

(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2006-173305

(P2006-173305A)

(43) 公開日 平成18年6月29日(2006.6.29)

(51) Int. Cl.

H01L 21/027 (2006.01)
G03F 7/20 (2006.01)

F I

H01L 21/30 516A
G03F 7/20 521

テーマコード (参考)

5F046

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2004-362668 (P2004-362668)
(22) 出願日 平成16年12月15日 (2004.12.15)

(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 100110412
弁理士 藤元 亮輔
(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
Fターム(参考) 5F046 BA03 CB23 DA13

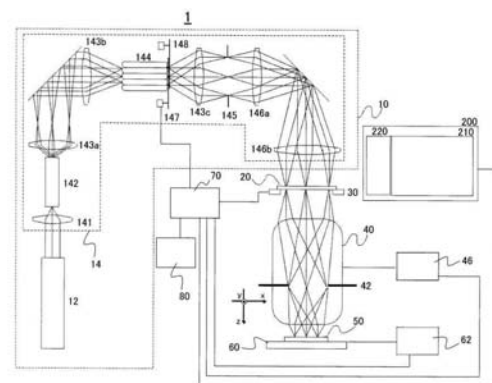
(54) 【発明の名称】 露光装置及び方法、並びに、デバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】 所望のパターンが形成された物体面を照明する光の偏光状態を切り替えた場合にも、結像性能を劣化させず精度よく微細パターンを転写することができる露光装置及び方法を提供する。

【解決手段】 レチクルのパターンを被処理体に投影する投影光学系を有し、前記パターンを前記被処理体に露光する露光装置であって、前記レチクルを照明する光の偏光を第1の偏光状態から前記第1の偏光状態とは異なる第2の偏光状態に変更する変更手段と、前記変更手段が前記光の偏光を前記第1の偏光状態から前記第2の偏光状態に変更した際に、前記投影光学系の収差を調整する調整手段とを有することを特徴とする露光装置を提供する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レチクルのパターンを被処理体に投影する投影光学系を有し、前記パターンを前記被処理体に露光する露光装置であって、

前記レチクルを照明する光の偏光を第 1 の偏光状態から前記第 1 の偏光状態とは異なる第 2 の偏光状態に変更する変更手段と、

前記変更手段が前記光の偏光を前記第 1 の偏光状態から前記第 2 の偏光状態に変更した際に、前記投影光学系の収差を調整する調整手段とを有することを特徴とする露光装置。

【請求項 2】

レチクルのパターンを被処理体に投影する投影光学系を有し、前記パターンを前記被処理体に露光する露光装置であって、

前記レチクルのパターンの変更を検出する検出手段と、

前記検出手段が前記レチクルのパターンを検出した際に、前記投影光学系の収差を調整する調整手段とを有することを特徴とする露光装置。

【請求項 3】

前記投影光学系の収差を測定する測定手段と、

前記測定手段の測定結果に基づいて、前記調整手段を制御する制御部とを更に有することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の露光装置。

【請求項 4】

前記レチクルを照明する光の偏光状態と前記投影光学系の収差との相関関係を示す収差テーブルを格納するメモリと、

前記メモリに格納された前記収差テーブルを基に、前記調整手段を制御する制御部とを更に有することを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。

【請求項 5】

前記投影光学系は、0.90 以上の開口数を有することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の露光装置。

【請求項 6】

前記投影光学系と前記被処理体との間の少なくとも一部は、空気よりも大きい屈折率を有する媒質で満たされていることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の露光装置。

【請求項 7】

前記投影光学系は、少なくとも一つの反射鏡を有することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の露光装置。

【請求項 8】

レチクルのパターンを、投影光学系を介して被処理体に露光する露光方法であって、

前記レチクルのパターンを照明する光の偏光状態が変更されたことを検知するステップと、

前記光の偏光状態の変更による前記投影光学系の収差の変動を取得するステップと、

前記取得ステップで取得した取得結果を基に、前記投影光学系の収差を調整するステップとを有することを特徴とする露光方法。

【請求項 9】

レチクルのパターンを、投影光学系を介して被処理体に露光する露光方法であって、

前記レチクルのパターンが変更されたことを検知するステップと、

前記レチクルのパターンの変更による前記投影光学系の収差の変動を取得するステップと、

前記取得ステップで取得した取得結果を基に、前記投影光学系の収差を調整するステップとを有することを特徴とする露光方法。

【請求項 10】

レチクルのパターンを、投影光学系を介して被処理体に露光する露光方法であって、

第 1 のパターンに対して前記投影光学系の収差が最適となるように調整するステップと

前記第 1 のパターンとは異なる第 2 のパターンに対して前記投影光学系の収差が最適となるように調整するステップとを有することを特徴とする露光方法。

【請求項 1 1】

レチクルのパターンを投影光学系を介して被処理体に露光する露光装置の前記投影光学系の調整に使用され、前記レチクルを照明する光の偏光状態と前記光が前記投影光学系に入射した場合に発生する収差との相関関係を、前記投影光学系を構成するレンズ群毎に表示することを特徴とする収差テーブル。

【請求項 1 2】

請求項 1 乃至 7 のうちいずれか一項記載の露光装置を用いて被処理体を露光するステップと、

露光された前記被処理体を現像するステップとを有する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、一般には、露光装置及び方法に係り、特に、IC、LSIなどの半導体チップ、液晶パネルなどの表示素子、磁気ヘッドなどの検出素子、CCDなどの撮像素子といった各種デバイス、マイクロメカニクスで用いる微細パターンの製造に用いられる露光装置及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

フォトリソグラフィ（焼き付け）技術を用いて半導体メモリや論理回路などの微細な半導体素子又は液晶表示素子を製造する際に、レチクル（マスク）に描画された回路パターンを投影光学系によってウェハ等に投影して回路パターンを転写する投影露光装置が従来から使用されている。

【0003】

投影露光装置で転写できる最小の寸法（解像度）は、露光に用いる光の波長に比例し、投影光学系の開口数（NA）に反比例する。従って、波長を短くすればするほど、及び、NAを上げれば上げるほど、解像度はよくなる。このため、近年の半導体素子の微細化への要求に伴い露光光の短波長化が進められ、超高圧水銀ランプ（g線（波長約436nm）、i線（波長約365nm））からKrFエキシマレーザー（波長約248nm）、ArFエキシマレーザー（波長約193nm）と用いられる露光光源の波長は短くなってきた。また、投影光学系の高NA化も進められ、NA=0.9を超える投影光学系の開発がされようとしている。更には、投影光学系の最終レンズ面とウェハとの間（即ち、投影光学系のウェハ側）を屈折率が1.0より大きな媒質（例えば、水）で満たすことで、投影光学系のNAを見掛け上大きくして（NA=1.0以上）解像度の向上を図る液浸露光も提案されている。

【0004】

投影光学系の高NA化が進むと、特に、NA=0.9を超えるようになると、投影光学系に入射する光の偏光状態が解像力に大きな影響を及ぼすようになる。完全コヒーレントな2光束は、電界の振動方向が互いに平行であれば完全に干渉するが、完全コヒーレントであっても電界の振動方向が互いに垂直であると全く干渉しない。

【0005】

2光束が空気中からウェハWF上に塗布された感光材（レジスト）PRに入射して結像する様子を図10に示す。なお、図10において、投影光学系の光軸方向をz軸、図10内でz軸に垂直な方向をx軸、図10に垂直な方向をy軸とし、yz平面内に電界の振動面を有する偏光をy偏光、xy平面内に電界の振動面を有する偏光をx偏光とする。2光束の偏光状態がy偏光の場合、互いの振動面は常に平行であるため、完全に干渉する。従って、結像面ではコントラスト100%の繰り返し像を形成する。一方、2光束の偏光状態がx偏光の場合、互いの振動面が平行でないため、完全には干渉しない。従って、結像

10

20

30

40

50

面に形成される繰り返し像のコントラストは、100%にならない。ここで、コントラストCとは、光強度が最大となる値を I_{max} 、光強度が最小となる値を I_{min} としたとき、以下の数式1で表される。

【0006】

【数1】

$$C = (I_{max} - I_{min}) / (I_{max} + I_{min})$$

【0007】

2光束の成す角度が図10に示す例より大きい場合を図11に示す。かかる場合も図10に示す例と同様に、2光束の偏光状態がy偏光の場合、互いの振動面が常に平行なために完全に干渉し、100%のコントラストの繰り返し像を結像面に形成する。一方、2光束の偏光状態がx偏光の場合、図10に示す例よりも2光束の成す角度が大きいために干渉性が悪くなり、コントラストが更に悪くなる。

【0008】

図10及び図11は、2光束が空気中からウェハ上に塗布されたレジストに入射する場合を示しており、空気の屈折率を1とすると、レジストの屈折率は1.4乃至1.8程度であるため、光束が空気からレジストに入射すると2光束の成す角度が小さくなる。しかし、図12に示すように、レジストPR上に屈折率が空気より大きい媒質IMを満たした液浸露光の場合、媒質IMからレジストPRとの屈折率差が空気とレジストとの屈折率差と比べて小さいため、媒質IMからレジストPRに入射するときの屈折角が小さくなり、2光束の成す角度が大きくなる。従って、液浸露光の場合、投影光学系に入射する光の偏光状態の解像力への影響が大きくなる。ここで、図12は、2光束が媒質IMからウェハWF上に塗布されたレジストPRに入射して結像する様子を示す図である。

【0009】

このように、投影光学系のNAが大きくなると、投影光学系に入射する光の偏光状態を制御することが必須となってくる。また、レチクルのパターンによって最適な偏光状態は異なるため、レチクルのパターンによって偏光状態を制御する(切り替える)必要がある。但し、投影光学系を構成している光学素子や薄膜(光学素子に施された反射防止膜や反射膜など)は、入射光の偏光に依存した光学特性を有している。例えば、複屈折のある硝材は、入射光の偏光方向によって屈折率が異なるために、入射光の偏光方向によって生じる収差が変化する。換言すれば、投影光学系には、入射光の偏光状態によって異なる収差が発生する。

【0010】

x偏光の光が入射した場合に発生する収差を WA_x 、y偏光の光が入射した場合に発生する収差を WA_y 、無(ランダム)偏光の光が入射した場合に発生する収差を WA_{RANDOM} 、x偏光のみに依存する収差を BWA_x 、y偏光のみに依存する収差を BWA_y とすると、以下の数式2又は数式3の関係が成り立つ。

【0011】

【数2】

$$WA_x = WA_{RANDOM} + BWA_x$$

【0012】

【数3】

$$WA_y = WA_{RANDOM} + BWA_y$$

【0013】

また、偏光のみに依存する収差は、互いに直交する2つ偏光に対しては絶対値が同じで符号が逆になる。従って、 BWA_x と BWA_y には数式4のような関係が成り立つ。

【0014】

10

20

30

40

【数 4】

$$BWA_x = -BWA_y$$

【0 0 1 5】

WA_x 、 WA_y とともに収差を小さくしようとした場合、数式 5 及び数式 6 が成り立てばよい。

【0 0 1 6】

【数 5】

$$WA_{\text{RANDOM}} = 0$$

【0 0 1 7】

【数 6】

$$BWA_x = -BWA_y = 0$$

【0 0 1 8】

数式 6 が成り立つためには、投影光学系が持つ複屈折が 0 である必要がある。そこで、例えば、結晶構造起因による複屈折を持つ結晶硝材を複数枚含む光学系において、結晶硝材の結晶軸方位と投影光学系への組み込み角の調整で複屈折を相殺したり、反射防止膜の複屈折効果と相殺されるよう投影光学系で調整された露光装置が提案されている（例えば、特許文献 1 及び 2 参照。）。

【特許文献 1】特開 2 0 0 3 - 0 5 0 3 4 9 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 4 - 1 7 2 3 2 8 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 1 9】

しかしながら、従来のように投影レンズの組み立てや調整時に偏光依存の収差を補正するために、投影レンズ全系での複屈折量を相殺したつもりでも、製造時の誤差等により完全に 0 に補正することは困難である。製造時の誤差として、例えば、結晶硝材の結晶軸方位や回転組み込み角、或いは、反射防止膜の膜厚ムラ、装置上搭載時の応力歪等が考えられる。かかる収差は従来のように無偏光照明の場合は、偏光依存の収差分の影響はコントラストを劣化させるだけであり、結像性能への影響は小さく無視することができた。ところが、偏光照明の場合は、コントラストを劣化させるだけではなく、像ズレやフォーカスズレ等が発生し、且つ、偏光状態を切り替えるごとにその量に変化してしまう。

【0 0 2 0】

そこで、本発明は、所望のパターンが形成された物体面を照明する光の偏光状態を切り替えた場合にも、結像性能を劣化させず精度よく微細パターンを転写することができる露光装置及び方法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】

【0 0 2 1】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての露光装置は、レチクルのパターンを被処理体に投影する投影光学系を有し、前記パターンを前記被処理体に露光する露光装置であって、前記レチクルを照明する光の偏光を第 1 の偏光状態から前記第 1 の偏光状態とは異なる第 2 の偏光状態に変更する変更手段と、前記変更手段が前記光の偏光を前記第 1 の偏光状態から前記第 2 の偏光状態に変更した際に、前記投影光学系の収差を調整する調整手段とを有することを特徴とする。

【0 0 2 2】

本発明の別の側面としての露光装置は、レチクルのパターンを被処理体に投影する投影光学系を有し、前記パターンを前記被処理体に露光する露光装置であって、前記レチクルのパターンの変更を検出する検出手段と、前記検出手段が前記レチクルのパターンを検出した際に、前記投影光学系の収差を調整する調整手段とを有することを特徴とする。

【 0 0 2 3 】

本発明の更に別の側面としての露光方法は、レチクルのパターンを、投影光学系を介して被処理体に露光する露光方法であって、前記レチクルのパターンを照明する光の偏光状態が変更されたことを検知するステップと、前記光の偏光状態の変更による前記投影光学系の収差の変動を取得するステップと、前記取得ステップで取得した取得結果を基に、前記投影光学系の収差を調整するステップとを有することを特徴とする。

【 0 0 2 4 】

本発明の更に別の側面としての露光方法は、レチクルのパターンを、投影光学系を介して被処理体に露光する露光方法であって、前記レチクルのパターンが変更されたことを検知するステップと、前記レチクルのパターンの変更による前記投影光学系の収差の変動を取

10

【 0 0 2 5 】

本発明の更に別の側面としての露光方法は、レチクルのパターンを、投影光学系を介して被処理体に露光する露光方法であって、第 1 のパターンに対して前記投影光学系の収差が最適となるように調整するステップと、前記第 1 のパターンとは異なる第 2 のパターンに対して前記投影光学系の収差が最適となるように調整するステップとを有することを特徴とする。

【 0 0 2 6 】

本発明の更に別の側面としての収差テーブルは、レチクルのパターンを投影光学系を介して被処理体に露光する露光装置の前記投影光学系の調整に使用され、前記レチクルを照明する光の偏光状態と前記光が前記投影光学系に入射した場合に発生する収差との相関関係を、前記投影光学系を構成するレンズ群毎に表示することを特徴とする。

20

【 0 0 2 7 】

本発明の更に別の側面としてのデバイス製造方法は、上述の露光装置を用いて被処理体を露光するステップと、露光された前記被処理体を現像するステップとを有することを特徴とする。

【 0 0 2 8 】

本発明の更なる目的又はその他の特徴は、以下、添付図面を参照して説明される好ましい実施例によって明らかにされるであろう。

30

【 発明の効果 】

【 0 0 2 9 】

本発明によれば、所望のパターンが形成された物体面を照明する光の偏光状態を切り替えた場合にも、結像性能を劣化させず精度よく微細パターンを転写することができる露光装置及び方法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 】

【 0 0 3 0 】

以下、添付図面を参照して、本発明の一側面としての露光装置及び方法について説明する。なお、各図において、同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。ここで、図 1 は、本発明の露光装置 1 の構成を示す概略断面図である。

40

【 0 0 3 1 】

露光装置 1 は、例えば、ステップ・アンド・リピート方式やステップ・アンド・スキャン方式でレチクル 20 に形成された回路パターンを被処理体 50 に露光する露光装置であり、特に、ステップ・アンド・スキャン方式で露光する場合に効果を発揮する。かかる露光装置は、サブミクロンやクォーターミクロン以下のリソグラフィー工程に好適であり、以下、本実施形態ではステップ・アンド・スキャン方式の露光装置（「スキャナー」とも呼ばれる。）を例に説明する。ここで、「ステップ・アンド・スキャン方式」とは、レチクルに対してウェハを連続的にスキャン（走査）してレチクルパターンをウェハに露光すると共に、1 ショットの露光終了後ウェハをステップ移動して、次の露光領域に移動する露光方法である。また、「ステップ・アンド・リピート方式」は、ウェハのショットの一

50

括露光ごとにウェハをステップ移動して次の露光領域に移動する露光方法である。

【0032】

露光装置1は、図1に示すように、照明装置10と、レチクル20を支持するレチクルステージ30と、投影光学系40と、被処理体50を支持するウェハステージ60と、制御部70と、メモリ80とを有する。

【0033】

照明装置10は、転写用の回路パターンが形成されたレチクル20を照明し、光源部12と、照明光学系14とを有する。

【0034】

光源部12は、例えば、光源としては、波長約193nmのArFエキシマレーザー、波長約248nmのKrFエキシマレーザーなどを使用することができるが、光源の種類はエキシマレーザーに限定されず、例えば、波長約157nmのF₂レーザーを使用してもよいし、光源の個数も限定されない。例えば、独立に動作する2個の固体レーザーを使用すれば固体レーザー相互間のコヒーレンスはなく、コヒーレンスに起因するスペックルはかなり低減する。更にスペックルを低減するために光学系を直線的又は回動的に揺動させてもよい。

【0035】

照明光学系14は、レチクル20を照明する光学系であり、レンズ、ミラー、オプティカルインテグレーター、絞り等を含む。照明光学系14は、本実施形態では、レチクル20のパターンに最適な偏光状態の光でレチクル20を照明し、図1に示すように、レンズ141と、内面反射鏡142と、コリメータレンズ143a及び143bと、ハエの目レンズ144と、絞り145と、結像光学系146a及び146bと、偏光子切り替え部147と、アパーチャ切り替え部148とを有する。

【0036】

レンズ141は、内面反射鏡142に光源部12からの光を所望の角度で入射させ、内面反射鏡142と共に光強度の均一化を行う。内面反射鏡142は、入射した光を側面で複数回反射させることによって、入射面で不均一であった光強度分布を射出面で均一化させる機能を有する。

【0037】

コリメータレンズ143a及び143bは、内面反射鏡142の射出面をハエの目レンズ144の入射面上に拡大又は縮小投影する。ハエの目レンズ144は、射出面に多数の集光点を形成する。コリメータレンズ143cは、ハエの目レンズ144によって形成された多数の集光点を2次光源として、均一な照度分布で絞り145を照明する。

【0038】

絞り145は、被照射面（本実施形態では、レチクル20）の照明領域を制限し、コリメータレンズ143cによってハエの目レンズ144の集光点を2次光源として均一な照度分布で照明されている。結像光学系146a及び146bは、絞り145の位置を物体面とし、レチクル20の位置を像面とする結像光学系である。結像光学系146a及び146bは、絞り145の位置で実現された均一な照度分布をレチクル20上に投影して、レチクル20を均一な照度で照明する。

【0039】

偏光子切り替え部147は、レチクル20を照明する光の偏光状態を規定する機能を有し、図2(a)乃至図2(d)に示すような偏光子147a乃至147c及び通過孔147dをターゲット上に配置して構成され、後述する制御部70を介して、任意に切り替えることができる。なお、図2に示されている座標系は、光源部12からレチクル20に向かう光軸方向をz軸とした右手系である。偏光子147aは、レチクル20を照明する光の偏光状態をy方向に制御する。偏光子147bは、レチクル20を照明する光の偏光状態をx方向に制御する。偏光子147cは、図3に示すように、有効光源内の偏光方向が同心円方向に振動するようにレチクル20を照明する光の偏光状態を制御する。なお、通過孔147dは、偏光子が設定されておらず、レチクル20を照明する光の偏光状態を制

10

20

30

40

50

御しない（ランダム偏光）。ここで、図2は、偏光子切り替え部147がターレット上に有する偏光子147a乃至147c及び透過孔147dの一例を示す概略平面図である。図3は、偏光子147cに制御された光の有効光源内の偏光状態を示す概略平面図である。

【0040】

偏光子切り替え部147は、本実施形態では、レチクル20のパターンに応じて、光源部12からの光の偏光状態を最適な偏光に（即ち、被処理体50上の結像点において、レチクル20からの各回折光の電界の振動面が互いに平行になるように）変更する。例えば、図4（a）に示すようなx断面に周期構造を有するパターンに対しては、回折光がx断面に広がるため、偏光状態をy方向に制御する偏光子147a（図2（a））を用いたy偏光照明が最適となる。また、図4（b）に示すようなy断面に周期構造を有するパターンに対しては、回折光がy断面に広がるため、偏光状態をx方向に制御する偏光子147b（図2（b））を用いたx偏光照明が最適となる。更には、図4（c）に示すような任意の方向を向いたパターンを含むパターンに対しては、偏光状態を同心円方向に制御する偏光子147c（図2（c））を用いたタンジェンシャル偏光照明が最適となる。ここで、図4は、レチクル20のパターンの一例を示す概略平面図である。なお、図4の座標系は図2と同様である。

10

【0041】

アパーチャ切り替え部148は、有効光源分布を規定する機能を有し、図5（a）乃至図5（b）に示すようなアパーチャ148a乃至148fをターレット上に配置して構成され、後述する制御部70を介して、任意に切り替えることができる。図5は、アパーチャ切り替え部148がターレット上に有するアパーチャ148a乃至148fの一例を示す概略平面図である。なお、図5の座標系は図2と同様である。アパーチャ148a乃至148fは、それぞれ、大照明、小照明、y方向の2重極照明、x方向の2重極照明、4重極照明、輪帯照明をする際に用いられる。

20

【0042】

偏光子切り替え部147の偏光子147a乃至147cとアパーチャ切り替え部148のアパーチャ148a乃至148fとを適宜組み合わせることで、レチクル20を所望の偏光状態及び有効光源分布で照明することができる。なお、アパーチャ切り替え部147の代わりに、コリメータレンズ143bをズームさせることで有効光源分布を替えたり、内面反射鏡142とコリメータレンズ143aとの間に、切り替え、且つ、ズーム可能なインプットレンズを配置することで有効光源分布を切り替えてもよい。更には、位相型の計算機ホログラム（CGH：Computer Generated Hologram）を用いても構わない。

30

【0043】

レチクル20は、レチクル搬送システム200により露光装置1の外部から搬送され、レチクルステージ30に支持及び駆動される。レチクル20は、例えば、石英製で、その上には転写されるべき回路パターンが形成されている。レチクル20から発せられた回折光は、投影光学系40を通り、被処理体50上に投影される。レチクル20と被処理体50とは、光学的に共役の関係に配置される。露光装置1は、スキャナーであるため、レチクル20と被処理体50を縮小倍率比の速度比で走査することによりレチクル20のパターンを被処理体50上に転写する。また、レチクル搬送システム200は、複数のレチクル20を収納するレチクルカセット210と、レチクル20を搬送するレチクル搬送系220とを有する。レチクル搬送システム200は、レチクルカセット210に収納された所望のレチクル20をレチクル搬送系220でレチクルステージ30に搬送する。なお、レチクル搬送システム200が搬送したレチクル20のパターンに応じて、かかるレチクル20を照明する光の偏光状態及び有効光源分布を、照明光学系14によって最適にすることが好ましい。

40

【0044】

レチクルステージ30は、図示しないレチクルチャックを介してレチクル20を支持し

50

、図示しない移動機構に接続されている。図示しない移動機構は、リニアモーターなどで構成され、x方向、y方向、z方向及び各軸の回転方向にレチクルステージ30を駆動することでレチクル20を移動させることができる。

【0045】

投影光学系40は、物体面（即ち、レチクル20）からの光束を像面の露光領域（即ち、被処理体50）に結像する光学系である。投影光学系40は、複数の光学素子から構成され、例えば、複数のレンズ素子のみからなる光学系、複数のレンズ素子と少なくとも一枚の凹面鏡とを有する光学系（カタディオプトリック光学系）、複数のレンズ素子と少なくとも一枚のキノフォームなどの回折光学素子とを有する光学系、全ミラー型の光学系等を構成することができる。投影光学系40は、瞳近傍に開口数（NA）を制御する絞り42を有し、本実施形態では、0.90以上のNAとなるように設定されている。また、投影光学系40を構成する光学素子の少なくとも一つには、投影光学系40の収差を調整するための収差調整機構46が取り付けられている。

10

【0046】

収差調整機構46は、例えば、投影光学系40のレンズ又はレンズ群を光軸方向に駆動する機構、投影光学系40のレンズを光軸に対して任意の角度に傾ける機構や光軸方向に偏芯させる機構、或いは、投影光学系40のレンズを変形させる機構である。収差調整機構46は、後述する制御部70に制御され、レチクル20を照明する光の偏光状態を変更したことで変動する投影光学系40の収差を補正する。

【0047】

被処理体50は、本実施形態ではウェハであるが、液晶基板その他の被処理体を広く含む。被処理体50には、フォトレジストが塗布されている。

20

【0048】

ウェハステージ60は、図示しないウェハチャックを介して被処理体50を支持し、リニアモーターなどで構成される移動機構62に接続されている。移動機構62は、レチクルステージ30と同様に、リニアモーターなどで構成され、x方向、y方向、z方向及び各軸の回転方向に被処理体50を移動させることができる。移動機構62は、後述する制御部70に制御され、例えば、レチクル20を照明する光の偏光状態を変更したことで変動するピント位置（像面位置）に被処理体50を移動する。

【0049】

制御部70は、照明装置10（偏光子切り替え部147及びアパーチャ切り替え部148）、レチクルステージ30（の図示しない移動機構）、レチクル搬送システム200、収差調整手段46、ウェハステージ60の移動機構62と電氣的に接続されており、露光装置1の動作を制御する。制御部70は、レチクル20を照明する光の偏光状態を切り替えたときやレチクル20を交換したときに生じる投影光学系40の収差変動に基づいて、投影光学系40の収差が最適な状態となるように、収差調整機構46及びウェハステージ60の移動機構62を制御する。換言すれば、制御部70は、後で詳細に説明するように、収差調整機構46及びウェハステージ60の移動機構62を介して、投影光学系40の収差、投影光学系40の像面位置、レチクル20と被処理体40との位置ズレを補正し、最適な状態となるように調整する。なお、投影光学系40の収差変動は、偏光状態が切り替わるごとに投影光学系40の収差を測定したり、メモリ80に格納された後述する収差テーブルを参照したりすることで検出することができる。また、レチクル20の交換は、レチクル20を交換したことをレチクル搬送システム200から制御部70に送信することで検出することができる。その際、交換したレチクル20のパターンの形状（特に、パターンの周期方向）も制御部70は取得し、最適な偏光状態及び有効光源分布の光でレチクル20を照明するように、偏光子切り替え部147及びアパーチャ切り替え部148を制御する。

30

【0050】

メモリ80は、レチクル20を照明する光の偏光状態と投影光学系40との相関関係を、例えば、投影光学系40を構成するレンズ群毎に示す収差テーブルを格納する。収差テ

40

50

ーブルは、例えば、 x 偏光から y 偏光に切り替えられた場合の球面収差変化量、コマ収差変化量、非点収差変化量、歪曲収差変化、フォーカス位置変化量、パターン位置ズレ変化量であったり、或いは、Zernike 多項式の Zernike 係数であっても構わない。

【0051】

以下、露光装置 1 を利用した露光方法について説明する。本発明の露光方法は、レチクルごとに異なる偏光状態で照明された場合でも、投影光学系 40 の収差を常に最適な状態に補正して露光することの特徴としている。まず、レチクル 20 (のパターン) が変更されたことを検知すると、偏光子切り替え部 147 によって、かかるレチクル 20 のパターンに最適な偏光状態に切り替える。

10

【0052】

偏光状態を切り替えると投影光学系 40 の収差が変動するため、収差調整機構 46 を介して、投影光学系 40 の収差量が最適になるように補正する。補正する投影光学系 40 の収差量 (収差変動量) は、予めレチクル 20 を照明する光の各偏光状態での収差変動量を測定しておく。或いは、露光装置 1 にシェアリング干渉計や点回折干渉計などの投影光学系 40 の収差を測定する測定機構を設け、偏光状態が切り替わるごとに収差を測定し、かかる測定結果を基に変動した収差量を算出して補正しても構わない。

【0053】

また、レチクル 20 を照明する光の偏光状態を切り替えると、投影光学系 40 の像面位置も変動するため、ウェハステージ 60 を介して、被処理体 50 を光軸方向に移動し、最適な像面位置に合わせる。この場合も、予めレチクル 20 を照明する光の各偏光状態での像面位置を測定し、ウェハステージ 60 の光軸方向への移動量を算出しておいてもよいし、露光装置 1 に設けた図示しない TTL (Through The Lens) オートフォーカス機構を用いて偏光状態が切り替わるごとに像面位置を測定し、かかる測定結果を基にウェハステージ 60 の光軸方向の移動量を決定しても構わない。

20

【0054】

更に、レチクル 20 を照明する光の偏光状態を切り替えると、レチクル 20 と被処理体 50 との位置ズレも生じるため、ウェハステージ 60 を xy 平面内に移動し、位置ズレを補正する。この場合も、予めレチクル 20 を照明する光の各偏光状態でのレチクル 20 と被処理体 50 との位置ズレ量を測定し、ウェハステージ 60 の xy 平面内の移動量を算出しておいてもよいし、露光装置 1 に設けた図示しないアライメント計測機構を用いて偏光状態が切り替わるごとに位置ズレ量を測定し、かかる測定結果を基にウェハステージ 60 の xy 平面内の移動量を決定しても構わない。

30

【0055】

ここで、投影光学系 40 の収差の補正について、被処理体 50 直上に等軸系結晶であるフッ化カルシウムで厚さ 5 [mm] の平行平板が配置され、 $NA = 0.90$ の投影光学系 40 を例に具体的に説明する。フッ化カルシウムは、光の入射角度に依存する真性複屈折を有し、例えば、ArF エキシマレーザの波長では最大 3.4 [nm / cm] の複屈折を有する。投影光学系 40 は両側 (レチクル 20 側及び被処理体 50 側) がテレセントリックに構成されているため、 NA 及び像高が決まれば、被処理体 50 直上の平行平板に入射する光の入射角度分布が一意に決まる。なお、平行平板は、フッ化カルシウムの結晶軸方位に関する [1 1 1] 軸が光軸方向に配向し、且つ、結晶軸方位に関する [1 0 0] 軸の xy 平面への射影方向が y 軸と一致するように設定されている。かかる平行平板の進相軸分布を図 6 に示す。但し、実際の露光装置においては、硝材の製造時の残留応力による複屈折及びメカニカルな応力による複屈折、或いは、反射防止膜や反射膜によっても複屈折と同じ影響を受けるが、説明を簡単にするためにそれらの影響はないものとする。

40

【0056】

図 6 に示すような進相軸分布を有する投影光学系 40 を想定し、レチクル 20 を照明する光の偏光状態を y 偏光から x 偏光に切り替えると、投影光学系 40 は、図 7 に示すよう

50

な収差変動を示す。図 7 は、投影光学系 40 の瞳面内での収差変動量を Z e r n i k e 多項式でフィッティングしたグラフであり、Z e r n i k e 係数を横軸に、偏光状態を切り替えたときの収差変動量を縦軸に採用する。なお、Z e r n i k e 多項式は、座標系として極座標 (R、) を用い、直行関数系として Z e r n i k e 円筒関数を用いた表現であり、収差変動量 W (R、) は、以下の数式 7 で表される。

【 0 0 5 7 】

【数 7】

$$W(R, \theta) = \sum C_i \cdot Z_i$$

【 0 0 5 8 】

10

ここで、C i は、Z e r n i k e 多項式の各項の係数である。また、Z i は、Z e r n i k e 円筒関数であり、以下の表 1 に示す。

【 0 0 5 9 】

【表 1】

Z1	1
Z2	$R \cos \theta$
Z3	$R \sin \theta$
Z4	$2R^2 - 1$
Z5	$R^2 \cos 2\theta$
Z6	$R^2 \sin 2\theta$
Z7	$(3R^3 - 2R) \cos \theta$
Z8	$(3R^3 - 2R) \sin \theta$
Z9	$(6R^4 - 6R^2 + 1)$
Z10	$R^3 \cos 3\theta$
Z11	$R^3 \sin 3\theta$
Z12	$(4R^4 - 3R^2) \cos 2\theta$
Z13	$(4R^4 - 3R^2) \sin 2\theta$
Z14	$(10R^5 - 12R^3 + 3R) \cos \theta$
Z15	$(10R^5 - 12R^3 + 3R) \sin \theta$
Z16	$(20R^6 - 30R^4 + 12R^2 - 1)$

20

30

【 0 0 6 0 】

本実施形態では、図 4 (a) に示すような x 方向のみに周期を有するパターンに対して、図 2 (a) に示す偏光子 147 a と図 5 (c) に示すアパーチャ 148 c を組み合わせた状態で偏光照明していたものを、図 4 (b) に示すような y 方向のみに周期を有するパターンの交換し、図 2 (b) に示す偏光子 147 b と図 5 (d) に示すアパーチャ 148 c とを組み合わせた状態の偏光照明に切り替えた場合を考える。このとき、図 7 に示したように、投影光学系 40 の収差量が変動してしまうため、投影光学系 40 の収差を最適な状態に補正する。

40

【 0 0 6 1 】

例えば、図 7 に示すスリット内一律の Z e r n i k e 係数 C 5 は、y 方向に周期を有するパターンと x 方向に周期を有するパターンでの最適な結像位置が変化してしまうアス成分である。そこで、投影光学系 40 において、レチクル 20 直下に配置した 2 つの平行平板をそれぞれ光軸に対して反対方向に傾けることでスリット内一律のアスを補正する。或いは、投影光学系 40 の瞳近傍のレンズに、Z e r n i k e 円筒関数の Z 5 の形状変形を

50

所望の量だけ加えることで補正しても構わない。

【0062】

また、直線偏光で照明する場合は、レチクル20に描画されたパターンの周期構造が特定方向に限定されていることが多い。パターンの周期構造が特定方向に限定されているのであれば、回折光が通過する特定断面のみの収差を抑えればよい。瞳のアス成分を補正するのではなく、ウェハステージ60をz方向に移動させることで、特定方向のパターンに対する最適な結像位置に被処理体50を移動してもよい。

【0063】

また、スリット内一律のZernike係数C3は、レチクル20と被処理体50との位置ズレを発生し、位置合わせ精度を劣化させる。そこで、レチクル20を照明する光の偏光状態を切り替えたときには、ウェハステージ60をxy平面内に移動させてレチクル20と被処理体50との位置ズレを補正する。

【0064】

また、スリット内一律のZernike係数C8を補正する場合には、投影光学系40のレンズの傾きを調整する、或いは、レンズを平行偏芯させることで補正する。勿論、投影光学系40の瞳近傍のミラーに、Zernike円筒関数のZ8の形状変形を所望の量だけ加えることで補正しても構わない。

【0065】

一方、図4(c)に示すパターンに対して、図2(c)に示す偏光子147cと図5(f)に示すアパーチャ148fを組み合わせた状態の偏光照明に切り替えたときには、スリット内一律のZernike係数C10の収差変動が発生する。かかる場合には、投影光学系40の瞳近傍のレンズ及びミラーに、Zernike円筒関数のZ10の形状変形を所定の量だけ加えることで補正することが可能となる。

【0066】

本実施形態では、フッ化カルシウムの真性複屈折の成分のみに着目したが、上述したように、実際には、硝材の製造時の残留応力による複屈折、反射防止膜や反射膜による偏光間位相差、メカニカルな応力による複屈折などによっても、レチクル20を照明する光の偏光状態を切り替えたときに投影光学系40の収差が変動してしまう。このときは、例えば、球面収差、コマ収差、アス、倍率、ディストーションなど、様々な収差が発生する。従って、上述した投影光学系40の収差の補正方法に限定することなく、任意のレンズ又はレンズ群の光軸方向への駆動や偏芯、或いは、平行偏芯によって収差量が最適となるように補正すればよい。勿論、投影光学系40のレンズ又はミラーに、任意の形状変形を与えることで収差を補正してもよい。なお、像面位置やレチクル20と被処理体50との位置ズレを補正するのは、上述した通りである。

【0067】

投影光学系40の収差を補正するときは、必ずしも瞳全体を補正する必要はない。例えば、図5(c)及び図5(d)に示すアパーチャ148c及び148dを用いた場合、投影光学系40の瞳のうち、使用される部分は回折光が通過する特定断面、且つ、有効光源で制限された特定部分に限定される。従って、投影光学系40の瞳断面の使用する部分だけを補正するようにしても構わない。

【0068】

また、交換するレチクルのパターンが、交換する前のレチクルのパターンと同じ方向の周期構造で構成されている場合、レチクルを照明する光の偏光状態を切り替える必要はない。但し、パターンの周期方向が同じであっても、交換するパターンのピッチが交換する前のパターンのピッチと異なる場合は、投影光学系の瞳面上での回折光分布が変化してしまう。そこで、投影光学系の瞳面上の回折光が分布している特定部分の収差を補正することが好ましい。

【0069】

このように、本発明の露光装置及び方法によれば、レチクルを照明する光の偏光状態を切り替えた場合も、投影光学系の収差を最適な状態に維持し、結像性能を劣化させず精度

10

20

30

40

50

よく微細なパターンを転写することができる。なお、本実施形態では、等軸結晶を平行平板に用いた投影光学系を有する露光装置を例にしたが、本発明はこれに限定するものではなく、パワーを有するレンズに等軸結晶を用いた投影光学系を有する露光装置であってもよい。また、本発明は、等軸結晶の光学素子を含まない投影光学系を有する露光装置にも適用することができる。

【0070】

なお、レチクルを照明する光を特定の偏光状態に偏光する際に偏光子を用いると、照明効率が劣化してスループットの低下を招いてしまう。一方、レチクルを特定の偏光状態で照明する効果は、干渉する光束が成す角度が大きい、即ち、投影光学系のNAが大きい場合であり、投影光学系のNAが小さい場合には偏光を制御した照明の効果がほとんどない。従って、本発明の露光装置が用いる投影光学系は、偏光を制御した照明の効果が顕著になる0.90以上のNAを有することが好ましい。更には、投影光学系の最終レンズ面（即ち、最も被処理体側の光学素子）と被処理体との間を、空気の屈折率よりも大きい屈折率を有する媒質（液体）で満たした液浸露光装置であることが好ましい。なお、液浸露光装置において、偏光を制御した照明の効果が更に顕著に現れる1.2を超えるようなNAを有する投影光学系の場合、像面補正のために必要なベッツパール和の補正を考えると、レンズのみで構成された光学系では径が非常に大きくなってしまうため、少なくとも1つの凹面鏡を有し、径を大きくすることなくベッツパール和の補正が可能なカタディオプトリック光学系を構成することが好ましい。

【0071】

露光において、光源部12から発せられた光束は、照明光学系14により最適な偏光状態及び有効光源分布でレチクル20を照明する。レチクル20を通過してレチクルパターンを反映する光は、投影光学系40により、被処理体50上に結像される。露光装置1が用いる投影光学系40は、常に収差が最適な状態に維持されているため、優れた結像性能を有し、高いスループットで経済性よくデバイス（半導体素子、LCD素子、撮像素子（CCDなど）、薄膜磁気ヘッドなど）を提供することができる。

【0072】

次に、図8及び図9を参照して、上述の露光装置1を利用したデバイス製造方法の実施例を説明する。図8は、デバイス（ICやLSI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（回路設計）では、デバイスの回路設計を行う。ステップ2（マスク製作）では、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。ステップ3（ウェハ製造）では、シリコンなどの材料を用いてウェハを製造する。ステップ4（ウェハプロセス）は、前工程と呼ばれ、マスクとウェハを用いてリソグラフィ技術によってウェハ上に実際の回路を形成する。ステップ5（組み立て）は、後工程と呼ばれ、ステップ4によって作成されたウェハを用いて半導体チップ化する行程であり、アセンブリ工程（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6（検査）では、ステップ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7）される。

【0073】

図9は、ステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ11（酸化）では、ウェハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）では、ウェハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ13（電極形成）では、ウェハ上に電極を蒸着などによって形成する。ステップ14（イオン打ち込み）では、ウェハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）では、ウェハに感光剤を塗布する。ステップ16（露光）では、露光装置1によってマスクの回路パターンをウェハに露光する。ステップ17（現像）では、露光したウェハを現像する。ステップ18（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ェハ上に多重

10

20

30

40

50

に回路パターンが形成される。本実施形態のデバイス製造方法によれば、従来よりも高品位のデバイスを製造することができる。このように、露光装置 1 を使用するデバイス製造方法、並びに結果物としてのデバイスも本発明の一側面を構成する。

【 0 0 7 4 】

以上、本発明の好ましい実施例について説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。例えば、本発明は、ステップ・アンド・リピート方式の露光装置（「ステッパー」とも呼ばれる）に適用することも可能であり、その場合には、レチクルと被処理体を静止させた状態で露光が行われる。

【 図面の簡単な説明 】

10

【 0 0 7 5 】

【 図 1 】 本発明の一側面としての露光装置の構成を示す概略断面図である。

【 図 2 】 図 1 に示す偏光子切り替え部がターレット上に有する偏光子及び透過孔の一例を示す概略平面図である。

【 図 3 】 図 2（c）に示す偏光子に制御された光の有効光源内の偏光状態を示す概略平面図である。

【 図 4 】 レチクルのパターンの一例を示す概略平面図である。

【 図 5 】 図 1 に示すアパーチャ切り替え部がターレット上に有するアパーチャの一例を示す概略平面図である。

【 図 6 】 $NA = 0.9$ の投影光学系において、被処理体直上に配置され、厚さ 8.5 mm のフッ化カルシウムで構成された平行平板が有する真性複屈折の進相軸分布を示す図である。 20

【 図 7 】 図 6 に示す進相軸分布を有する投影光学系における x 偏光照明時の収差と y 偏光照明時の収差との差を示すグラフである。

【 図 8 】 デバイス（IC や LSI 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。

【 図 9 】 図 8 に示すステップ 4 のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。

【 図 10 】 低 NA な 2 光束がウェハ上で干渉する様子を模式的に示す図である。

【 図 11 】 高 NA な 2 光束がウェハ上で干渉する様子を模式的に示す図である。

【 図 12 】 液浸露光において、2 光束がウェハ上で干渉する様子を模式的に示す図である 30

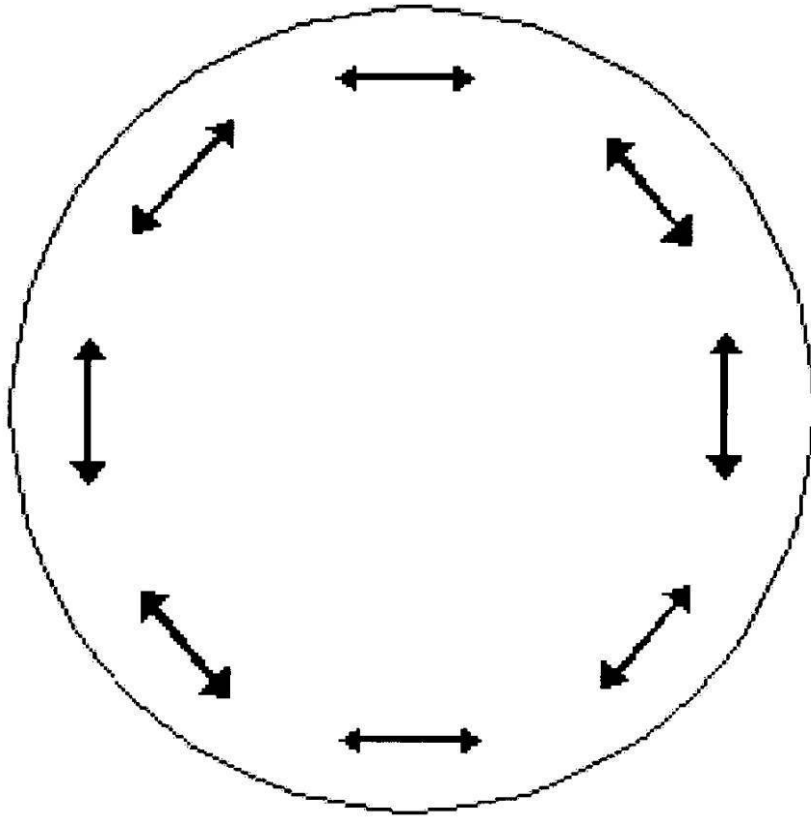
【 符号の説明 】

【 0 0 7 6 】

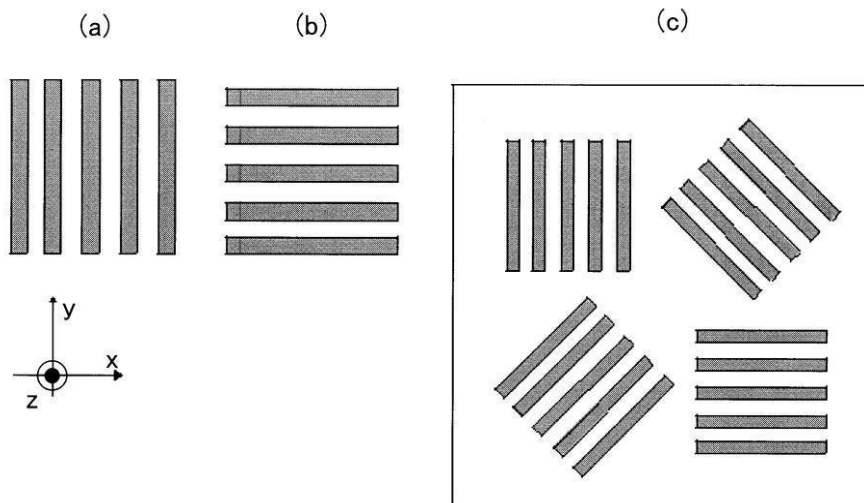
1	露光装置
10	照明装置
14	照明光学系
147	偏光子切り替え部
147a 乃至 147c	偏光子
147d	透過孔
148	アパーチャ切り替え部
148a 乃至 148f	アパーチャ
40	投影光学系
46	収差調整機構
60	ウェハステージ
62	移動機構
70	制御部
80	メモリ

40

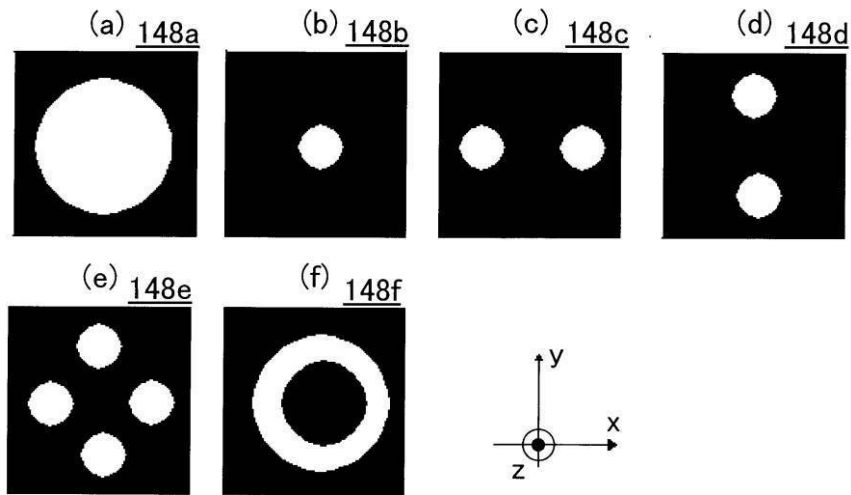
【 図 3 】



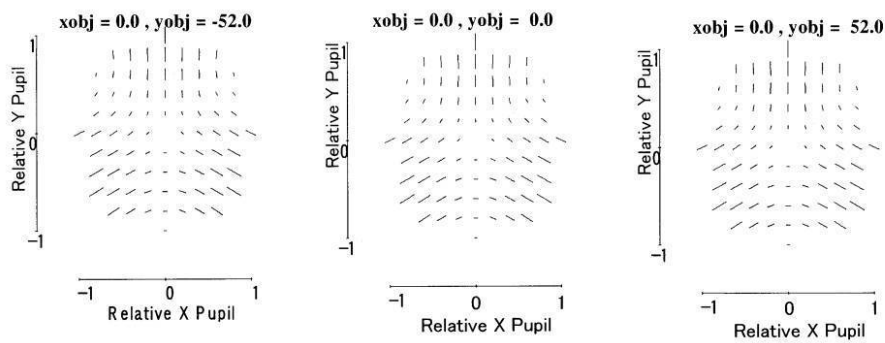
【 図 4 】



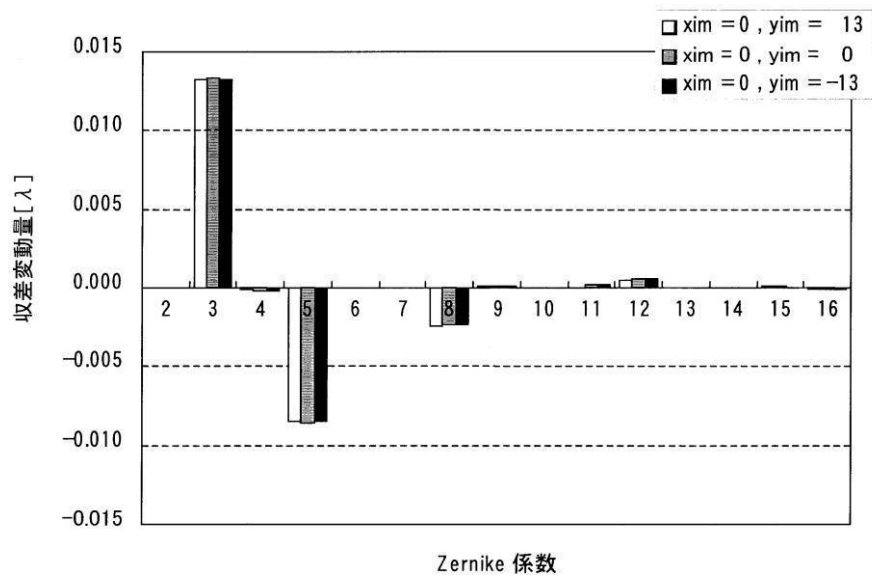
【 図 5 】



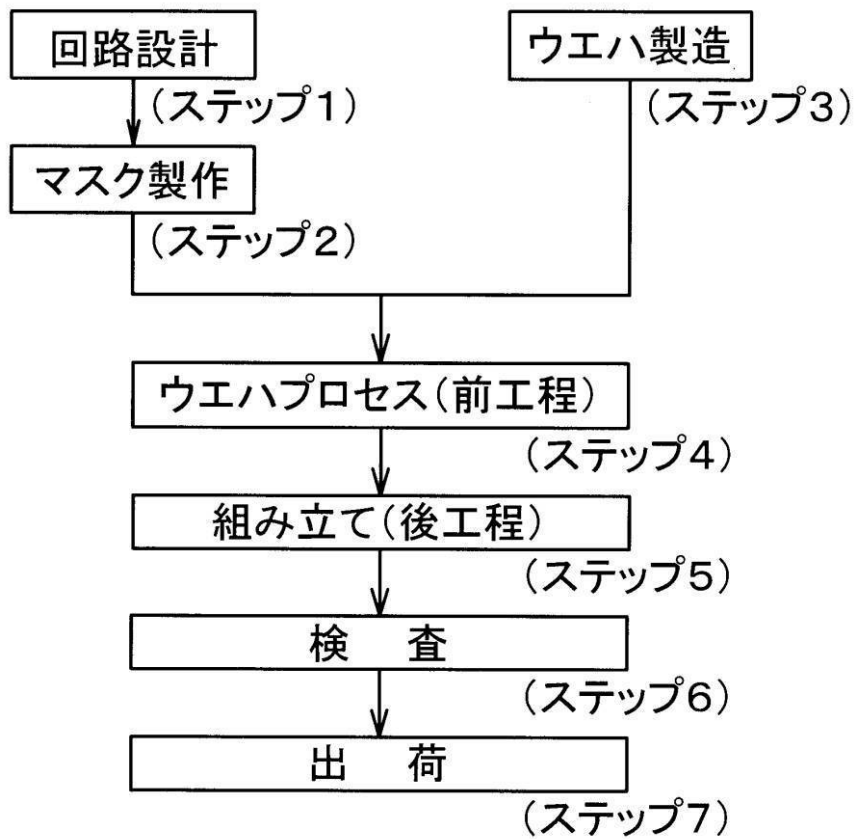
【 図 6 】



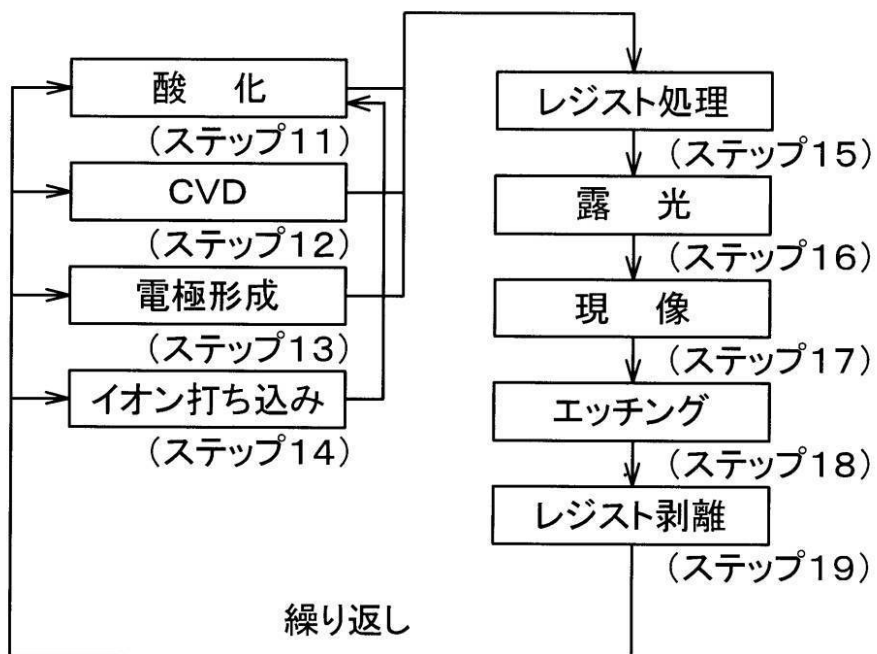
【 図 7 】



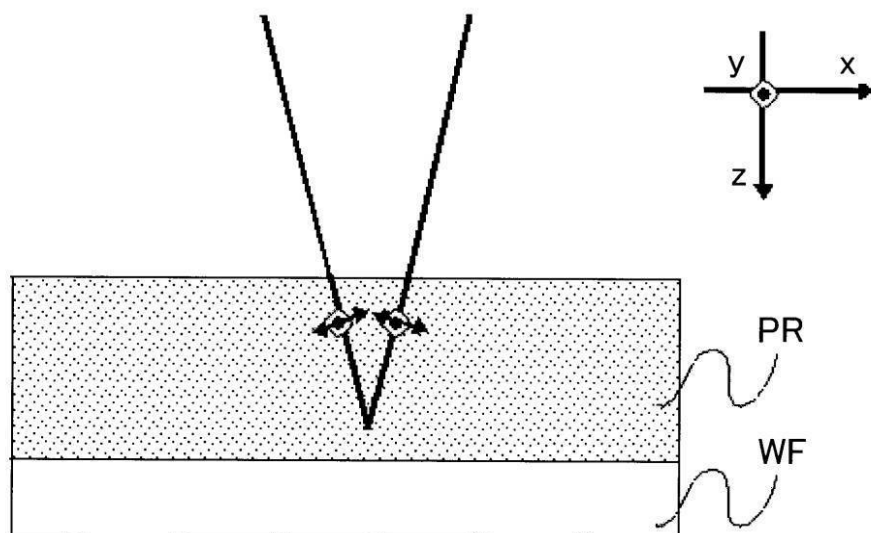
【 図 8 】



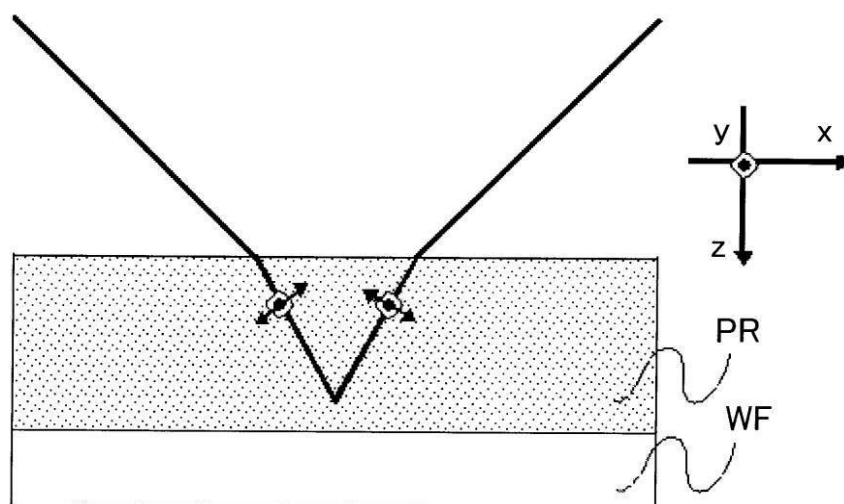
【 図 9 】



【図 10】



【図 11】



【 図 1 2 】

