（六角M L A）、又は、円形状のマイクロレンズが並んだもの（円M L A）である。六角M L Aの場合にはAの位置に略均一な六角形の照度分布が、円M L Aの場合には、Aの位置に略均一な円形の照度分布が形成される。C G Hは任意の形状の Fourier 变換像を形成することが可能であり、光学素子 6 1、6 2としてC G Hを用いれば、輪帶形状や四重極形状、ダイポール形状などが形成可能である。

#### 【0030】

変倍リレー光学系 8 は、A の分布をハエノ目レンズ 10 の入射面に様々な倍率で投影する。

#### 【0031】

位相板 9 は、レーザー 1 から提供される光の偏光状態を変換する。例えば、レーザー 1 からの光が紙面に垂直な方向に電場ベクトルを持つ偏光であった場合について説明する。マスク 15 を紙面に垂直な方向に電場ベクトルを持つ偏光で照明する場合には、位相板 9 は光路から外されてレーザーの偏光度がそのまま保たれて、マスク面を照明する。一方、マスクを紙面に平行な方向に電場ベクトルを持つ偏光で照明する際には、紙面に垂直な方向と 45 度の方向に進相軸を持つ / 2 位相板 9 が光路中に挿入される。これにより、レーザー 1 からの光の電場ベクトル方向が 90 度回転されて、紙面に平行な方向に電場ベクトルを持つ偏光でマスク面を照明する。

#### 【0032】

ハエノ目レンズ 10 は、照明光学系の瞳位置に複数の 2 次光源を形成する。ハエノ目レンズ 10 の代わりに、マイクロレンズアレイや、マイクロシリンドリカルレンズアレイなどを使ってもよい。

#### 【0033】

第 2 コンデンサレンズ 11 は、B の位置に 2 次光源からの光を重畳的に重ね合わせることにより、略均一な光分布を形成する。B の位置には、被照明面の照明領域を制御する可変絞り（不図示）が配置される。リレー光学系 14 は、B における光分布をパターンが描画されたマスク 15 に投影する。

#### 【0034】

投影光学系 16 は、感光剤が塗布された基板（ウエハ）17 上にマスク 15 に描画されたパターンを投影する。通常の投影光学系 16 は、マスク 15 のパターンを基板 17 上に 1 / 4 倍で縮小投影する。基板ステージ（ウエハステージ）19 は、基板 17 上に複数の転写を行うように基板 17 をステップさせる。走査露光を行う投影露光装置においては、基板ステージ 19 は、マスク 15 と同期して基板 17 を走査（スキャン）する。

#### 【0035】

露光方式としては、一括露光方式と走査露光方式の 2 つがある。一括露光方式とは、マスクのパターンと基板を共役な位置に固定して、感光剤の好適露光量になるまで露光を行うものである。走査露光方式とは、マスクのパターンの一部を照明し、瞬間瞬間にマスクの一部を基板上に投影露光し、マスクと基板を同期走査することによって、パターンの全領域を基板上に転写露光する方法である。この際、パターンの各個所が露光される間に感光剤の好適露光量となるように同期走査する必要がある。

#### 【0036】

一括露光方式の場合の露光量制御方法は、基板への露光量をモニタして、基板上の露光量が所望の露光量になった際にレーザーの発振を終了する、もしくはシャッターにより露光を終了する方法などが用いられる。

#### 【0037】

一方、走査露光方式の場合の露光量制御方法としては、基板とマスクの走査速度を一定にし、照明領域を通る時間で所望の露光量となる照度で露光するように、照度を一定に制御する定照度制御を行う方法がある。また、走査露光方式の場合の露光量制御方法として、照度の変動に同期して走査速度を変える方法もある。定照度制御には、レーザーの発振周波数を制御する方法や、レーザーへの印加電圧を制御する方法などがある。走査露光方式の露光量制御方法については、特許文献 2 などで開示されている。

10

20

30

40

50

## 【0038】

いずれの方法においても、基板への露光中に、露光量をモニタして露光量制御を行うことが必要である。このため投影露光装置には露光光を分岐して、露光中に露光量をモニタする露光量センサが搭載されている。

## 【0039】

ハーフミラー12は、露光光を分岐して、Bと略共役な場所を露光量センサ13の位置に作りだす。露光量センサ13は、基板への露光と並行して露光量をモニタする。照度計18は、基板17面上の照度を計測する。

## 【0040】

露光量センサ13の出力と、基板17上への照度との関係は、投影光学系16の透過率変化などによって変化しうる。そこで、定期的に照度計18を光路内に入れて、照度計18の出力と露光量モニタ13の出力とを関係付けて、その関係を示す情報が露光量制御装置20に保存される。露光時には、露光量モニタ13の出力が露光量制御装置20に提供され、前記情報に基づいて基板の露光量を算出し、それに基づいて、前述の露光量制御方法に従い露光量制御が行われる。

## 【0041】

上述の従来例は、レーザー光の偏光状態を位相板を用いて所望の偏光状態となるようとするものである。直線偏光フィルターを用いて直線偏光を実現する方法が提案されている。直線偏光フィルターは、所定の直線偏光のみを透過するフィルターである。直線偏光フィルターについては、例えば、オプトロニクス社の「増補改訂版 オプトロニクス技術活用のための光学部品の使い方と留意点」(末田哲男著)の76ページにシートポーラライザーとして紹介されている。

【特許文献1】WO 2004 / 051717号明細書

【特許文献2】特開2003 - 133216号公報

【特許文献3】特開2003 - 297729号公報

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0042】

投影光学系のレンズが複屈折を有するために結像性能が低下する。投影光学系のレンズには、石英などの本質的には複屈折を持たない硝材が使用される。しかし、これらの硝材も、溶かした硝材を固める際の温度不均一性に起因する応力歪、レンズの加工時の加工歪によって、若干の複屈折を持つてしまう。図6は、レンズ内の複屈折の分布を模式的に示したものである。色の濃さが複屈折量を示し、矢印が進相軸の方向を示す。複屈折は、二つの直交する偏光光に対して、屈折率が異なって作用する現象である。レンズを透過後に二つの直交する偏光の波面の進んだ距離の差分を複屈折量とよびnmで示し、波面が進む偏光の方向を進相軸と呼ぶ。図6にあるように、複屈折分布はレンズの周辺に行くに従い複屈折量が増える傾向をもち、進相軸方向は放射方向を向く傾向をもつ。

## 【0043】

また、投影光学系では、それ以外にも、反射防止膜や反射膜によっても複屈折が発生する。

## 【0044】

以上のように、投影光学系は製造上無視できない量の瞳内複屈折分布が発生する。これら瞳内複屈折分布は、像高毎に異なった分布を持つ。図7は投影光学系を模式的に示したものである。マスクと基板が結像関係にあり、実線が軸上像高に結像する光線(軸上光線)、破線が軸外像高に結像する光線(軸外光線)を示す。簡単のため、投影光学系16のレンズ群は、第1レンズ16a、第2レンズ16bで代表されている。軸上光線は、第1レンズ16aの領域1aと第2レンズ16bの領域2aを通る。また、軸外光線は、第1レンズ16aの領域1bと第2レンズ16bの領域2bを通る。レンズの複屈折分布は、前述の図6のように均一ではない分布を持つので、軸上光線と軸外光線では異なる複屈折の影響を受けることとなる。また、同じ軸上光線でもレンズのどの位置を通るかによって

10

20

30

40

50

影響を受ける複屈折量が異なるため、複屈折分布は瞳内でも均一ではない分布を持つこととなる。

#### 【0045】

投影光学系16の複屈折は、2つの効果により像性能の悪化を引き起こす。1つは偏光毎に光路長が異なるために、基板上で位相差が生じ、偏光間で波面収差が生じ像性能劣化を引き起こす効果である。もう1つは、マスク上の偏光度を高めても投影光学系内の複屈折により基板上での偏光度が低下してしまい像性能劣化を引き起こす効果である。前者については、図4の上段に示したような特定の偏光成分しかない偏光照明時には、特定偏光の波面収差を補正するように、収差補正機構を駆動することによって抑えることができる。しかし、無偏光照明時や、図4の下段にあるような様々な方向の偏光成分がある場合には、収差補正機構を駆動しても偏光成分間の収差が補正しきれない収差として残存してしまう。しかし、本出願人の検討によれば、本効果による像性能の低下については、後者の基板上で偏光度が低下してしまうことによる像性能劣化に比べて劣化量が小さいことがわかっている。

#### 【0046】

偏光度変化による転写線幅変化(CD(Critical Dimension)変化)について、図8を用いて説明する。偏光度を、全光量に対する主偏光成分の光量の割合、すなわちRoP(Ratio of Polarized light intensity)として定義する。主偏光成分とは、図4において矢印で示したような必要とされる偏光成分のことをいう。主偏光成分と直交する不要な偏光成分のことを副偏光成分という。RoPが1であれば、光量のすべてが主偏光成分ということになり、RoPが0.5であれば、主偏光成分と副偏光成分の比が1:1ということになる。図8は、基板上のRoP変化に対する転写パターンの線幅を示す。露光条件は、投影光学系のNAが1.35、コヒーレンスファクターが0.20、マスクはレベンソン型位相シフトマスクである。転写線幅は45nmであり、線が複数あるのはLine間のSpaceを変化させたものである。露光量は、RoPが1の時に所望の線幅になる露光量を設定した。図8において、「45/45」で示したライン:スペースが1:1のパターンは、RoPを変化させても転写パターンの線幅が45nmから変化しない。しかし、ライン:スペースが1:1からずれた条件では、RoP変化によって転写パターンの線幅が変化していくことがわかる。特に、スペースを180nmとした「45/180」で示したライン:スペースが1:4のパターンが偏光度変化に対する転写パターンの線幅変化敏感度が大きく、RoPが0.2悪化すると、線幅が2nm程度変化してしまう。

#### 【0047】

転写パターンの線幅変化が発生すると、投影露光装置を用いて製造した半導体デバイスにおけるトランジスターの電気特性が変化する。特にチップ内でトランジスターの電気特性がばらついてしまうと、例えば、信号の同期が取れなくなってしまうため、チップが不良となってしまう場合がある。そのため、転写エリア内における線幅ばらつきへの要求が特に厳しく、線幅45nmのパターンを転写する際に許容される線幅ばらつき(CD均一性)は1nm程度となっている。CD均一性を悪化させる要因としては、像高間における収差の差や、像高間における露光量の差など、他の要因もあるため、像高間における偏光度の差で発生する線幅誤差の許容量は0.2nm程度である。そのため、像高間におけるRoPの差としては、RoPで0.02(つまり2%)程度にすることが求められる。従来技術においては、投影光学系の複屈折量が像高間で異なることによって、像高間におけるRoPの差が発生し、CD均一性の悪化が発生していた。

#### 【0048】

特許文献3には、投影光学系の複屈折を補正する方法として、投影光学系内で発生する位相差を補正する位相補正部材を投影光学系内に備えたものが開示されている。しかし、特許文献3に記載された構成では、像高間でも瞳内でも一律である成分は補正できるが、上述のようにレンズ内の複屈折分布が像高毎に異なる均一ではない分布を持つ複屈折は補正することができない。そのため、像高間における偏光度の差を補正することはできず、

C D 均一性の悪化に対しては対策とならない。また、当該構成は、投影光学系内に一軸性の複屈折結晶を入れることによる結像性能の悪化についても懸念されるため実用的でない。

#### 【 0 0 4 9 】

本発明は、例えば、投影光学系の複屈折に起因して基板上で発生する像高間における偏光度の差を低減することを目的とする。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【 0 0 5 0 】

本発明は、基板を露光する露光装置に係り、前記露光装置は、照明光で原版を照明する照明光学系と、前記原版のパターンを基板に投影する投影光学系とを備える。前記照明光は、互いに直交する主偏光成分及び副偏光成分を含む。前記照明光学系は、前記主偏光成分の方向を変えることなく前記主偏光成分と前記副偏光成分との間の位相差を連続的に調整する機能を有する位相差調整ユニットを含む。

#### 【発明の効果】

#### 【 0 0 5 1 】

本発明によれば、例えば、投影光学系の複屈折に起因して基板上で発生する像高間における偏光度の差を低減することができる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【 0 0 5 2 】

本発明に係る露光装置は、例えば、半導体デバイス、液晶表示デバイス、撮像デバイス(CCD等)、薄膜磁気ヘッド等のデバイスを製造するためのリソグラフィ工程において使用されうる。

#### 【 0 0 5 3 】

露光装置は、光源から提供される光を用いて、パターンが形成された原版(レチクル、マスク)を照明する照明光学系と、原版のパターンを感光剤(レジスト)が塗布された基板上に転写する投影光学系とを備える。

#### 【 0 0 5 4 】

本発明は、特に、NAが0.9以上の投影光学系を有し、照明光学系が原版を特定の偏光状態で照明する露光装置に好適であるが、これには限定されない。

#### 【 0 0 5 5 】

本発明者等は、投影光学系に入射する光の2つの互いに直交する偏光成分間の位相差によって、投影光学系の複屈折による基板上の偏光度の悪化量が異なることに着目した。以下で説明する本発明の好適な実施形態では、投影光学系に入射する2つの互いに直交する偏光成分間の位相差を制御することにより、基板上の偏光度の像高間における差を低減し、基板上のC D均一性を向上させるものである。

#### 【 0 0 5 6 】

図9を参照する。同じR o Pということは、主偏光成分(図9では紙面上下方向の偏光成分)と副偏光成分(図9では紙面左右方向の偏光成分)の強度比が等しいことを意味する。前述したように、R o Pは全光量に対する主偏光成分の光量の割合であり、主偏光成分の光量をI m、副偏光成分の光量をI sとしたとき、R o Pは $I_m / (I_m + I_s)$ である。図9に示すように、同じR o Pであっても、主偏光成分と副偏光成分との位相差によって偏光状態が異なる。例えば、主偏光成分と副偏光成分との間の位相差が0度ということは、図9の左端に示すような直線偏光であり、位相差が90度であるということは、図9の中央に示すような円偏光である。

#### 【 0 0 5 7 】

本発明者等は、同じ投影光学系の複屈折に対しても、投影光学系に入射する光の2つの互いに直交する偏光間の位相差に応じて基板上における偏光度が変わることを見出した。つまり、原版面上では同じR o Pであっても、位相差によって基板上のR o Pが変化する。

#### 【 0 0 5 8 】

10

20

30

40

50

これについて以下で詳述する。ここでは、主偏光成分をX偏光とし、副偏光成分をY偏光とする。原版上のR o Pを用いて、X偏光とY偏光の位相差がの光のストークスパラメータは、(7)式のように表現される。

【0 0 5 9】

【数7】

$$S_{in} = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \times RoP - 1 \\ 2 \cos \phi \sqrt{RoP - RoP^2} \\ 2 \sin \phi \sqrt{RoP - RoP^2} \end{pmatrix}$$

・・・(7)

一方、X方向から角度の方向に進相軸があるリタデーション量の投影光学系のミューラー行列は、(8)式のように表現される。

【0 0 6 0】

【数8】

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos^2 2\gamma + \sin^2 2\gamma \cos \theta & \cos 2\gamma \sin 2\gamma (1 - \cos \theta) & -\sin 2\gamma \sin \theta \\ 0 & \cos 2\gamma \sin 2\gamma (1 - \cos \theta) & \sin^2 2\gamma + \cos^2 2\gamma \cos \theta & \cos 2\gamma \sin \theta \\ 0 & \sin 2\gamma \sin \theta & -\cos 2\gamma \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$$

・・・(8)

簡単化のために、X方向から45度方向に進相軸がある場合を考えると、ミューラー行列は、(9)式のようになる。

【0 0 6 1】

【数9】

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{pmatrix}$$

・・・(9)

これより、投影光学系を透過した後の偏光状態は、 $M \times S$ で計算することができ、(10)式のようになる。

【0 0 6 2】

【数10】

$$S_{out} = \begin{pmatrix} 1 \\ (2RoP - 1)\cos \theta - 2\sin \theta \sin \phi \sqrt{RoP - RoP^2} \\ 2\cos \phi \sqrt{RoP - RoP^2} \\ (2RoP - 1)\sin \theta + 2\cos \theta \sin \phi \sqrt{RoP - RoP^2} \end{pmatrix}$$

・・・(10)

10

20

30

40

50

R o P は、ストークスパラメータより、 $(S_0 + S_1) / (2 \times S_0)$  で計算することが可能である。(10)式より、X方向から45度の方向に進相軸があり、リタデーション量がの投影光学系を透過した基板上のR o P(これをR o P<sub>w</sub>と記す)は、マスク上のR o P、位相差に対して、(11)式のように表現される。

【0063】

【数11】

$$RoP_w = \frac{1 + (2RoP - 1)\cos\theta - 2\sin\theta\sin\phi\sqrt{RoP - RoP^2}}{2}$$

10

・・・(11)

図10は、原版上のR o Pを0.92、投影光学系の複屈折を10nm、露光波長を193nmとして、(11)式を計算して、原版面における位相差に対する基板上のR o Pの依存性を計算したものである。原版に対する入射光は、副偏光成分がないR o Pが1である光が望ましいが、照明光学系に用いられる硝材にも複屈折が存在することと偏光制御誤差のために、原版面でR o Pが0.92程度まで悪化しうる。(一般に、コスト面の問題で、照明光学系には投影光学系よりも大きな複屈折をもつ硝材が使用される。また、当然に、原版面でも像高間における偏光度の差が存在する。)

投影光学系の複屈折の進相軸方向に電場ベクトルを持つ波面と遅相軸方向に電場ベクトルを持つ波面が投影光学系に入射する場合を考える。投影光学系の複屈折が10nmであることは、投影光学系を透過した後の2つの波面に10nmの差が生じることを意味する。波面の差分を位相であらわすと、波長が193nmなので、 $10 \div 193 \times 360 = 18.7$ 度の位相差が発生していることとなる。この位相差をリタデーションと呼ぶ。つまり、図10の結果は、(11)式で $= 18.7$ 度として計算した結果である。

【0064】

図10の横軸は、投影光学系へ入射する光のX偏光とY偏光の位相差であり、縦軸は、基板上のR o P(つまりR o P<sub>w</sub>)である。また、実線は、投影光学系の複屈折の進相軸方向がX軸から45度方向にある場合であり、破線は、進相軸方向が-45度方向にある場合である。

【0065】

図10より明らかなように、原版面のR o Pは、X偏光とY偏光の位相差と無関係に0.92であっても、該位相差によって基板上のR o P(R o P<sub>w</sub>)が0.98から0.81まで変わりうる。また、基板上のR o P(R o P<sub>w</sub>)が位相差に対して幾つになるかは複屈折の進相軸方向に依存することがわかる。硝材の進相軸は、前述のように放射方向を向く傾向があり、投影光学系の複屈折は、像高毎・瞳毎に進相軸が様々な方向を向くものとなる。よって、例えば、入射偏光の位相差が90度であった場合、ある経路を通った光線はR o P<sub>w</sub>が0.81になり、他の経路を通った光線はR o P<sub>w</sub>が0.98になる。つまり、原版面では像高間におけるR o P差がなかったとしても、投影光学系の複屈折の進相軸方向は像高によって異なるので、基板上では像高間におけるR o P差が大きく発生しうる。

【0066】

投影光学系の複屈折は、様々な方向に進相軸を有しうる。そこで、基板上で像高間におけるR o P差が発生しないようにするには、図10において、進相軸方向が変わっても基板上におけるR o Pが変化しない位相差(すなわち、0度又はその付近。)に、原版に対する入射光の位相差を調整することが望ましい。

【0067】

原版に対する入射光の位相差によって基板上の偏光度が影響を受ける理由を説明する。偏光状態は、ストークスパラメータを用いて表記することが可能である。ストークスパラメータはポアンカレ球上で考えると理解が容易である。ストークスパラメータとポアンカレ球については、マックス・ボルン エミル・ウォルフ著 草川徹・横田英嗣訳「光学の

20

30

40

50

原理1」(東海大学出版会)第50ページから52ページなどに説明されている。

### 【0068】

図11は、同じRoPをポアンカレ球を用いて表現した図である。X偏光が所望偏光であるので、RoPはストークスパラメータを用いて $RoP = (S_0 + S_1) / (2S_0)$ と表現され、偏光位相差は $\tan = S_3 / S_2$ で表現される。RoPが同じ偏光状態は、図11のポアンカレ球における太線上である。更に、位相差が0度又は180度であれば、太線が $S_1 - S_2$ 面上を横切る位置となり、位相差が90度又は270度であれば太線が $S_1 - S_3$ 面を横切る位置となる。図12は、 $S_2$ 軸から見たポアンカレ球を見た図である。図12において、実線は位相差が0度の場合、破線は位相差が90度の場合の偏光状態を示す。

10

### 【0069】

45度方向に進相軸を持つ複屈折部材を通過すると、ポアンカレ球上の偏光状態は $S_2$ 軸を中心として回転することとなる。例えば、前述のように10nmの複屈折であったとすると、 $S_2$ 軸を中心として $10 \div 193 \times 360 = 18.7$ 度回転させることとなる。これを図12と同様に $S_2$ 軸からみると、位相差0度のときは、複屈折部材を通る前の偏光状態が細い実線であり、複屈折部材を通った後の偏光状態が太い実線となる。同じように、位相差が90度のときは、複屈折部材を通る前の偏光状態が細い破線であり、複屈折部材を通った後の偏光状態が太い破線となる。

20

### 【0070】

RoPは、前述のように $RoP = (S_0 + S_1) / (2S_0)$ で計算できるので、 $S_1$ 軸への射影の長さに比例する。図より明らかなように、位相差が90度のときの方が偏光度の悪化量が大きい事がわかる。なお、逆に-10nm(進相軸方向が-45度方向を向いている状態)の時には、位相差が90度のときは偏光度が良くなる。ただし、前述のように、投影光学系の複屈折の進相軸や複屈折量は像高間で不均一であり、様々な方向や量を持っている。よって、基板上で偏光度の不均一性を少なくするために、投影光学系の複屈折による影響を小さくすることが有効である。

20

### 【0071】

そこで、本発明の好適な実施形態では、原版を照明する照明光の主偏光成分と副偏光成分との位相差を該主偏光成分の方向を変えることなく連続的に調整する機能を有する位相差調整ユニットが照明光学系に組み込まれる。位相差調整ユニットにより、原版を照明する照明光の主偏光成分と副偏光成分との位相差を該主偏光成分の方向を変えることなく、例えば0度又はその付近にまで、低減することができる。主偏光成分と副偏光成分との位相差を該主偏光成分の方向を変えることなく低減した状態で原版を照明することにより、投影光学系の複屈折に起因する像高間における基板上の偏光度の差を小さくし、CD均一性を向上することができる。

30

### 【0072】

前述のとおり、像高間における基板上のRoPの差は0.02以下にすることが望ましい。投影光学系の進相軸の方向がx方向又はy方向に向いていると、基板上のRoPは原版上のRoPと同じになり、進相軸の方向がx方向から±45度方向に向いているときが一番大きくRoPが変化する。像高間で進相軸がばらつくことによるRoP差が0.02以下であるためには、(12)式を満足すればよい。

40

### 【0073】

### 【数12】

$$\left| \frac{1 + (2RoP - 1)\cos\theta - 2\sin\theta\sin\phi\sqrt{RoP - RoP^2}}{2} - RoP \right| \leq 0.02$$

... (12)

投影光学系は、複屈折の小さい硝材を用いて構成されるので、投影光学系のリタデーシ

50

ヨンは、大きな数字にはならない。よって、 $\cos \theta = 1$  とすると、(12)式は(13)式のように簡単化される。

【0074】

【数13】

$$\left| \sin \theta \sin \phi \sqrt{RoP - RoP^2} \right| \leq 0.02$$

・・・(13)

(13)式より、像高間でのRoP差を0.02以下にするために、原版面において直交する2つの偏光成分の位相差は、(14)式を満足すればよいことがわかる。

【0075】

【数14】

$$|\sin \phi| \leq \frac{0.02}{|\sin \theta| \sqrt{RoP - RoP^2}}$$

10

20

・・・(14)

図14は、(14)式にしたがって各条件で原版面における位相差の許容範囲を求めた結果をグラフ化したものである。図14(a)は、投影光学系の複屈折が10nmである時に、原版面におけるRoPと原版面における位相差の許容量である。例えば、原版面上のRoPが0.95であったとすると、原版面での位相差は±18度以内に調整すればよいが、原版面上のRoPが0.90まで悪化してしまうと、±11度以内に調整しなければならない。図14(b)は、原版上のRoPが0.92であるとした時に、投影光学系の複屈折量と原版面における位相差の許容量である。投影光学系の複屈折が10nmであった場合には、±12度の範囲に原版面における位相差を抑える必要がある。しかし、投影光学系の複屈折を5nmまで小さくすることができれば、原版面における位相差は±2度の範囲に抑えられることが分かる。

30

【0076】

図1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。

【0077】

光源1から提供される光で原版15を照明する照明光学系30は、位相差補正ユニット21を具備する。位相差補正ユニット21は、原版を照明する照明光の主偏光成分と副偏光成分との位相差を該主偏光成分の方向を変えることなく連続的に調整する機能を有する。

40

【0078】

光源(レーザー)1から射出される光は、特定方向に偏光方向が向いた偏光度の高い光である。しかしながら、光源1から射出される光は、光源1内部の光学系の誤差によって、本来射出されるべき主偏光成分の偏光方向と直交した方向に偏光方向が向いた副偏光成分も微小ではあるが含む。この主偏光成分と副偏光成分との位相差は、如何なる値でもとりうる可能性がある。というのは、偏光度が高い光というのは、前述のポアンカレ球でほぼS<sub>1</sub>軸を向いた光である。ほぼS<sub>1</sub>軸を向いた光というのは、微小な複屈折が存在すれば、微小な複屈折の進相軸方向によって、S<sub>2</sub>軸方向にもS<sub>3</sub>軸方向にも倒れることが可能である。その為、arctan(S<sub>3</sub> / S<sub>2</sub>)で表される位相差は、計測できないほどの微小な複屈折によってでも、進相軸方向によって如何なる値としも発生する可能性があ

50

る。

【0079】

また、省スペースで配置するために折り曲げて配置される照明光学系30においては、反射ミラーが必要である。反射ミラーは、P偏光とS偏光との間に反射位相差を発生するため、照明光学系30内で、2つの互いに直交する偏光成分（主偏光成分、副光成分）間に位相差が発生する。

【0080】

以上のように、光源1や照明光学系30内で2つの直交する偏光（主偏光成分、副光成分）間の位相差が発生するため、位相差調整ユニット21によって、原版15面における2つの直交する偏光間の位相差を許容量以内に調整する。

【0081】

以降の説明では、紙面に平行な方向に電場ベクトルをもつ偏光と、紙面に垂直な方向に電場ベクトルを持つ偏光との間の位相差を調整するものとする。

【0082】

図15は、本発明の第1実施形態の位相差調整ユニット21の構成を模式的に示す図である。位相差調整ユニット21は、位相差調整板21aと、位相差調整板21aを光軸AXに直交する回転軸RA（例えば、図1の紙面に垂直又は平行な軸。）周りで回転させるアクチュエータ（回転駆動機構）21bと、を含んで構成されうる。位相差調整板21aは、平板形状を有する。換言すると、位相差調整板21aは、第1面（主面）21a1と第2面21a2とを有し、第1面21a1と第2面21a2とがほぼ平行である。好ましくは、第1面21a1に対する第2面21a2の傾きは2分以内である。位相差調整板21aは、例えば、円盤形状又は矩形形状を有しうる。位相差調整板21aは、例えば、水晶、フッ化マグネシウム等の一軸性結晶を含む。一軸性結晶の光学軸は、第1面21a1又は第2面21a2の法線方向に向いている。

【0083】

図16は、フッ化マグネシウムで構成された厚さ2mmの平板形状の位相差調整板21aを使用した場合における位相差の発生量を示す図である。図16の横軸は、位相差調整板（位相差調整素子）12aの傾け角度（光軸AXに垂直な面に対する第1面21aの角度）、縦軸は紙面に平行な方向に電場ベクトルをもつ偏光と紙面に垂直な方向に電場ベクトルを持つ偏光との間で発生する位相差である。位相差は、360度周期となるので±180度であらわしている。位相差調整板12aを傾けることによって、直交する2つの偏光間の位相差が徐々に大きくなり、5度傾けたあたりで180度の位相差がつき、8度まで傾けることにより±180度の任意の位相差を発生することができる。

【0084】

一軸性結晶からなる位相差調整板12aの厚みについては、厚ければ微小な傾け角度で±180度の位相差を発生させることができるが、厚すぎるとアクチュエータ12bの分解能を上げる必要がある。位相差調整板12bが薄ければ、アクチュエータ12bによる駆動精度はラフでよくなるが、大きな傾け角度が必要となる。よって、位相差調整板12aの厚さは、上記した2mm厚ぐらいが、実装性を考えると好適である。

【0085】

また、位相差調整板12aを傾けることにより、若干光軸がシフトする。通常は、このシフト量は無視できるが、問題になるような場合には、もう一枚平行平板を光路中に構成し、光軸シフトを補正するように、同期して傾ければよい。

【0086】

以上のように、一軸性結晶からなる位相差調整板12aの傾け量を調整することにより、原版面における直交する2つの偏光間の位相差を調整することができる。

【0087】

図17は、本発明の第2実施形態の位相差調整ユニット21の構成を模式的に示す図である。第2実施形態の位相差調整ユニット21は、ソレイユ補正器によって位相差を調整する。ソレイユ補正器は、前述の「増補改訂版 オプトロニクス技術活用のための光学部

10

20

30

40

50

品の使い方と留意点」の84ページの図1.118に紹介されている。

#### 【0088】

図17は、ソレイユ補正器を横から見た図である。ソレイユ補正器は、一軸性結晶からなる2枚の楔（位相差調整素子）21c、21dと、楔21dを駆動するアクチュエータとを含んで構成されており、2つの一軸性結晶の光学軸方向がほぼ平行となっている。一方の楔を他方の楔に対して相対的に楔の頂点方向（光軸に直交する方向）に駆動して2つの楔の相対的な位置関係を変更することにより、2つの楔の合計の光軸方向の一軸性結晶の厚みが変わる。これによりソレイユ補正器全体の複屈折量を連続的に変化させることが可能である。

#### 【0089】

ソレイユ補正器に入射する光の偏光方向を一軸性結晶の光学軸方向又は一軸性結晶の光学軸と垂直な方向としておけば、楔を相対的に動かすことによりソレイユ補正器の複屈折量を変化させ、二つの直交する方向の位相差を連続的に発生させることができる。

#### 【0090】

ただし、ソレイユ補正器を製作する上では、二つの楔21c、21dの平行度を厳密にあわせておく必要がある。つまり、楔の平行度が悪いと、光軸方向の一軸性結晶の厚みがソレイユ補正器の場所に応じて変化してしまうので、ソレイユ補正器の有効径内で与えられる位相差がばらついてしまう。よって「加工性を含めた実現性を考慮すると、第1実施形態のような一軸性結晶で構成される位相差調整板を傾ける方式の方が有利である。

#### 【0091】

位相差調整ユニット21は、前述のように、位相差調整素子（位相差調整板、楔）を駆動するアクチュエータを備えることが好ましい。また、位相差調整素子は、照明モード毎、偏光状態毎、露光すべきパターンのCD均一性の許容量に応じてアクチュエータによって駆動されることが好ましい。アクチュエータによる位相差調整素子の駆動、すなわち、位相差の調整は、例えば、任意のタイミングで、定期的に、周期的に、又は、あらかじめ定められたスケジュールにしたがってなされうる。

#### 【0092】

図18に例示的に示すように、位相差補正ユニット21の位相差調整素子は、原版面における偏光状態を計測する計測ユニット22による計測結果にしたがって位相差が目標範囲に収まるように駆動されてもよい。

#### 【0093】

位相差制御ユニット23は、計測ユニット22による計測結果にしたがって、原版15上における位相差が目標範囲内に収まるように、アクチュエータ21b又は21eを駆動する。このような構成によれば、露光装置の原版面における位相差を計測して、原版面における位相差があらかじめ定められた許容量内となるように位相差制御ユニット21を駆動することができる。これにより、投影光学系の複屈折による偏光度の像高間ばらつきを小さくすること、更には、CD均一性を高めることができる。

次に上記の露光装置を利用したデバイスの製造方法を説明する。図19は、半導体デバイスの全体的な製造方法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。図20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）

10

20

30

40

50

D) 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(レジスト処理)ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ16(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17(現像)ではウエハに転写されたレジストを現像してレジストパターンを形成する。ステップ18(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19(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。

10

## 【図面の簡単な説明】

## 【0094】

【図1】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。

【図2】高NA時の像のコントラストを説明するための図である。

【図3】ラインアンドスペースの周期とレジスト内の回折光角度を示す図である。

【図4】偏光照明の照明光学系瞳での偏光状態を説明するための図である。

【図5】露光装置の構成例を示す図である。

【図6】硝材の複屈折の例を示す図である。

【図7】投影光学系の複屈折量に像高差があることを説明する図である。

【図8】ROPとCD変化について説明するための図である。

【図9】位相差と偏光状態との関係を示す図である。

【図10】原版面の位相差によって基板上の偏光度が変化することの説明するための図である。

【図11】ポアンカレ球上の等ROP線の表現図である。

【図12】図11のポアンカレ球をS2方向からみた射影図である。

【図13】ポアンカレ球を用いて原版面における位相差が基板上の偏光度に影響を与えることを説明するための図である。

【図14】特定条件における位相差許容量を示す図である。

【図15】本発明の第1実施形態の位相差調整ユニットの概略構成を示す図である。

【図16】本発明の第1実施形態の位相差調整ユニットの効果を説明するための図である。

20

【図17】本発明の第2実施形態の位相差調整ユニットの概略構成を示す図である。

【図18】本発明の他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。

【図19】半導体デバイスの全体的な製造方法のフローを示す図である。

【図20】ウエハプロセスの詳細なフローを示す図である。

## 【符号の説明】

## 【0095】

1 光源(エキシマレーザー)

2 平面板

3 減光フィルター

4 マイクロレンズアレイ(MLA)

5 内面反射部材

6 1、6 2 光学素子(CGH、MLA)

7 第1コンデンサレンズ

8 变倍リレー光学系

9 位相板

10 ハエノ目レンズ(マイクロレンズアレイ)

11 第2コンデンサレンズ

12 ハーフミラー

13 露光量センサ

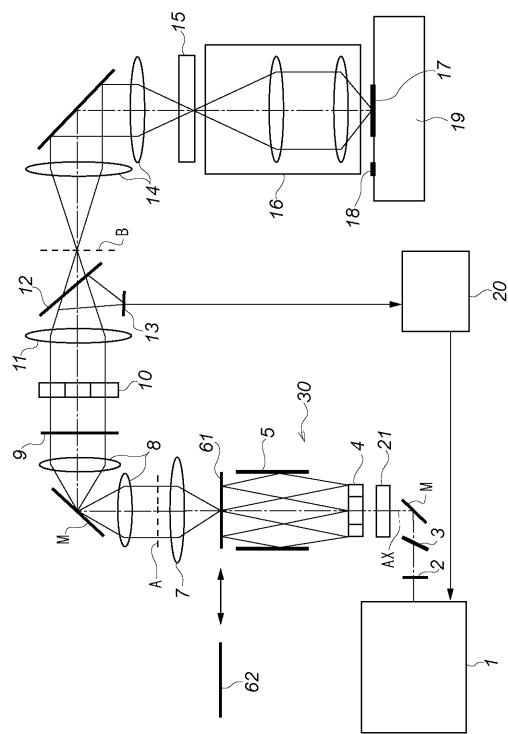
40

50

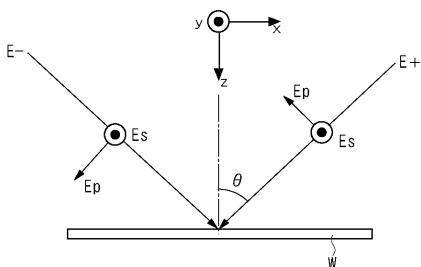
- 1 4 リレー光学系  
 1 5 原版(レチクル)  
 1 6 投影光学系  
 1 7 基板(ウェハ)  
 1 8 照度計  
 1 9 基板ステージ(ウェハステージ)  
 2 0 露光量制御装置  
 2 1 位相差調整ユニット  
 2 1 a 位相差調整板(位相差調整素子)  
 2 1 b、2 1 e アクチュエータ  
 2 1 c、2 1 d 楔(ソレイユ補正器)  
 2 2 計測ユニット  
 2 3 位相差制御ユニット  
 3 0 照明光学系

10

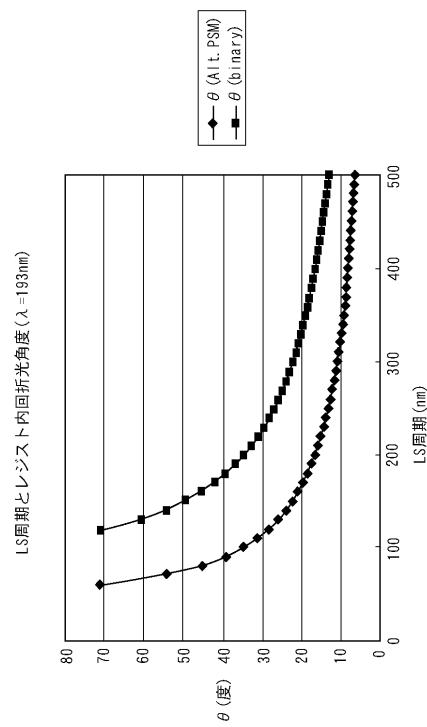
【図1】



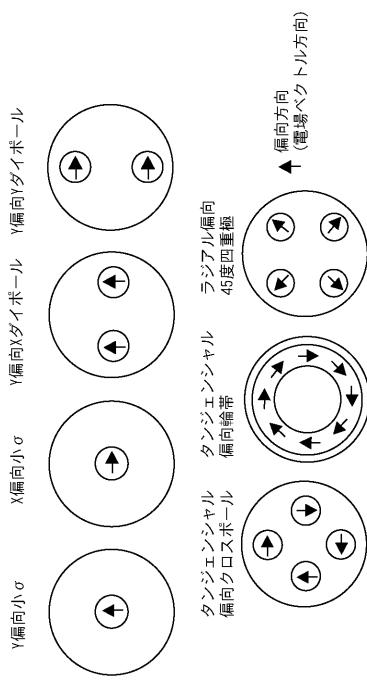
【図2】



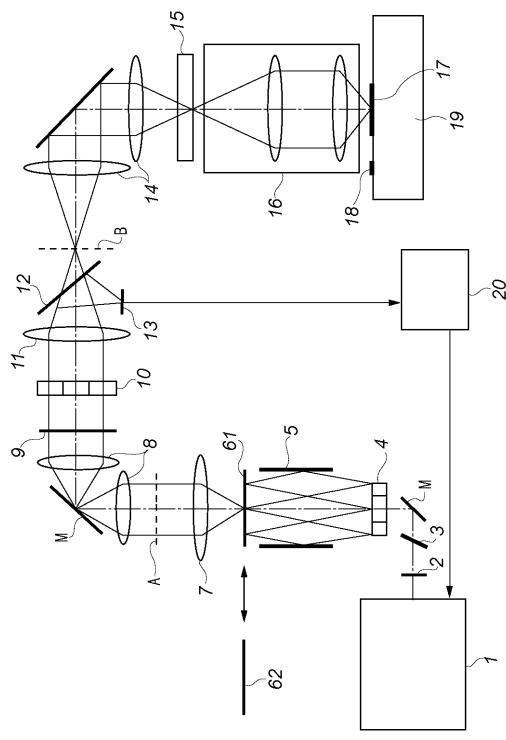
【図3】



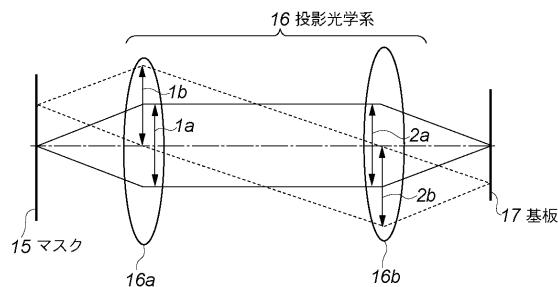
【図4】



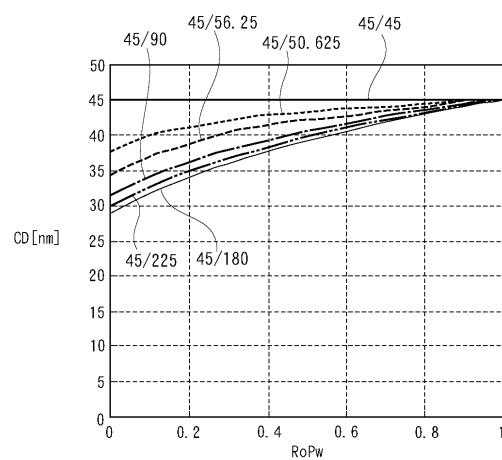
【図5】



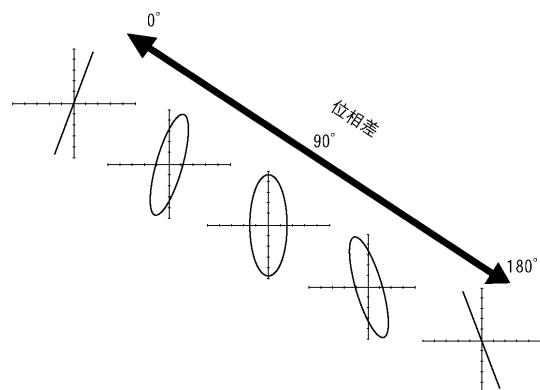
【図7】



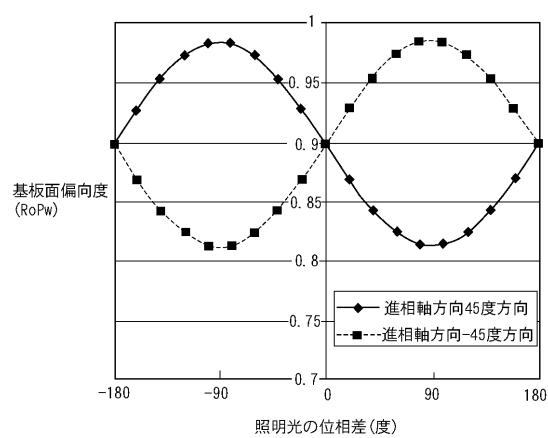
【図8】



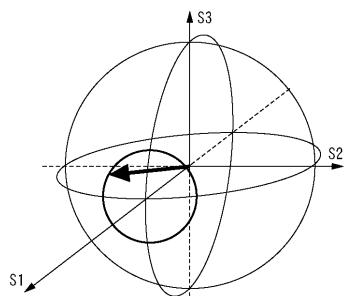
【図9】



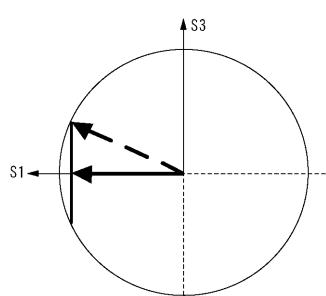
【図10】



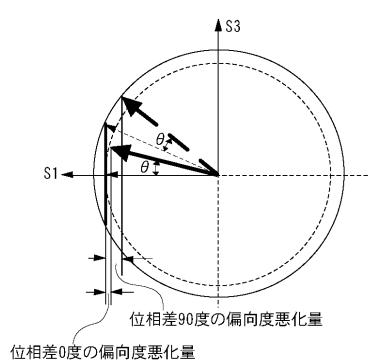
【図11】



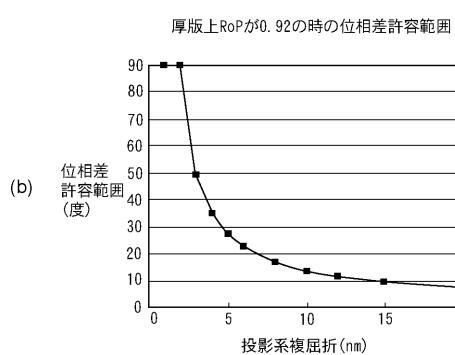
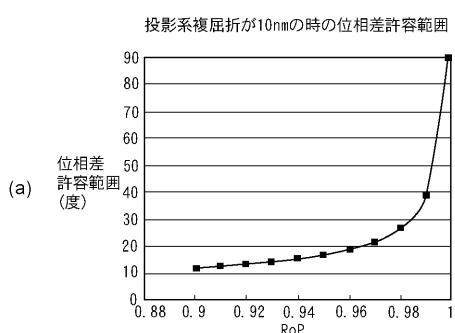
【図12】



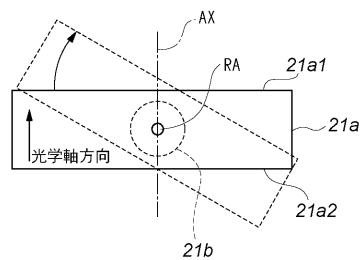
【図13】



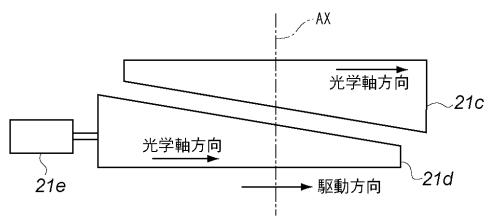
【図14】



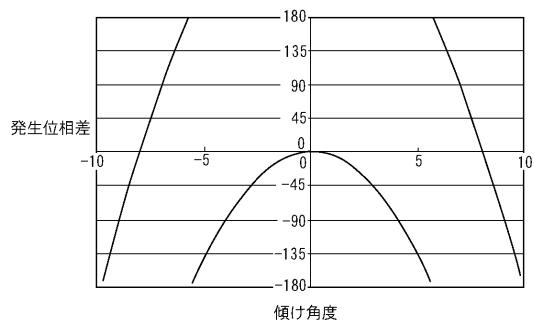
【図15】



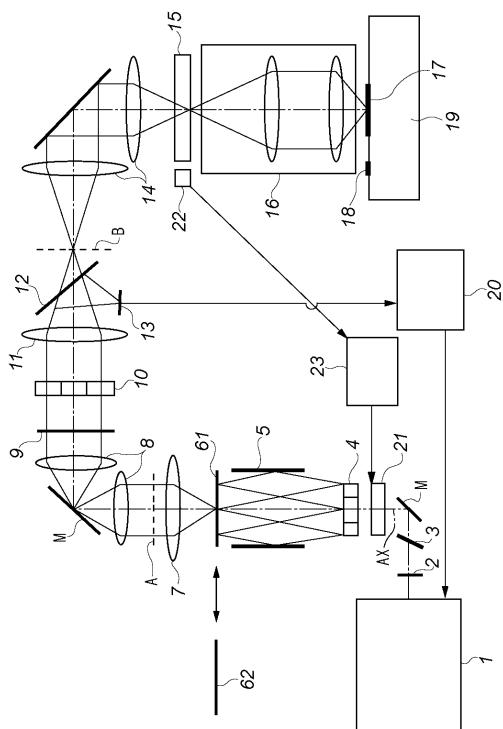
【図17】



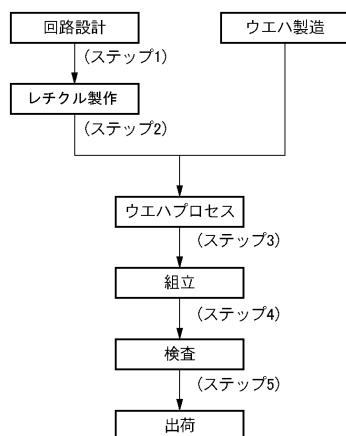
【図16】



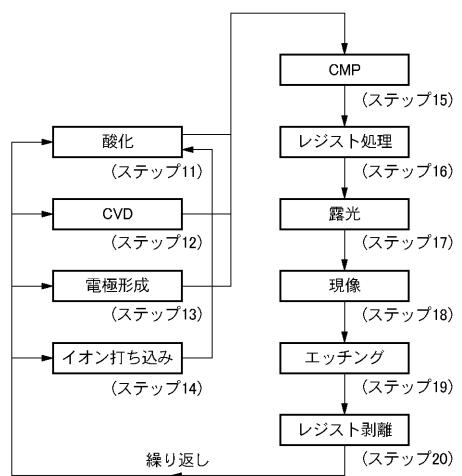
【図18】



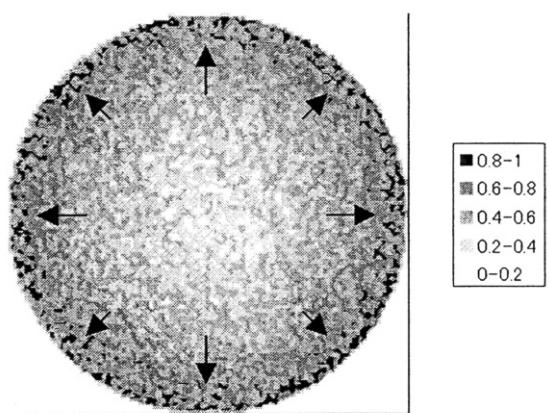
【図19】



【図20】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 山田 顕宏  
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

(72)発明者 大阪 昇  
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

F ターム(参考) 5F046 BA04 CA04 CB19 CB23 DA01