

(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2006-73584**  
**(P2006-73584A)**

(43) 公開日 **平成18年3月16日(2006.3.16)**

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>HO 1 L 21/027 (2006.01)</b>	HO 1 L 21/30 5 1 6 A	5 F O 4 6
<b>GO 3 F 7/20 (2006.01)</b>	GO 3 F 7/20 5 2 1	
	HO 1 L 21/30 5 1 5 D	

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2004-251878 (P2004-251878)	(71) 出願人	000004112 株式会社ニコン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(22) 出願日	平成16年8月31日 (2004.8.31)	(74) 代理人	100064908 弁理士 志賀 正武
		(74) 代理人	100108578 弁理士 高橋 詔男
		(74) 代理人	100101465 弁理士 青山 正和
		(74) 代理人	100107836 弁理士 西 和哉
		(72) 発明者	上原 祐作 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株 株式会社ニコン内
		Fターム(参考)	5F046 BA03 CB05 DA02 DA13

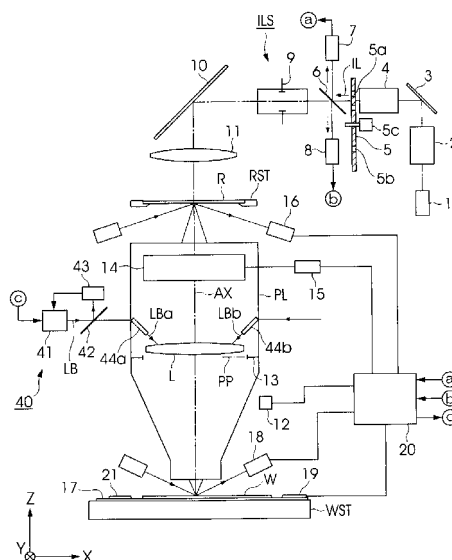
(54) 【発明の名称】 露光装置及び方法並びにデバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】 投影光学系の非回転対称な収差が所望の状態  
で露光や計測などの各種動作を行うことができる露光装  
置等を提供する。

【解決手段】 主制御系 20は、投影光学系 PL に入射  
する露光光 I L の分布と投影光学系 PL に入射する露光  
光 I L のエネルギーと投影光学系 PL の非回転対称収差  
の変動量との関係を示す伝達関数を用いて投影光学系 P  
L の非回転対称収差を算出する。この算出結果が予め設  
定された許容値以上である場合には、許容値以下になる  
まで露光動作を中断し、又は照明条件の切り替えを遅ら  
せる。

【選択図】 図 1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

基板上に露光光を照射することによって、前記基板を露光する露光装置において、前記基板上にパターンの像を投影する投影光学系と、前記投影光学系の非回転対称収差が所定の許容値以下になるまで所定動作の実行を中止する制御システムとを備えることを特徴とする露光装置。

## 【請求項 2】

前記所定動作は、前記基板に対する露光動作を含むことを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。

10

## 【請求項 3】

前記制御システムは、前記投影光学系の少なくとも一部に入射する光の分布と前記投影光学系の少なくとも一部に入射する光のエネルギーと前記投影光学系の非回転対称収差の変動量との関係を示す伝達関数を記憶する記憶部と、

前記投影光学系の少なくとも一部に入射する光のエネルギー又は当該エネルギーに相当する量を計測する計測装置の計測結果と前記記憶部に記憶された前記伝達関数とに基づいて前記投影光学系の非回転対称収差を算出する算出部と、

前記算出部により算出された前記投影光学系の非回転対称収差が前記所定の許容値以下であるか否かを判断する判断部と

を備えることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 記載の露光装置。

20

## 【請求項 4】

前記制御システムは、前記投影光学系の非回転対称収差が前記所定の許容値よりも大きい場合に、前記基板の交換時及び前記基板上に設定された複数の区画領域の各々に対する露光処理の終了時の少なくとも一方の時点で前記所定動作を中断することを特徴とする請求項 1 から請求項 3 の何れか一項に記載の露光装置。

## 【請求項 5】

前記所定動作は、前記投影光学系の像面に対する共役面における前記露光光の分布と、前記投影光学系の瞳面若しくはその共役面における前記露光光の分布との少なくとも一方の変更を含むことを特徴とする請求項 1 から請求項 4 の何れか一項に記載の露光装置。

## 【請求項 6】

前記パターンを照明するための照明系を更に備え、

該照明系は、前記投影光学系の瞳面と共役な面における露光光の分布、及び前記投影光学系の像面と共役な面における露光光の分布の少なくとも一方を変更する変更部材を含むことを特徴とする請求項 5 記載の露光装置。

30

## 【請求項 7】

前記投影光学系の収差を測定する収差測定装置を備えており、

前記制御システムは、前記収差測定装置の測定結果に基づいて前記投影光学系の非回転対称収差が前記所定の許容値以下であるか否かを判断する判断部を備えることを特徴とする請求項 1 から請求項 6 の何れか一項に記載の露光装置。

## 【請求項 8】

前記投影光学系の結像特性を制御する結像特性制御手段を備えることを特徴とする請求項 1 から請求項 7 の何れか一項に記載の露光装置。

40

## 【請求項 9】

前記結像特性制御手段は、前記投影光学系の少なくとも一部に前記露光光の波長とは異なる波長の光ビームを照射して、前記投影光学系の結像特性を制御することを特徴とする請求項 8 記載の露光装置。

## 【請求項 10】

前記結像特性制御手段は、前記投影光学系の回転対称収差を補正する補正機構を有し、

前記露光光の波長と異なる波長の光ビームを照射して前記投影光学系の非回転対称収差を回転対称収差に変更して、前記補正機構で補正することを特徴とする請求項 9 記載の露

50

光装置。

【請求項 1 1】

照明光をマスクに照射し、前記マスクのパターンを投影光学系を介して基板上に転写する露光方法において、

前記投影光学系の非回転対称収差が所定の許容値以下になるまで所定動作の実行を中止することを特徴とする露光方法。

【請求項 1 2】

前記所定動作は、前記基板に対する露光動作を含むことを特徴とする請求項 1 1 記載の露光装置。

【請求項 1 3】

前記所定動作は、前記投影光学系の像面に対する共役面における前記露光光の分布と、前記投影光学系の瞳面若しくはその共役面における前記露光光の分布との少なくとも一方の変更を含むことを特徴とする請求項 1 1 又は請求項 1 2 記載の露光方法。

【請求項 1 4】

請求項 1 から請求項 1 0 の何れか一項に記載の露光装置、又は請求項 1 1 から請求項 1 3 の何れか一項に記載の露光方法を用いてデバイスのパターンを物体上に転写する工程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、マスクのパターンを投影光学系を介して基板上に転写する露光装置及び方法、並びに当該露光装置又は方法を用いてデバイスを製造するデバイス製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体素子、液晶表示素子、撮像装置（CCD（Charge Coupled Device）等）、薄膜磁気ヘッド等のデバイスを製造する際に、マスクとしてのレチクルのパターンを基板としてのフォトリソが塗布されたウェハ（又はガラスプレート等）上の各ショット領域に転写するために、ステッパ等の投影露光装置が使用されている。投影露光装置においては、露光光の照射量や周囲の気圧変化等によって、投影光学系の結像特性が次第に変化する。このため、結像特性を常に所望の状態に維持するために、投影露光装置には、例えば投影光学系を構成する一部の光学部材の位置又は姿勢を制御することによって、その結像特性を補正する結像特性補正機構が設けられている。従来の結像特性補正機構によって補正することができる結像特性は、歪曲収差や倍率等の回転対称の低い次数の成分である。

【0003】

ところで、近年の露光装置においては、特定のパターンに対する解像度を高めるために、所謂輪帯照明又は4極照明（照明光学系の瞳面上の4箇所の領域を2次光源とする照明法）よりなる、照明光学系の瞳面上の光軸を含む領域を露光光が通過しない照明条件が用いられる機会が多くなっている。かかる照明条件を用いるときには、投影光学系中の瞳面付近の光学部材は、ほぼ中抜けの状態では露光光が照明されることになる。また、投影光学系を大型化することなく、転写できるパターンの面積を大きくするため、最近ではスキヤニングステッパ等の走査露光型の投影露光装置も多用されている。走査露光型の場合、レチクルは走査方向を短辺方向とする長形状の照明領域で照明されるため、投影光学系中のレチクル及びウェハに近い光学部材は、主に非回転対称な領域が露光光に照明されることになる。

【0004】

このような露光装置においては、球面収差等の高次成分の変動や非回転対称の変動が生じる虞がある。そこで、これらの収差変動を抑えるようにした投影露光装置が以下の特許文献1、特許文献2等で提案されている。更に、レチクルやレチクルパターンに応じて照明条件を変更した場合にも、投影光学系の結像特性を厳密に制御するようにした投影露光装置が以下の特許文献3等で提案されている。

10

20

30

40

50

【特許文献1】特開平10-64790号公報

【特許文献2】特開平10-50585号公報

【特許文献3】特開平6-45217号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、最近においては、例えば所定のライン・アンド・スペースパターンを主に含むレチクルパターンを転写するような場合に、照明光学系の瞳面上の光軸を挟む2つの領域のみを2次光源とするダイポール照明（2極照明）が用いられることがある。このダイポール照明は4極照明に比べて光量分布が大きく非回転対称になっているため、投影像に非回転対称な収差成分である光軸上での非点収差（以下、「センターアス」という）が発生する。また、ダイポール照明によってセンターアス以外の非回転対称な収差変動も生じる。

10

【0006】

更に、レチクル上の長形状の照明領域の更に一方の端部の領域のみが露光光で照明される場合、投影光学系のレチクル側及びウェハ側の光学部材において露光光の光量分布が更に大きく非回転対称となるため、非回転対称な収差成分が多く発生する。同様に、レチクルのパターン密度が特定の領域で特に低いような場合にも、投影光学系のレチクル側及びウェハ側の光学部材において露光光の光量分布が大きく非回転対称となるため、非回転対称な収差成分が発生する。

20

【0007】

このような非回転対称な収差成分は、前述した結像特性補正機構を用いても補正することはできない。従って、レチクルやレチクルパターンに応じて照明条件を変更したときに、新たな照明条件の下で結像特性補正機構を用いて投影光学系の結像特性を制御したとしても投影光学系の非回転対称な収差成分を補正することはできない。このため、従来の技術では非対称な収差成分が生ずる投影光学系の結像特性を厳密に制御することはできなかった。

【0008】

本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、投影光学系の結像特性が所望の状態での露光や計測等の各種動作を実行することができる露光装置及び方法、並びに当該露光装置又は方法を用いてデバイスを製造するデバイス製造方法を提供することを目的とする。特に、本発明は、投影光学系の非回転対称な収差が所望の状態での露光や計測などの各種動作を行うことができる露光装置及び方法、並びに当該露光装置又は方法を用いてデバイスを製造するデバイス製造方法を提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明は、実施の形態に示す各図に対応付けした以下の構成を採用している。但し、各要素に付した括弧付き符号はその要素の例示に過ぎず、各要素を限定するものではない。

上記課題を解決するために、本発明の露光装置は、基板（W）上に露光光（IL）を照射することによって、前記基板を露光する露光装置において、前記基板上にパターンの像を投影する投影光学系（PL）と、前記投影光学系の非回転対称収差が所定の許容値以下になるまで所定動作の実行を中止する制御システム（20）とを備えることを特徴としている。

40

この発明によると、制御システムによって投影光学系PLの非回転対称収差が所定の許容値以下になるまで所定動作の実行が中止される。

ここで、前記所定動作は、前記基板に対する露光動作、又は、前記投影光学系の像面に対する共役面における前記露光光の分布と、前記投影光学系の瞳面若しくはその共役面における前記露光光の分布との少なくとも一方の変更を含むことを特徴としている。

また、本発明の露光装置は、前記制御システムが、前記投影光学系の少なくとも一部に入射する光の分布と前記投影光学系の少なくとも一部に入射する光のエネルギーと前記投

50

影光学系の非回転対称収差の変動量との関係を示す伝達関数を記憶する記憶部(37)と、前記投影光学系の少なくとも一部に入射する光のエネルギー又は当該エネルギーに相当する量を計測する計測装置の計測結果と前記記憶部に記憶された前記伝達関数とに基づいて前記投影光学系の非回転対称収差を算出する算出部(31)と、前記算出部により算出された前記投影光学系の非回転対称収差が前記所定の許容値以下であるか否かを判断する判断部(36)とを備えることを特徴としている。

上記課題を解決するために、本発明の露光方法は、照明光(IL)をマスク(R)に照射し、前記マスクのパターンを投影光学系(PL)を介して基板(W)上に転写する露光方法において、前記投影光学系の非回転対称収差が所定の許容値以下になるまで所定動作の実行を中止することを特徴としている。

本発明のデバイス製造方法は、上記の露光装置、又は上記の露光方法を用いてデバイスのパターンを物体(W)上に転写する工程(S46)を含むことを特徴としている。

10

#### 【発明の効果】

##### 【0010】

本発明によれば、投影光学系の結像特性、特に非回転対称な収差が所望の状態で開催動作を実行することができる。

また、本発明によれば、微細なパターンを忠実に物体上に転写することができ、その結果として製造不良が低減されて高い歩留まりでデバイスを製造することができる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

##### 【0011】

以下、図面を参照して本発明の一実施形態による露光装置及び方法並びにデバイス製造方法について詳細に説明する。

20

##### 【0012】

#### 〔露光装置〕

図1は、本発明の一実施形態による露光装置の概略構成を示す図である。図1に示す露光装置は、図1中の投影光学系PLに対してマスクとしてのレチクルRと基板としてのウェハWとを相対的に移動させつつ、レチクルRに形成されたパターンをウェハWに逐次転写するステップ・アンド・スキャン方式の走査露光型の露光装置である。

##### 【0013】

尚、以下の説明においては、必要であれば図中にXYZ直交座標系を設定し、このXYZ直交座標系を参照しつつ各部材の位置関係について説明する。図1に示すXYZ直交座標系は、X軸及びY軸がウェハWに対して平行となるよう設定され、Z軸がウェハWに対して直交する方向に設定されている。図中のXYZ座標系は、実際にはXY平面が水平面に平行な面に設定され、Z軸が鉛直上方向に設定される。また、本実施形態ではレチクルR及びウェハWを同期移動させる方向(走査方向)をY方向に設定している。

30

##### 【0014】

図1に示す露光装置は、露光光源1、照明光学系ILS、レチクルステージRST、投影光学系PL、ウェハステージWST、及び制御システムとしての主制御系20を含んで構成されている。露光光源1は、例えばKrFエキシマレーザー光源(波長247nm)である。尚、露光光源1としては、ArFエキシマレーザー光源(波長193nm)、F<sub>2</sub>レーザー光源(波長157nm)、Kr<sub>2</sub>レーザー光源(波長146nm)、Ar<sub>2</sub>レーザー光源(波長126nm)等の紫外レーザー光源、YAGレーザーの高調波発生光源、固体レーザー(半導体レーザー等)の高調波発生装置、又は水銀ランプ(i線等)等も使用することができる。

40

##### 【0015】

露光時に露光光源1からパルス発光された露光光ILは、不図示のビーム整形光学系等を経て断面形状が所定形状に整形されて、オプティカル・インテグレータ(ユニフォマイザ又はホモジナイザ)としての第1フライアイレンズ2に入射して、照度分布が均一化される。第1フライアイレンズ2から射出された露光光ILは、不図示のリレーレンズ及び振動ミラー3を経てオプティカル・インテグレータとしての第2フライアイレンズ4に入

50

射して、照度分布が更に均一化される。振動ミラー 3 は、レーザ光である露光光 I L のスペックルの低減、及びフライアイレンズによる干渉縞の低減のために使用される。尚、フライアイレンズ 2 , 4 の代わりに、回折光学素子 (D O E : Diffractive Optical Element) 又は内面反射型インテグレータ (ロッドレンズ等) 等を使用することもできる。

【 0 0 1 6 】

第 2 フライアイレンズ 4 の射出側の焦点面 (照明光学系 I L S の瞳面) には、露光光の光量分布 (2 次光源) を小さい円形 (小 照明)、通常の円形、複数の偏心領域 (2 極及び 4 極照明)、並びに輪帯状等のうちの何れかに設定して照明条件を決定するための照明系開口絞り部材 5 が、駆動モータ 5 c によって回転自在に配置されている。装置全体の動作を統轄制御するコンピュータよりなる主制御系 2 0 が、駆動モータ 5 c を介して照明系開口絞り部材 5 の回転角を制御することによって照明条件を設定する。 10

【 0 0 1 7 】

図 1 に示す状態では、照明系開口絞り部材 5 の複数の開口絞り (絞り) のうちの、光軸を中心として対称に 2 つの円形開口が形成された第 1 のダイポール照明 (2 極照明) 用の開口絞り 5 a、及びこの開口絞り 5 a を 90° 回転した形状の第 2 のダイポール照明用の開口絞り 5 b が図示されている。そして、第 2 フライアイレンズ 4 の射出側の焦点面には、第 1 のダイポール照明用の開口絞り 5 a が設置されている。尚、本例においては、照明系開口絞り部材 5 a を用いて照明光学系 I L S の瞳面での光量分布の調整を行っているが、米国特許 6 , 5 6 3 , 5 6 7 に開示されているような他の光学部材を用いて照明光学系 I L S の瞳面での光量分布の調整を行ってもよい。 20

【 0 0 1 8 】

照明系開口絞り部材 5 中の開口絞り 5 a を通過した露光光 I L は、反射率の小さいビームスプリッタ 6 に入射し、ビームスプリッタ 6 で反射された露光光は、集光レンズ (不図示) を介してインテグレータセンサ 7 に受光される。インテグレータセンサ 7 の検出信号は主制御系 2 0 に供給されおり、この検出信号に基づいて主制御系 2 0 は、露光光源 1 の出力を制御すると共に、必要に応じて不図示の減光機構を用いて露光光 I L のパルスエネルギーを段階的に制御する。

【 0 0 1 9 】

ビームスプリッタ 6 を透過した露光光 I L は、不図示のリレーレンズを経て視野絞り 9 の開口上に入射する。視野絞り 9 は、実際には固定視野絞り (固定ブラインド) 及び可動視野絞り (可動ブラインド) から構成されている。後者の可動視野絞りは、レチクル R のパターン面 (レチクル面) とほぼ共役な面に配置され、前者の固定視野絞りは、そのレチクル面との共役面から僅かにデフォーカスした面に配置されている。固定視野絞りは、レチクル R 上の照明領域の形状を規定するために使用される。尚、ここでは固定視野絞りがレチクル面との共役面から僅かにデフォーカスしている場合を例に挙げて説明するが、共役面に配置されていても良い。可動視野絞りは、露光対象の各ショット領域への走査露光の開始時及び終了時に不要な部分への露光が行われないように、レチクル R (又は、ウェハ) と同期して動き、その照明領域を遮るために使用される。また、固定視野絞りは走査露光のときに動かないけれども、必要に応じて照明領域の走査方向及び非走査方向の中心及び幅を規定するためにも使用される。 30 40

【 0 0 2 0 】

視野絞り 9 の開口を通過した露光光 I L は、不図示のコンデンサレンズ、光路折り曲げ用のミラー 1 0、及びコンデンサレンズ 1 1 を経て、レチクル R のレチクル面の照明領域を均一な照度分布で照明する。視野絞り 9 (固定視野絞り) の開口の通常の形状は、縦横比が 1 : 3 から 1 : 4 程度の長方形である。従って、視野絞り 9 の開口とほぼ共役なレチクル R 上の照明領域の通常の形状も長方形である。

【 0 0 2 1 】

露光光 I L のもとで、レチクル R の照明領域内のパターンは、両側テレセントリックの投影光学系 P L を介して投影倍率 (は 1 / 4 , 1 / 5 等) で、フォトレジストが塗布されたウェハ W 上の一つのショット領域上の露光領域に投影される。その露光領域は、投 50

影光学系 P L に関してレチクル R 上の照明領域と共役な長方形の領域である。ウェハ W は、例えば半導体（シリコン等）又は S O I (silicon on insulator) 等の直径が 200 ~ 300 mm 程度の円板状の基板である。

#### 【0022】

露光光 I L の一部はウェハ W で反射され、その反射光は投影光学系 P L、レチクル R、コンデンサレンズ 11、ミラー 10、及び視野絞り 9 を順次経てビームスプリッタ 6 に戻り、ビームスプリッタ 6 で更に反射された光が集光レンズ（不図示）を介して反射量センサ（反射率モニタ）8 で受光される。反射量センサ 8 の検出信号は主制御系 20 に供給されている。また、投影光学系 P L の外部（例えば、投影光学系 P L の ± X 側及び ± Y 側の計 4 箇所）には、気圧及び温度を計測するための環境センサ 12 が配置されており、各環境センサ 12 で計測された計測データも主制御系 20 に供給されている。

10

#### 【0023】

露光光源 1、フライアイレンズ 2, 4、ミラー 3, 9、照明系開口絞り部材 5、視野絞り 9、及びコンデンサレンズ 11 等から照明光学系 I L S が構成されている。照明光学系 I L S は更に気密室としての不図示のサブチャンバに覆われている。露光光 I L に対する透過率を高く維持するために、そのサブチャンバ内及び投影光学系 P L の鏡筒内には、不純物を高度に除去したドライエアー（露光光が A r F エキシマレーザの場合には窒素ガス、ヘリウムガス等も使用される）が供給されている。

#### 【0024】

また、本実施形態の投影光学系 P L は屈折系であり、投影光学系 P L を構成する複数の光学部材は、光軸 A X を中心として回転対称な石英（露光光が A r F エキシマレーザの場合には蛍石等も使用される）よりなる複数のレンズ、及び石英よりなる平板状の収差補正板等を含んでいる。そして、投影光学系 P L の瞳面 P P（照明光学系 I L S の瞳面と共役な面）には開口絞り 13 が配置され、その瞳面 P P の近傍に所定の光学部材としてのレンズ L が配置されている。このレンズ L には、露光光 I L とは異なる波長域の非回転対称の収差補正用の照明光が照射される（詳細後述）。また、投影光学系 P L には、回転対称な収差を補正するための結像特性補正機構 14 が組み込まれており、主制御系 20 が、制御部 15 を介して結像特性補正機構 14 の動作を制御する。

20

#### 【0025】

図 2 は、結像特性補正機構 14 の一例を示す図である。図 2 において、投影光学系 P L の鏡筒内で、複数の光学部材中から選択された例えば 5 枚のレンズ L 1, L 2, L 3, L 4, L 5 がそれぞれ 3 個の光軸方向に独立に伸縮自在の駆動素子 14 a, 14 b, 14 c, 14 d, 14 e を介して保持されている。レンズ L 1 ~ L 5 の前後には固定された不図示のレンズや収差補正板も配置されている。この場合、3 個の駆動素子 14 a（図 2 では 2 個のみを図示している）は、ほぼ正三角形の頂点となる位置関係で配置されており、同様に他の 3 個ずつの駆動素子 14 b ~ 14 e もそれぞれほぼ正三角形の頂点となる位置関係で配置されている。伸縮自在の駆動素子 14 a ~ 14 e としては、例えばピエゾ素子のような圧電素子、磁歪素子、又は電動マイクロメータ等を使用することができる。制御部 15 が、主制御系 20 からの制御情報に基づいて 3 個ずつの駆動素子 14 a ~ 14 e の伸縮量を独立に制御することによって、5 枚のレンズ L 1 ~ L 5 のそれぞれの光軸方向の位置、及び光軸に垂直な直交する 2 軸の回りの傾斜角を独立に制御することができる。これによって、投影光学系 P L の結像特性中の所定の回転対称な収差を補正することができる。

30

40

#### 【0026】

例えば、レチクル又はウェハに近い位置のレンズ L 1, L 5 の光軸方向の位置や傾斜角を制御することによって、例えば歪曲収差（倍率誤差を含む）等を補正することができる。また、例えば投影光学系 P L の瞳面に近い位置のレンズ L 3 の光軸方向の位置を制御することによって、球面収差等を補正することができる。尚、図 2 の駆動対象のレンズ L 3 は、図 1 の投影光学系 P L 内の収差補正用の照明光が照射されるレンズ L と同一であってもよい。このように投影光学系 P L 内のレンズ等を駆動する機構については、例えば特開

50

平4-134813号公報にも開示されている。また、投影光学系PL内の光学部材の代わりに、又はその光学部材と共に、図1のレチクルRの光軸方向の位置を制御して、所定の回転対称な収差を補正してもよい。更に、図1の結像特性補正機構14としては、例えば特開昭60-78454号公報に開示されているように、投影光学系PL内の所定の2つのレンズ間の密閉された空間内の気体の圧力を制御する機構を用いてもよい。

**【0027】**

図1に戻り、レチクルRはレチクルステージRST上に吸着保持され、レチクルステージRSTは不図示のレチクルベース上でY方向に一定速度で移動すると共に、同期誤差を補正するようにX方向、Y方向、回転方向に微動して、レチクルRの走査を行う。レチクルステージRSTのX方向、Y方向の位置及び回転角は、この上に設けられた移動鏡(不図示)及びレーザ干渉計(不図示)によって計測され、この計測値が主制御系20に供給されている。

10

**【0028】**

投影光学系PLの上部側面には、レチクルRのパターン面(レチクル面)に斜めにスリット像を投影し、そのレチクル面からの反射光を受光してそのスリット像を再結像し、そのスリット像の横ずれ量からレチクル面のZ方向への変位を検出する斜入射方式のオートフォーカスセンサ(以下、「レチクル側AFセンサ」と言う)16が配置されている。レチクル側AFセンサ16による検出情報は、主制御系20に供給されている。また、レチクルRの周辺部の上方には、レチクルアライメント用のレチクルアライメント顕微鏡(不図示)が配置されている。

20

**【0029】**

一方、ウェハWは、ウェハホルダ(不図示)を介してZチルトステージ17上に吸着保持され、Zチルトステージ17はウェハステージWST上に固定され、ウェハステージWSTは不図示のウェハベース上でY方向に一定速度で移動すると共に、X方向、Y方向にステップ移動する。また、Zチルトステージ17は、ウェハWのZ方向の位置、及びX軸、Y軸の回りの傾斜角を制御する。ウェハステージWSTのX方向、Y方向の位置及び回転角は、レーザ干渉計(不図示)によって計測され、この計測値が主制御系20に供給されている。主制御系20は、その計測値及び各種制御情報に基づいてウェハステージWSTの位置及び速度を制御する。

**【0030】**

投影光学系PLの下部側面には、ウェハWの表面(ウェハ面)に斜めに複数のスリット像を投影し、そのウェハ面からの反射光を受光してそれらのスリット像を再結像し、それらのスリット像の横ずれ量からウェハ面のZ方向への変位(デフォーカス量)及び傾斜角を検出する斜入射方式のオートフォーカスセンサ(以下、「ウェハ側AFセンサ」と言う)18が配置されている。ウェハ側AFセンサ18による検出情報は、主制御系20に供給されており、主制御系20は、レチクル側AFセンサ16及びウェハ側AFセンサ18の検出情報に基づいて、常時ウェハ面が投影光学系PLの像面に合焦されるように、オートフォーカス方式でZチルトステージ17を駆動する。

30

**【0031】**

また、Zチルトステージ17上のウェハWの近くには、露光光ILの露光領域の全体を覆う受光面を備えた光電センサよりなる照射量センサ19が固定され、照射量センサ19の検出信号が主制御系20に供給されている。露光開始前又は定期的に、照射量センサ19の受光面を投影光学系PLの露光領域に移動した状態で露光光ILを照射して、照射量センサ19の検出信号をインテグレートセンサ7の検出信号で除算することによって、主制御系20は、ビームスプリッタ6から照射量センサ19(ウェハW)までの光学系の透過率を算出して記憶する。また、Zチルトステージ17上には、投影光学系PLの収差を測定する収差測定装置21が設けられている。収差測定装置21は、例えば特開2002-14005号公報(対応米国特許公開2002/0041377号)に開示されているような空間像センサを用いることができる。この収差測定装置21の測定結果は、主制御系20に供給されている。

40

50



## 【0032】

更に、ウェハステージWSTの上方には、ウェハアライメント用のオフ・アクシス方式のアライメントセンサ（不図示）が配置されており、上記のレチクルアライメント顕微鏡及びそのアライメントセンサの検出結果に基づいて、主制御系20はレチクルRのアライメント及びウェハWのアライメントを行う。露光時には、レチクルR上の照明領域に露光光ILを照射した状態で、レチクルステージRST及びウェハステージWSTを駆動して、レチクルRとウェハW上の一つのショット領域とをY方向に同期走査する動作と、ウェハステージWSTを駆動してウェハWをX方向、Y方向にステップ移動する動作とが繰り返される。この動作によって、ステップ・アンド・スキャン方式でウェハW上の各ショット領域にレチクルRのパターン像が露光される。

10

## 【0033】

〔主制御系の内部構成〕

図3は、主制御系20の内部構成、及び主制御系20と各種信号の授受を行う装置を示すブロック図である。図3に示す通り主制御系20は、結像特性演算部31、結像特性制御部32、露光量制御部33、ステージ制御部34、Zチルトステージ制御部35、コントローラ36、及びメモリ37を含んで構成される。

## 【0034】

結像特性演算部31は、インテグレータセンサ7及び反射量センサ8の検出信号を用いて、レチクルRから投影光学系PLに入射する露光光ILの積算エネルギー、及びウェハWで反射されて投影光学系PLに戻る露光光ILの積算エネルギーを算出する。この結像特性演算部31には、コントローラ36から露光中の照明条件の情報も供給されている。また、結像特性演算部31は、照明条件、露光光ILの積算エネルギー、及び環境センサ12から供給される周囲の気圧、温度等の情報を用いて、投影光学系PLの結像特性中の回転対称な収差成分及び非回転対称な収差成分の変動量を算出する。

20

## 【0035】

ここで、結像特性演算部31が投影光学系PLの結像特性中の非回転対称な収差成分の変動量を算出する場合には、コントローラ36によってメモリ37から読み出された伝達関数（詳細は後述する）を用いて算出する。更に、収差測定装置21から測定結果が出力された場合には、その測定結果から投影光学系PLの結像特性中の回転対称な収差成分及び非回転対称な収差成分の変動量を算出する。

30

## 【0036】

結像特性制御部32は、結像特性演算部31で算出された投影光学系PLの収差成分の変動量に基づいて、制御部15を介して結像特性補正機構14の動作を制御し、又は後述する非露光光照射機構40の動作を制御し、常に所望の結像特性が得られるように投影光学系PLの結像特性の変動量を抑制する。結像特性補正機構14により投影光学系PLの結像特性を補正する場合には、主制御系20内の結像特性制御部32からの制御情報に基づいて、制御部15が3個ずつの駆動素子14a～14eの伸縮量を独立に制御することによって、5枚のレンズL1～L5のそれぞれの光軸方向の位置、及び光軸に垂直な直交する2軸の回りの傾斜角を独立に制御し、これによって、投影光学系PLの結像特性中の所定の回転対称な収差が補正される。尚、非露光光照射機構40による投影光学系PLの結像特性の補正方法についての詳細は後述する。

40

## 【0037】

露光量制御部33は、インテグレータセンサ7の検出信号と予め計測されているビームスプリッタ6からウェハWまでの光学系の透過率とを用いてウェハW上での露光エネルギーを間接的に算出する。ここで、ビームスプリッタ6からウェハWまでの光学系の透過率は、露光開始前又は定期的に、照射量センサ19の受光面を投影光学系PLの露光領域に移動した状態で露光光ILを照射して、照射量センサ19の検出信号をインテグレータセンサ7の検出信号で除算することによって求める。また、露光量制御部33は、ウェハW上での積算露光エネルギーが目標範囲内に収まるように、露光光源1の出力を制御すると共に、必要に応じて不図示の減光機構を用いて露光光ILのパルスエネルギーを段階的に

50

制御する。

【 0 0 3 8 】

ステージ制御部 3 4 は、レチクルステージ R S T 上に設けられた不図示のレーザ干渉計の計測値と各種制御情報とに基づいて、レチクルステージ R S T の位置及び速度を制御する。また、ウェハステージ W S T 上に設けられた不図示のレーザ干渉計の計測値と各種制御情報とに基づいて、ウェハステージ W S T の位置及び速度を制御する。また、Zチルトステージ制御部 3 5 は、レチクル側 A F センサ 1 6 及びウェハ側 A F センサ 1 8 の検出情報に基づいて、常時ウェハ面が投影光学系 P L の像面に合焦されるように、オートフォーカス方式で Zチルトステージ 1 7 を駆動する。

【 0 0 3 9 】

コントローラ 3 6 は、結像特性演算部 3 1、結像特性制御部 3 2、露光量制御部 3 3、ステージ制御部 3 4、及び Zチルトステージ制御部 3 5 を制御することで、露光装置の全体的な動作を制御する。詳細は後述するが、コントローラ 3 6 は、結像特性演算部 3 1 で算出される投影光学系 P L の非回転対称収差が予め設定された許容値以下になるまで、所定の動作の実行を中止する制御を行う。

【 0 0 4 0 】

例えば、投影光学系 P L の非回転対称収差が予め設定された許容値以下になるまでウェハ W に対する露光動作を中断し、又は投影光学系 P L の非回転対称収差が予め設定された許容値以下になるまで照明条件等の変更を遅らせる制御を行う。ここにいう、照明条件等の変更とは、投影光学系 P L の像面に対する共役面（視野絞り 9 が配置されている面又はレチクル面等）における露光光 I L の分布の変更、及び投影光学系 P L の瞳面 P P 又はその共役面（照明系開口絞り部材 5 が配置されている位置等）における露光光 I L の分布の変更を含む。

【 0 0 4 1 】

メモリ 3 7 は、投影光学系 P L の少なくとも一部に入射する光の分布と投影光学系 P L の少なくとも一部に入射する光のエネルギーと投影光学系 P L の非回転対称収差の変動量との関係を示す伝達関数を記憶する。また、メモリ 3 7 は上記のウェハ W に対する露光動作を中断するか否か、又は照明条件等の切り換えを行うか否かを判断するための許容値を記憶する。尚、ここでは投影光学系 P L の非回転対称収差に関する伝達関数を主として説明するが、投影光学系 P L の回転対称収差に関する伝達関数もメモリ 3 7 に記憶されていても良い。

【 0 0 4 2 】

メモリ 3 7 に記憶される伝達関数の一般式は、例えば以下の ( 1 ) 式で表される。

【 数 1 】

$$F = \sum_k \left[ F_k \times \exp \left( -\frac{\Delta t}{T_k} \right) + C_k \times (1 + \alpha \times R_w) \times Q \times \left\{ 1 - \exp \left( -\frac{\Delta t}{T_k} \right) \right\} \right] \dots (1)$$

但し、

- F : 露光光吸収によるフォーカス変化量
- t : 露光光吸収によるフォーカス変化量の計算間隔
- T<sub>k</sub> : 露光光吸収によるフォーカス変化時定数

10

20

30

40

50

$F_k$  : 露光光吸収による時刻  $t$  前のフォーカス変化時定数

$C_k$  : 露光光吸収に対するフォーカス変化率の時定数

$R_w$  : ウェハ反射率

: ウェハ反射率依存性

$Q$  : 露光光の入射エネルギー

#### 【0043】

上記(1)に示す伝達関数は、投影光学系 PL に露光光 IL を照射したときのフォーカス変動量を示す伝達関数である。照明条件(投影光学系 PL に対する露光光 IL の入射条件)に応じて上記(1)式中の変数  $Q$  を変えることにより、投影光学系 PL の非回転対称収差の変動量を求めることができる。詳細は後述するが、ダイポール照明を行う場合には、投影光学系 PL の瞳面において X 方向の異なる 2 箇所又は Y 方向の異なる 2 箇所に集中的に露光光 IL が照明されるため、投影光学系 PL の瞳面近傍に設けられたレンズ L の X 方向における曲率及び Y 方向における曲率が変化する。よって、照明条件に応じて X 方向のフォーカス変動量と Y 方向のフォーカス変動量とを求めることによりセンターアスが求められることになる。

10

#### 【0044】

[非回転対称な収差成分の説明]

以上、本発明の露光装置の概略構成について説明したが、次にダイポール照明を行った際に投影光学系で生ずる非回転対称な収差成分について説明する。図 4 及び図 5 は、ダイポール照明を行った際に生ずるレンズの形状変化を説明するための図である。まず、X 方向に対応する方向に離れた 2 つの開口を持つ開口絞り 5 a が第 2 フライアイレンズ 4 の射出側の焦点面に配置される場合には、レチクル R に形成されている主な転写用のパターンは、一例として図 4 (a) に拡大して示す通り、Y 方向に細長いラインパターンを X 方向(非走査方向)にほぼ投影光学系 PL の解像限界に近いピッチで配列してなる X 方向のライン・アンド・スペースパターン(以下、「L & S パターン」と言う) PV である。この際に、レチクル R 上には通常、L & S パターン PV よりも大きい配列ピッチで配列方向が X 方向及び Y 方向(走査方向)の別の複数の L & S パターン等も形成されている。

20

#### 【0045】

開口絞り 5 a を用いる X 方向のダイポール照明では、レチクルが無いものとする、図 4 (b) に示す通り、投影光学系 PL の瞳面 PP において、光軸 AX を挟んで X 方向に対称な 2 つの円形領域 IR x を露光光 IL が照明する。また、露光光 IL の光路に種々のレチクルパターンが配置された場合にも、通常は 0 次光の光量が回折光の光量に比べてかなり大きいと共に、回折角も小さいため、露光光 IL (結像光束)の大部分は円形領域 IR x 又はその近傍を通過する。従って、露光を継続すると、その瞳面 PP 近傍のレンズ L の温度分布は、光軸を X 方向に挟む 2 つの円形領域 IR x で最も高くなり、その周辺の領域に向かって次第に低くなる分布となり、この温度分布に応じてレンズ L は熱膨張(熱変形)する。

30

#### 【0046】

この場合、レンズ L を Y 方向及び X 方向に見て変化を誇張した側面図はそれぞれ図 4 (c), (d) のようになる。これらの図において、露光光吸収前のレンズ L の面形状を面 A とすると、露光光吸収後の熱膨張した面 B は、X 軸に沿った方向(図 4 (c))では、広い範囲に亘って光軸を挟む 2 つの凸部ができるために屈折力が低下し、Y 軸に沿った方向(図 4 (d))では局所的に中央部に 1 つの凸部ができるため屈折力が増加する。このように、X 方向と Y 方向との屈折力に差が生ずるとセンターアスが生ずる。図 6 は、ダイポール照明により生ずるセンターアスを示す図である。図 6 に示す通り、投影光学系 PL の像面は、X 方向に開いた光束に対しては屈折力が低下するために下方(-Z 方向)の像面 IV となり、Y 方向に開いた光束に対しては屈折力が増加するために上方(+Z 方向)の像面 IH となる。従って、光軸上での非点収差であるセンターアス Z が発生する。尚、このセンターアス Z は、上記の(1)式に示す伝達関数を用いて算出することができる。

40

50

## 【 0 0 4 7 】

センターアスが生じている状態で、仮にレチクル R 上に X 方向の L & S パターン P V の他に、Y 方向に所定ピッチ（このピッチは通常は L & S パターン P V のピッチよりも大きい）で配列された Y 方向の L & S パターン（図示省略）が形成されているものとする、X 方向の L & S パターン P V を通過した露光光は X 方向に拡がり、Y 方向の L & S パターンを通過した露光光は Y 方向に拡がる。従って、X 方向の L & S パターン P V の像は図 6 の下方の像面 I V に形成され、Y 方向の L & S パターンの像は図 6 の上方の像面 I H に形成されるため、仮にウェハ面を像面 I V に合わせ込むと、X 方向の L & S パターン P V の像は高解像度で転写されるが、Y 方向の L & S パターンの像にはデフォーカスによるぼけが発生してしまう。

10

## 【 0 0 4 8 】

一方、図 5 ( a ) に拡大して示す通り、レチクル R 上に主に X 方向に細長いラインパターンを Y 方向（走査方向）にほぼ投影光学系 P L の解像限界に近いピッチで配列してなる Y 方向の L & S パターン P H が形成されているものとする。この場合には、図 1 の照明光学系 I L S の瞳面には開口絞り 5 a を 90° 回転した形状の開口絞り 5 b が設定される。この開口絞り 5 b を用いる Y 方向のダイポール照明では、レチクルが無いものとする、図 5 ( b ) に示す通り、投影光学系 P L の瞳面 P P において、光軸 A X を挟んで Y 方向に対称な 2 つの円形領域 I R y を露光光 I L が照明する。この際に、露光光 I L の光路に種々のレチクルパターンが配置されても、通常は大部分の露光光 I L（結像光束）は円形領域 I R y 及びその近傍を通過する。そして、露光光 I L の光路中に図 5 ( a ) のレチクル R が配置されると、解像限界に近いピッチの L & S パターン P H からの ± 1 次回折光もほぼ円形領域 I R y 又はその近傍を通過するため、その L & S パターン P H の像は高解像度でウェハ W 上に投影される。

20

## 【 0 0 4 9 】

この場合、図 1 の投影光学系 P L の瞳面 P P の近傍のレンズ L に入射する露光光 I L の光量分布もほぼ図 5 ( b ) の光量分布になる。従って、露光を継続すると、その瞳面 P P 近傍のレンズ L の温度分布は、光軸を Y 方向に挟む 2 つの円形領域 I R y で最も高くなり、その周辺の領域に向かって次第に低くなる分布となり、その分布に応じてレンズ L は熱膨張する。そのため、投影光学系 P L の像面は、図 4 の場合とはほぼ逆に、X 方向に開いた光束に対しては屈折力が増加するために上方の像面 I H の近傍となり、Y 方向に開いた光束に対しては屈折力が低下するために下方の像面 I V の近傍となり、図 6 の場合と逆符号でほぼ同じ大きさのセンターアスが発生する。尚、レチクル R が X 方向（非走査方向）を長手方向とする長方形の照明領域で照明されているため、その照明領域に起因するセンターアスも図 6 のセンターアスと同じ符号で常に僅かに発生している。これに対して、図 5 ( b ) のダイポール照明で発生するセンターアスは、その長方形の照明領域に起因するセンターアスとは符号が逆になり、全体としてのセンターアスは図 4 ( b ) のダイポール照明を用いる場合よりも僅かに小さくなる。

30

## 【 0 0 5 0 】

これらのセンターアスは、非回転対称な収差であると共に、ダイポール照明によって他の非回転対称な収差（X 方向と Y 方向との投影倍率差等）も発生するが、これらの非回転対称な収差は、図 1 の結像特性補正機構 1 4 では実質的に補正できない。また、他の非回転対称な照明条件を用いた場合にも、非回転対称な収差が発生する。更に、投影光学系 P L の開口数と照明光学系 I L S の開口数との比を表す照明の値を、例えば 0.4 以下にする小照明を行う場合のように、照明光学系の瞳面（投影光学系 P L の瞳面）での露光光 I L の光量分布が半径方向に大きく変化する場合には、結像特性補正機構 1 4 では良好に補正しきれない高次の球面収差等の高次の回転対称な収差が発生する虞もある。そこで、本実施形態の露光装置では、その非回転対称な収差又は高次の回転対称な収差を補正するために、図 1 において、投影光学系 P L の瞳面 P P 付近のレンズ L に露光光 I L とは異なる波長域の収差補正用の照明光（以下、「非露光光」と言う）L B を照射する非露光照射機構 4 0 を備えている。以下、その非露光光 L B をレンズ L に照射するための非露光

40

50

光照射機構 40 の構成、及びその収差の補正動作について詳細に説明する。

【0051】

〔非露光光照射機構〕

本実施形態では、非露光光 L B として、ウェハ W に塗布されたフォトリジストを殆ど感光しない波長域の光を使用する。このため、非露光光 L B として、一例として炭酸ガスレーザー (CO<sub>2</sub> レーザ) からパルス発光される例えば波長 10.6 μm の赤外光を使用する。尚、CO<sub>2</sub> レーザとして連続光を用いてもよい。この波長 10.6 μm の赤外光は、石英の吸収性が高く、投影光学系 PL 中の 1 枚のレンズによってほぼ全て (望ましくは 90% 以上) 吸収されるため、他のレンズに対して影響を与えることなく収差を制御するために使用し易いという利点がある。また、本実施形態のレンズ L に照射された非露光光 L B は、90% 以上が吸収されるように設定されている。尚、非露光光 L B としては、上記の赤外光以外に YAG レーザ等の固体レーザー光から射出される波長 1 μm 程度の近赤外光、又は半導体レーザーから射出される波長数 μm 程度の赤外光等も使用することができる。即ち、非露光光 L B を発生する光源は、非露光光 L B が照射される光学部材 (レンズ等) の材料などに応じて最適なものを採用することができる。尚、図 1 等において、レンズ L は凸レンズのように描かれているが、凹レンズであってもよい。

10

【0052】

図 1 の非露光光照射機構 40 において、光源系 41 から射出された非露光光 L B は、ミラー光学系 42 によって複数 (本実施形態では 8 個) の光路及び光電センサ 43 に向かう一つの光路に分岐される。光電センサ 43 で検出される非露光光 L B の光量に対応する検出信号は、光源系 41 にフィードバックされている。また、その複数の光路の内の 2 つの光路の非露光光 L B が、投影光学系 PL を X 方向に挟むように配置された 2 つの照射機構 44 a, 44 b を介してそれぞれ非露光光 L B a, L B b としてレンズ L に照射される。

20

【0053】

図 7 は、非露光光照射機構 40 の詳細な構成例を示す上面図である。図 7 において、図 1 の光源系 41 は、光源 41 a 及び制御部 41 b から構成されている。光源 41 a から射出された非露光光 L B は、それぞれ非露光光 L B の光路を 90° 折り曲げる状態 (閉じた状態) と非露光光 L B をそのまま通過させる状態 (開いた状態) との何れかに高速に切り換えることができる可動ミラーとしてのガルバノミラー 45 g, 45 c, 45 e, 45 a, 45 h, 45 d, 45 f, 45 b を経て光電センサ 43 に入射し、光電センサ 43 の検出信号が制御部 41 b に供給されている。ガルバノミラー 45 a ~ 45 h が図 1 のミラー光学系 42 に対応する。制御部 41 b は、主制御系 20 からの制御情報に応じて光源 41 a の発光のタイミング、出力、及びガルバノミラー 45 a ~ 45 h の開閉を制御する。

30

【0054】

また、8 個のガルバノミラー 45 a ~ 45 h で順次光路が折り曲げられた非露光光 L B は、それぞれ光ファイバー束 46 a ~ 46 h (又は金属管等も使用できる) を介して照射機構 44 a ~ 44 h に導かれている。8 個の照射機構 44 a ~ 44 h は同一構成であり、その内の照射機構 44 a, 44 b は、集光レンズ 47 と、所定の低い反射率を有するビームスプリッタ 48 と、光ファイバー束又はリレーレンズ系等からなる光ガイド部 49 と、集光レンズ 51 と、集光レンズ 47 及び光ガイド部 49 をビームスプリッタ 48 に固定する保持枠 50 とを備えている。

40

【0055】

非露光光 L B は、照射機構 44 a, 44 b からそれぞれ非露光光 L B a, L B b として投影光学系 PL 内のレンズ L に照射される。この場合、第 1 の一对の照射機構 44 a, 44 b と、第 2 の一对の照射機構 44 c, 44 d とは、それぞれ投影光学系 PL を X 方向及び Y 方向に挟むように対向して配置されている。そして、第 3 の一对の照射機構 44 e, 44 f と、第 4 の一对の照射機構 44 g, 44 h とは、それぞれ照射機構 44 a, 44 b と照射機構 44 c, 44 d とを投影光学系 PL の光軸を中心として時計回りに 45° 回転した角度で配置されている。そして、非露光光 L B は、照射機構 44 c ~ 44 h からそれぞれ非露光光 L B c ~ L B h として投影光学系 PL 内のレンズ L に照射される。

50

## 【0056】

一对の非露光光  $L B a$  ,  $L B b$  がレンズ  $L$  上に照射される領域は、ほぼ図 4 ( b ) の光軸  $A X$  を  $X$  方向に挟む対称な円形領域  $I R x$  であり、一对の非露光光  $L B c$  ,  $L B d$  がレンズ  $L$  上に照射される領域は、ほぼ図 5 ( b ) の光軸  $A X$  を  $Y$  方向に挟む対称な円形領域  $I R y$  である。また、非露光光  $L B e$  ,  $L B f$ 、及び非露光光  $L B g$  ,  $L B h$  がレンズ  $L$  上で照射される領域は、それぞれ図 4 ( b ) の対称な円形領域  $I R x$ 、及び図 5 ( b ) の対称な円形領域  $I R y$  を光軸  $A X$  を中心として時計回りに  $45^\circ$  回転した領域である。尚、非露光光  $L B a \sim L B h$  が照射される光学部材、並びにその光学部材上での非露光光  $L B a \sim L B h$  の照射領域の形状及びサイズは、実験やシミュレーションによりできるだけ非回転対称な収差が低減されるように決定される。

10

## 【0057】

また、照射機構  $44 a \sim 44 h$  の各ビームスプリッタ  $48$  で反射された一部の非露光光をそれぞれ受光する光電センサ  $52 a \sim 52 h$  が設けられており、8個の光電センサ  $52 a \sim 52 h$  の検出信号も制御部  $41 b$  に供給されている。制御部  $41 b$  は、光電センサ  $52 a \sim 52 h$  の検出信号によって、照射機構  $44 a \sim 44 h$  から投影光学系  $P L$  内のレンズ  $L$  に照射される直前の非露光光  $L B a \sim L B h$  の光量を正確にモニタすることができ、このモニタ結果に基づいて非露光光  $L B a \sim L B h$  の照射量の各々が例えば主制御系  $20$  によって指示された値になるようにする。投影光学系  $P L$  の直前で、光電センサ  $52 a \sim 52 h$  によって非露光光  $L B$  の照射量を計測することによって、光ファイバー束  $46 a \sim 46 h$  の長さ（光路長）が様々であっても、更に光学系等の経時変化の影響を受けることなく、レンズ  $L$  に照射される非露光光  $L B a \sim L B h$  の照射量を正確にモニタできる。

20

## 【0058】

図 8 は、投影光学系  $P L$  の一部を断面とした正面図である。図 8 ( a ) に示す通り、照射機構  $44 a$  ,  $44 b$  は、それぞれ投影光学系  $P L$  の鏡筒のフランジ部  $F$  内に設けられた開口  $F a$  ,  $F b$  内に、レンズ  $L$  に向かって僅かに斜め下方に傾斜するように配置されている。そして、照射機構  $44 a$  ,  $44 b$  から射出される非露光光  $L B a$  ,  $L B b$  は、露光光  $I L$  の光路に斜めに交差する方向にレンズ  $L$  に入射する。図 7 の他の照射機構  $44 c \sim 44 h$  も同様に、図 8 ( a ) のフランジ部  $F$  内の開口に同じ傾斜角で配置されており、それらからの非露光光  $L B c \sim L B h$  も露光光  $I L$  の光路に斜めに交差する方向にレンズ  $L$  に入射する。これによって、非露光光  $L B a \sim L B h$  のレンズ  $L$  内での光路が長くなり、非露光光  $L B a \sim L B h$  はレンズ  $L$  内で殆どが吸収されると共に、投影光学系  $P L$  から殆ど射出されなくなる。尚、投影光学系  $P L$  の一部の光学部材（レンズ  $L$ ）のレンズ面、即ち露光光  $I L$  が入射（或いは射出）し得る領域に、投影光学系  $P L$  の他の光学部材を介さずに非露光光  $L B$  を照射しているので、レンズ  $L$  の温度分布を、更には投影光学系  $P L$  の結像特性（非回転対称な収差）をより効果的に調整することが可能である。

30

## 【0059】

尚、図 8 ( b ) は図 8 ( a ) の変形例であり、この図 8 ( b ) に示す通り、照射機構  $44 a$  ,  $44 b$ （他の照射機構  $44 c \sim 44 h$  も同様）を、それぞれ投影光学系  $P L$  の鏡筒のフランジ部  $F$  内に設けられた開口  $F c$  ,  $F d$  内に、レンズ  $L$  に向かって僅かに斜め上方に傾斜するように配置して、非露光光  $L B a$  ,  $L B b$  でレンズ  $L$  の底面側を照明してもよい。この場合には、非露光光  $L B a \sim L B h$  の投影光学系  $P L$  のウェハ  $W$  側から漏れ出る量を更に低減することができる。

40

## 【0060】

図 7 に戻り、光源系  $41 a$ 、制御部  $41 b$ 、ガルバノミラー  $45 a \sim 45 h$ 、光ファイバー束  $46 a \sim 46 h$ 、照射機構  $44 a \sim 44 h$ 、及び光電センサ  $52 a \sim 52 h$  から非露光光照射機構  $40$  が構成されている。そして、例えば 2 つの  $X$  方向の非露光光  $L B a$  ,  $L B b$  のみをレンズ  $L$  に照射する場合には、ガルバノミラー  $45 a \sim 45 h$  を全部開いた状態（非露光光  $L B$  を通過させる状態）から、ガルバノミラー  $45 a$  を所定時間だけ閉じる動作（非露光光  $L B$  を反射する状態）とガルバノミラー  $45 b$  を所定時間だけ閉じる動作とを交互に繰り返せばよい。収差への影響が無い十分短い時間（例えば  $1 \text{ m s e c}$ ）で

50

ガルバノミラーを切り換えることにより、収差への影響を無くすることができる。また、非露光光LBはパルス光であるため、ガルバノミラー45a~45hの開閉動作は所定パルス数を単位として行ってもよい。同様に、2つのY方向の非露光光LBc, LBdのみをレンズLに照射する場合には、ガルバノミラー45cを所定時間だけ閉じる動作とガルバノミラー45dを所定時間だけ閉じる動作とを交互に繰り返せばよい。このようにガルバノミラー45a~45hを用いることによって、非露光光LBの光量損失が殆ど無い状態でレンズLに効率的に照射することができる。

#### 【0061】

尚、図7の構成例では、レンズL上の8箇所の領域を非露光光LBで照明できるようにしているが、例えばレンズL上のX方向及びY方向の4箇所の領域のみを非露光光LBで照明できるようにしても、通常の使用で発生する殆どの収差を補正することができる。また、ガルバノミラー45a~45hを用いる代わりに、例えば固定のミラー及びビームスプリッタを組み合わせ非露光光LBを8個の光束に分岐し、これらの光束をシャッタを用いて開閉してもよい。この構成では、複数箇所を同時に非露光光LBで照射することができる。更に、光源として例えば炭酸ガスレーザー又は半導体レーザーを用いる場合には、レンズL上で必要な照射領域の個数(図7では8個)だけその光源を用意し、それらの光源の発光のオン・オフ若しくはシャッタによってレンズL上の照射領域を直接制御してもよい。

#### 【0062】

次に、上記構成における非露光光照射機構40を用いて投影光学系の非回転対称な収差を補正する方法について説明する。尚、ここでは、ダイポール照明の場合に生ずるセンターアスを補正する場合を例に挙げて説明する。図9は、非露光光照射機構を用いた投影光学系の非回転対称な収差の補正方法の一例を説明するための図である。図4(b)に示す通り、投影光学系PLの瞳面PP上で光軸AXをX方向に対称に挟む2つの円形領域IRxに露光光ILが照射される場合には、レンズL上の光軸AXをX方向に対称に挟む領域IRx及びその近傍の領域に露光光ILが照射される。図9(a)に示す通り、本実施形態では、ほぼその領域IRxを光軸AXの回りに90°回転した領域である、レンズL上でほぼ光軸AXをY方向に対称に挟む円形領域LRc, LRdにそれぞれ図7に示した非露光光LBc, LBdをそれぞれ照射する。尚、その非露光光LBc, LBd(他の非露光光も同様)の照射領域の形状やサイズは、例えば、図7において照射機構44c, 44d内でのレンズ51の位置を光軸方向に可動とすることによって変えることも可能である。

#### 【0063】

露光光ILの照射領域を90°回転した領域を非露光光LBc, LBdで照射することにより、レンズLの温度分布は領域IRx及び領域LRc, LRdで高くなり、それから離れるに従って次第に低くなる分布となる。図9において、X軸及びY軸の原点を光軸AXとすると、レンズLの光軸AX及びX軸を含む面内の非走査方向に沿った断面図、及び光軸AX及びY軸を含む面内の走査方向に沿った断面図は共に図9(b)に誇張して示す通りになる。図9(b)に示す通り、レンズLの熱膨張の様子は、非走査方向及び走査方向共にその断面形状がほぼ中央部及びその左右で膨張した形状に近くなり、屈折率分布も中央部及びその左右でそれ以外の領域よりも大きく変化する。この結果、露光光ILのみを照明した場合の図4(c), (d)の変形と比べて、露光光IL及び非露光光LBc, LBdを照射したレンズLの変形の状態は、非走査方向及び走査方向で似た状態となるため、X方向及びY方向に開いた光束に対するフォーカス位置は互いにほぼ等しくなり、センターアスは殆ど発生しなくなる。つまり、非回転対称な収差が回転対称な収差に変更されることになる。回転対称な収差は、図2に示す結像特性補正機構14で補正することができるため、投影光学系PLの結像特性を厳密に制御することができる。

#### 【0064】

尚、非露光光を照射するレンズは、レンズLのように照明光学系ILSの瞳面と共役な投影光学系PLの瞳面の近傍のレンズとすると、センターアスの補正効果が大きくなる。

このとき、瞳面近傍の複数のレンズに非露光光を照射してもよい。更に、照射対象の光学部材上で、露光光及び非露光光を合わせた照射領域ができるだけ回転対称に近い方が効果的である。但し、投影光学系 P L 中のどの位置の光学部材（レンズ等）に非露光光を照射しても、その照射量を制御することによって、ほぼ所望の範囲でセンターアスの補正効果を得ることができる。また、露光光と共に非露光光を照射することによって、センターアス以外の非回転対称な収差も減少する。

#### 【 0 0 6 5 】

以上、ダイポール照明を行ったときに生じる非回転対称な収差を補正する方法について述べたが、ダイポール照明に限らず、照明系開口絞り部材 5 a や視野絞り 9 の設定を変更して、他の照明条件でレチクル R を照明する場合や、パターン分布が偏ったレチクル R を使用する場合にも非回転対称な収差が発生する可能性がある。また非回転対称な収差は、センターアスに限らず、照明条件やレチクル R のパターン特性などに応じて、X 方向と Y 方向の投影倍率差や像シフトなどの非回転対称な収差が発生する可能性もある。また、以上の説明においては、非露光光照射機構 4 0 は、投影光学系 P L の結像特性のうちのセンターアスを補正するように、投影光学系 P L の瞳面付近のレンズ L に非露光光 L B を照射するようにしているが、非露光光 L B を照射する光学部材、及びその光学部材上における非露光光 L B の照射位置、形状、及びサイズは、照明条件や収差の種類などに応じて適宜変更することができる。

#### 【 0 0 6 6 】

##### 〔露光方法〕

次に、本発明の露光方法について説明する。主制御系 2 0 は、前述の非露光光照射機構 4 0 を使用するモードと使用しないモードとを選択することができるが、ここではまず、非露光光照射機構 4 0 による収差補正は行わない場合の露光方法について説明する。図 1 0 は、本発明の露光方法の一例を示すフローチャートである。尚、図 1 0 に示すフローチャートは、1 枚のウェハ W に対する露光処理を示すものであって、複数枚のウェハ W に対して露光処理が継続される場合には、図 1 0 に示す処理が繰り返し行われる。

#### 【 0 0 6 7 】

露光動作が開始されると、まず主制御系 2 0 内の露光量制御部 3 3（図 3 参照）が、コントローラ 3 6 の制御の下で、照射量センサ 1 9 の受光面が投影光学系 P L の露光領域に配置されている状態で露光光源 1 に制御信号を出力して露光光 I L を射出させ、照射量センサ 1 9 の検出信号とインテグレータセンサ 7 の検出信号を得て、これらの検出信号からビームスプリッタ 6 からウェハ W までの光学系の透過率を求める。次いで、所定のレチクル R をレチクルステージ R S T 上に搬送して保持するとともに、ウェハ W をウェハステージ W S T 上に搬送して保持する。

#### 【 0 0 6 8 】

次に、主制御系 2 0 内のステージ制御部 3 4 がコントローラ 3 6 の制御の下でレチクルステージ R S T 及びウェハステージ W S T の各々に制御信号を出力して、レチクル R を移動開始位置に配置するとともに、ウェハ W の最初に露光すべきショット領域を移動開始位置に移動する。尚、ここでは、X 方向に対応する方向に離れた 2 つの開口を持つ開口絞り 5 a が第 2 フライアイレンズ 4 の射出側の焦点面に配置されており、投影光学系 P L の瞳面 P P において、光軸 A X を挟んで X 方向に対称な 2 つの円形領域 I R x に露光光 I L が照明されるものとする。

#### 【 0 0 6 9 】

以上の初期処理が終了すると、ステージ制御部 3 4 がレチクルステージ R S T 及びウェハステージ W S T の各々に制御信号を出力し、例えばレチクルステージ R S T の + Y 方向への加速を開始するとともに、ウェハステージ W S T の - Y 方向への加速を開始する。レチクルステージ R S T 及びウェハステージ W S T の加速を開始してから所定時間経過し、これらのステージの各々が一定速度になると、コントローラ 3 6 が露光量制御部 3 3 を制御して露光光源 1 から露光光 I L を射出させる。

#### 【 0 0 7 0 】

10

20

30

40

50



露光光源 1 から射出された露光光は、第 1 フライアイレンズ 2、振動ミラー 3、及び第 2 フライアイレンズ 4 等を順次介した後に照明系開口絞り部材 5 に形成された開口絞り 5 a を透過する。開口絞り 5 a を透過した露光光 I L は、ビームスプリッタ 6 を介して視野絞り 9 でスリット状に整形され、ミラー 10 によって - Z 方向に偏向された後、コンデンサレンズ 11 を介してレチクル R 上に照射される。露光光 I L は開口絞り 5 a によって整形されており、レチクル R 上の照射領域は X 方向に長いスリット状になる。

【 0 0 7 1 】

レチクル R を透過した露光光は、投影光学系 P L を介してウェハ W 上の最初に露光すべきショット領域に照射され、これによってレチクル R に形成されたパターンの一部がウェハ W の最初に露光処理すべきショット領域内の一部に転写される。露光光 I L が照射されている間においては、インテグレートセンサ 7 及び反射量センサ 8 から検出信号が出力されており、結像特性演算部 31 は、インテグレートセンサ 7 及び反射量センサ 8 の検出信号を用いて、レチクル R から投影光学系 P L に入射する露光光 I L の積算エネルギー、及びウェハ W で反射されて投影光学系 P L に戻る露光光 I L の積算エネルギーを算出する。

10

【 0 0 7 2 】

この、結像特性演算部 31 には、コントローラ 36 から露光中の照明条件（照明系開口絞り部材 5 や視野絞り 9 の設定状態等）の情報が供給されているとともに、メモリ 37 に記憶された伝達関数を読み出されて供給されており、結像特性演算部 31 は、照明条件、露光光 I L の積算エネルギー、及び環境センサ 12 から供給される周囲の気圧、温度等の情報と伝達関数とを用いて、投影光学系 P L の結像特性中の回転対称な収差成分及び非回転対称な収差成分の変動量を算出する。尚、投影光学系 P L の結像特性中の非回転対称な収差成分の変動量は、前述した (1) 式を用いて算出する (ステップ S 10)。この算出された算出結果は、結像特性演算部 31 からコントローラ 36 へ出力される。

20

【 0 0 7 3 】

次に、コントローラ 36 は、メモリ 37 に記憶されている許容値を読み出し、ステップ S 10 で算出された投影光学系 P L の結像特性中の非回転対称な収差成分の変動量が許容値を超えたか否かを判断する (ステップ S 11)。尚、この許容値は、照明条件及びレチクル R のパターン特性や要求されるパターンの転写精度等によって決められている。非回転対称な収差成分の変動量が許容値を超えていない場合 (判断結果が「NO」の場合) には、レチクルステージ R S T 及びウェハステージ W S T を走査しつつ、ショット領域に対する露光処理を継続する (ステップ S 12)。次に、コントローラ 36 は、1 つのショット領域 (ここでは最初に露光すべきショット領域) に対する露光処理を終えたか否かを判断する (ステップ S 13)。この判断結果が「NO」の場合にはステップ S 10 の処理に戻り、そのショット領域に対する露光処理を継続する。

30

【 0 0 7 4 】

ステップ S 13 の判断結果が「YES」の場合には、コントローラ 36 は他に露光すべきショット領域が有るか否かを判断する。この判断結果が「YES」の場合には、コントローラ 36 はステージ制御部 34 を制御してウェハステージ W S T を移動させ、次に露光すべきショット領域を露光開始位置に移動して、ステップ S 10 の処理に戻る。つまり、ステップ S 11 における判断結果が「NO」である場合、つまりステップ S 10 で算出された投影光学系 P L の結像特性中の非回転対称な収差成分の変動量が許容値を超えていない場合には、ウェハ W 上に設定された複数のショット領域に対する露光処理が完了するまで、ステップ S 10 ~ S 13、或いはステップ S 10 ~ S 14 の処理が繰り返し行われる。

40

【 0 0 7 5 】

一方、ステップ S 10 で算出された投影光学系 P L の結像特性中の非回転対称な収差成分の変動量が許容値を超えてステップ S 11 の判断結果が「YES」になると、コントローラ 36 は、ショット領域の露光処理が終了したか否かを判断する (ステップ S 15)。この判断結果が「NO」の場合には、処理はステップ S 12 に進み、そのショット領域に対する露光処理が継続される。つまり、投影光学系 P L の結像特性中の非回転対称な収差

50

成分の変動量が許容値を超えた場合であっても、露光光 I L がレチクル R 及びウェハ W 上に照射されてパターンの転写が行われている最中は露光処理が継続される。

【0076】

ショット領域に対する露光処理が終了し、ステップ S 1 5 における判断結果が「YES」になると、コントローラ 3 6 は露光動作を中断する（ステップ S 1 6）。露光動作が中断されている間は、投影光学系 P L に露光光 I L が照射されないため、露光光 I L の照射により変動した投影光学系 P L の結像特性中の非回転対称な収差が自然にもとに戻るようになる。コントローラ 3 6 が露光動作を中断している間、結像特性演算部 3 1 は前述した（1）式を用いて一定の計算間隔で投影光学系 P L の非回転対称収差を算出しており（ステップ S 1 7）、コントローラ 3 6 はこの算出結果がメモリ 3 7 から読み出した許容値以下であるか否かを判断する（ステップ S 1 8）。尚、その計算間隔は、実験やシミュレーションに基づいて非回転対称な収差の時間変化（低下率）を考慮して設定してやればよく、照明条件などに応じて変更してもよい。

10

【0077】

この判断結果が「NO」である場合には処理はステップ S 1 7 に戻る。一方、ステップ S 1 8 の判断結果が「YES」である場合には、コントローラ 3 6 はステージ制御部 3 4、露光量制御部 3 3 等に制御信号を出力して露光動作を再開する（ステップ S 1 9）。露光動作が再開されると、コントローラ 3 6 は、まず他に露光すべきショット領域が有るか否かを判断し（ステップ S 1 4）、この判断結果が「YES」の場合は、処理はステップ S 1 0 に戻り、判断結果が「NO」の場合にはそのウェハ W 上に設定されたショット領域の全てに対して露光処理が終えたため処理は終了する。

20

【0078】

図 1 1 は、図 1 0 に示すフローチャートに従って露光処理を行った際の投影光学系の非回転対称収差の変動例を示す図である。図 1 1 において、符号 A V 0 を付した曲線は従来の露光方法を行ったときの非回転対称収差の変動例を示しており、符号 A V 1 を付した曲線は図 1 0 に示すフローチャートに従って露光処理を行った際の投影光学系の非回転対称収差の変動例を示している。

【0079】

図 1 1 に示す通り、伝達関数を用いて投影光学系 P L の非回転対称収差が許容値 T h を超えたか否かを判断し、露光動作を中断しない場合には、時間が経つにつれて投影光学系 P L の非回転対称収差が曲線 A V 0 のように増大することが分かる。これに対し、図 1 0 に示すフローチャートに従って露光処理を行うと、投影光学系 P L の非回転対称収差は曲線 A V 1 に示すように許容値 T h の近傍の値となり、許容値 T h から大幅に大きく変動することはない。このため、投影光学系 P L に生ずる非回転対称な収差成分を効率的に制御することができ、その非回転対称な収差が所定の許容値よりも小さい所望状態で露光動作を行うことができる。

30

【0080】

尚、以上の説明においては、照明系開口絞り部材 5 に形成された開口絞り 5 a を用いて図 4 ( b ) に示すダイポール照明を行った場合について説明したが、他の照明条件のときに投影光学系 P L で生ずる非回転対称な収差成分についても同様の方法で制御することができる。また、主制御系 2 0 は、図 7 に示す非露光光照射機構 4 0 を用いるモードを選択することもできる。非露光光照射機構 4 0 を用いる場合には、投影光学系 P L の非回転対称な収差の変動をなくす、或いは収差の変動を小さくすることができる。

40

【0081】

また、上述の実施形態においては、露光動作の中断を非回転対称な収差に基づいて判断しているが、回転対称な収差に基づく判断を併用してもよい。かかる場合には、回転対称な収差に対する許容値を設定するとともに、所定の伝達関数を用いた投影光学系 P L の回転対称な収差の計算とそれに基づく結像特性補正機構 1 4 の補正動作を繰り返し行い、結像特性補正機構 1 4 の補正動作を実行しても回転対称な収差が所定の許容値以下にすることができない場合に露光動作を中断するのが望ましい。特に、非露光光照射機構 4 0 を用

50

いる場合には、非回転対称な収差が回転対称な収差に変更され、回転対称な収差の変動が大きくなる場合があるため、露光動作中断の判断に、回転対称な収差の変動を併せて考慮することが望ましい。このようにすることで、投影光学系 P L の結像特性を所望の状態にして露光動作を行うことができる。

#### 【 0 0 8 2 】

また、露光動作を中断しているときは、非露光光照射機構 4 0 からの非露光光 L B の照射は行ってもよいし、行わなくてもよい。例えば、非回転対称な収差が所定の許容値を超えたために露光動作を中断した場合には、非回転対称な収差をより短時間で小さくするために非露光光照射機構 4 0 から非露光光 L B を投影光学系 P L の一部の光学部材（例えばレンズ L）に照射することができる。或いは回転対称な収差が所定の許容値を超えたために露光動作を中断した場合には、非露光光照射機構 4 0 からの非露光光 L B の照射を行わずに、投影光学系 P L の光学部材の温度が低下して、回転対称な収差が所定の許容値以下となるまで待つことができる。

10

#### 【 0 0 8 3 】

尚、上記実施形態では、ウェハ W 上に設定された 1 つのショット領域に対する露光処理を終えて次のショット領域に対する露光処理を開始するまでの間に露光動作を中断する場合について説明した。しかしながら、1 枚のウェハ W に対する露光処理を終えてから次のウェハ W に対する露光処理を開始するまでの間に露光処理を中断するようにしても良い。要は、上述の収差の許容値と露光不良（転写不良）となる収差と各ショットの露光に要する時間との関係に基づいて、露光動作の中断時期を決めればよい。例えば、上述の収差の許容値と露光不良となる収差との差が大きく、各ショットの露光時間が短ければ、先に述べたように、1 枚のウェハ W に対する露光処理を終えてから露光動作を中断し、次のウェハ W に対する露光処理の開始を遅らせることができる。

20

#### 【 0 0 8 4 】

##### 〔他の露光方法〕

図 1 2 は、本発明の他の例を示すフローチャートである。図 1 2 のフローチャートは、1 つのロットの露光終了後に照明条件を切り換えて次のロットのウェハを露光する場合の動作を説明するものである。図 1 0 を用いて説明した場合と同様に、ビームスプリッタ 6 からウェハ W までの光学系の透過率が求められるとともに、レチクル R 及びウェハ W が搬送されてレチクルステージ R S T 及びウェハステージ W S T 上にそれぞれ保持され、例えばダイポール照明用の開口絞り 5 a が第 2 フライアイレンズ 4 の射出側の焦点面に配置される。以上の初期処理が終了すると、レチクルステージ R S T 及びウェハステージ W S T を走査して、レチクル R に形成されたパターンを、投影光学系 P L を介してロット先頭のウェハ W 上の各ショット領域に転写する処理が行われる。

30

#### 【 0 0 8 5 】

1 枚のウェハ W に対する露光処理が処理（ステップ S 2 0）が終了すると、コントローラ 3 6 は、そのロットに含まれるウェハ W の全てに対して露光処理を終えたか否かを判断し（ステップ S 2 1）、この判断結果が「NO」の場合には、処理はステップ S 2 0 に戻る。現在露光処理を行っているロットに含まれる全てのウェハ W に対する露光処理を終えるまでステップ S 2 0、S 2 1 の処理が繰り返される。尚、この処理を行っている間にも前述した（1）式に示す伝達関数を用いて投影光学系 P L の非回転対称収差を算出してショット領域毎又はウェハ W 毎に露光動作を中断するようにしても良い。

40

#### 【 0 0 8 6 】

ステップ S 2 1 の判断結果が「YES」になると、次に、主制御系 2 0 は、次のロットがあるか否かを判断する（ステップ S 2 2）。ステップ S 2 2 の判断結果が「NO」の場合には一連の露光処理が終了する。ステップ S 2 2 の判断が「YES」になると、主制御系 2 0 は、次のロットのウェハを露光するために照明条件の切り換えが必要か否かを判断する（ステップ S 2 3）。ステップ S 2 3 の判断結果が「NO」になると、ステップ S 2 0 に戻り、次のロットの露光処理を開始する。ステップ S 2 3 での判断結果が「YES」になると、主制御系 2 0 は、投影光学系 P L の結像特性中の非回転対称な収差成分（更に

50

、必要であれば回転対称な収差成分)を算出する(ステップS24)。

【0087】

次に、コントローラ36は、メモリ37に記憶されている照明条件切り換え用の切り換え許容値を読み出し、ステップS24で算出された投影光学系PLの結像特性中の非回転対称な収差が切り換え許容値よりも大きいか否かを判断する(ステップS25)。ステップS25での判断結果が「NO」の場合には、次のロットのウェハを露光するための照明条件の切り換えを実行した(ステップS26)後、ステップS20に戻り、次のロットの露光処理を開始する。ステップS25での判断結果が「YES」になると、照明条件の切り換え動作をせずに、所定時間待機する(ステップ27)。その所定時間が経過すると、ステップS24に戻って非回転対称な収差成分の変動量が切り換え許容値よりも小さくなるまで、一定の計算間隔で非回転対称な収差の計算が繰り返される。尚、この計算間隔は、先の実施形態と同様に、実験やシミュレーションに基づいて非回転対称な収差の時間変化(低下率)を考慮して設定してやればよく、切り換え前の照明条件(第1照明条件)などに応じて変更してもよい。

10

【0088】

図13は、図12に示すフローチャートに従って処理を行った際の投影光学系の非回転対称収差の変動例を示す図である。図13において、符号AV10を付した曲線が図13に示すフローチャートに従って露光処理を行った際の投影光学系の非回転対称収差の変動例を示している。まず、例えば開口絞り5aが第2フライアイレンズ4の射出側の焦点面に配置されて照明条件がダイポール照明(第1照明条件)に設定され、時刻t0から露光処理が開始される。

20

【0089】

時刻t0~t1の露光処理の最中においては、投影光学系PLの非回転対称収差は曲線AV10に示す通り徐々に大きくなるが、1つのロットに対する露光処理が終了した時点t1で投影光学系PLに対する露光光ILの照射が停止されるため、投影光学系PLの非回転対称収差は曲線AV10に示す通り徐々に小さくなる。但し、時刻t1では投影光学系PLの非回転対称収差は、切り換え閾値Th1よりも大きいため、ロットに対する露光処理を終えてから直ちに第1照明条件から第2照明条件への照明条件の切替を行うのではなく、投影光学系PLの非回転対称収差が切り換え閾値Th1以下になるまで(時刻t3になるまで)照明条件の切り換えが遅らされる。かかる制御を行うことで、投影光学系PLの非回転対称な収差が所定の許容値より小さくなった後に照明条件を切り換えるようにしているため、新たな照明条件の下で、次のロットのウェハに対する露光処理を直ちに開始することができる。また、照明条件毎に厳密に制御することができ、その結果としてロット不良を抑えることができる。

30

【0090】

尚、上述の切り換え許容値(閾値)は、次の照明条件(第2の照明条件)がどのように設定されても、照明条件の切り換え動作後に直ちに露光処理を開始できるように設定されている。投影光学系PLの収差(特に、非回転対称な収差)の許容値は、照明条件に応じて異なる場合がある。例えば、主として図4(a)に示すL&SパターンPVからなるパターンを高解像度で転写する場合に設定される照明条件と、図4(a)に示すL&SパターンPVと図5(a)に示すL&SパターンPHとが混在するパターンを高解像度で転写する場合に設定される照明条件とでは、許容値が異なる。

40

【0091】

しかしながら、本実施形態においては、いずれの許容値よりも照明条件の切り換え許容値を小さく設定しているため、照明条件の切り換え動作後に直ちに次のロットの露光処理を開始することができる。もちろん、第2の照明条件での投影光学系PLの収差の許容値に合わせて切り換え許容値を設定することもできる。この場合には、第2照明条件での収差の許容値が、第1照明条件での収差の許容値よりも大きい(緩い)場合に、切り換え動作の待ち時間を短くすることができる。

【0092】

50

また、図12のフローチャートにおいては、照明条件の切り換え動作（照明系開口絞り部材5や視野絞り9の設定切り換え）を、非回転対称な収差が所定の許容値よりも小さくなるまで行わないようにしているが、照明条件の切り換えだけを先に行って、切り換え後の照明条件（第2照明条件）での露光動作を非回転対称な収差が所定の切り換え許容値よりも小さくなるまで行わない、すなわち中止するようにしてもよい。

【0093】

尚、図12、13の実施形態においても、図7に示す非露光光照射機構40を用いて投影光学系PLの非回転対称な収差を効率的に補正することができる。また、図12のフローチャートにおいて、ステップS24で算出された非回転対称な収差が切り換え許容値よりも大きいと判断された場合に、非回転対称な収差が小さくなるように、非露光光照射機構40から非露光光LBを、投影光学系PLの一部の光学部材に照射してもよい。また、図12、13を用いて説明した実施形態において、回転対称の収差に関する照明条件の切り換え許容値を設定してもよい。

10

【0094】

尚、以上説明した実施形態では、伝達関数を用いて投影光学系PLの非回転対称収差を算出する場合について説明したが、図1に示す収差測定装置21を用いて投影光学系のPLの非回転対称収差を実測するようにしても良い。収差測定装置21の測定結果を用いて露光動作の中断を行う場合には、ウエハWの交換毎や所定時間毎などに投影光学系のPLの収差（非回転対称な収差）の測定が行われる。

【0095】

以上、本発明の実施形態による露光装置及び方法について説明したが、本発明は上記実施形態に制限されず、本発明の範囲内で自由に変更が可能である。例えば、上記実施形態においては、伝達関数から投影光学系PLの収差を求め、又は収差測定装置21を用いて投影光学系PLの収差を測定し、これらの収差に対して許容値を設けていた。しかしながら、温度に対して許容値を設定しても良い。この場合、温度センサや赤外線センサなどを使って、投影光学系PLの少なくとも一部の光学部材の温度（温度分布）を計測することができる。

20

【0096】

また、上述の実施形態においては、露光動作の中断や照明条件の切り換え動作の待機について主に説明したが、非回転対称な収差に基づく動作の中断や待機は、これらに限られず、例えば投影光学系PLを使って行われる各種の計測動作を非回転対称な収差に基づいて中断、待機するようにしてもよい。また、上述の実施形態においては、投影光学系PLの一部の光学部材に非露光光LBを照射して、投影光学系PLの非回転対称な収差を調整するようにしているが、調整方法はこれに限られず、特開平8-8178号に開示されている方法を、適宜選択して、あるいは適宜組み合わせる適用することができる。また、投影光学系PLを、屈折素子と反射素子とを含む構成としたり、反射素子のみからなる構成とすることもできる。

30

【0097】

また、上記実施形態では、本発明をステップ・アンド・スキャン方式の露光装置に適用した場合を例に挙げて説明したが、レチクルのパターンを一括して転写するステップ・アンド・リピート方式の露光装置（所謂、ステッパ）にも本発明を適用することができる。また、国際公開第99/49504号公報に開示されているような液浸法を用いる露光装置にも本発明を適用することができる。また、本発明の露光装置は、半導体素子の製造に用いられてデバイスパターンを半導体基板上へ転写する露光装置、液晶表示素子の製造に用いられて回路パターンをガラスプレート上へ転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられてデバイスパターンをセラミックウエハ上へ転写する露光装置、及びCCD等の撮像素子の製造に用いられる露光装置等にも適用することができる。

40

【0098】

〔デバイス製造方法〕

次に、本発明の実施形態による露光装置を半導体素子を製造する露光装置に適用し、こ

50

の露光装置を用いて半導体素子を製造する方法について説明する。図14は、マイクロデバイスとしての半導体素子を製造する製造工程の一部を示すフローチャートである。図14に示す通り、まず、ステップS30（設計ステップ）において、半導体素子の機能・性能設計を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、ステップS31（マスク製作ステップ）において、設計したパターンを形成したマスク（レチクル）を製作する。一方、ステップS32（ウェハ製造ステップ）において、シリコン等の材料を用いてウェハを製造する。

#### 【0099】

次に、ステップS33（ウェハ処理ステップ）において、ステップS30～ステップS32で用意したマスクとウェハを使用して、後述するように、リソグラフィ技術等によってウェハ上に実際の回路等を形成する。次いで、ステップS34（デバイス組立ステップ）において、ステップS33で処理されたウェハを用いてデバイス組立を行う。このステップS34には、ダイシング工程、ボンディング工程、及びパッケージング工程（チップ封入）等の工程が必要に応じて含まれる。最後に、ステップS35（検査ステップ）において、ステップS34で作製されたマイクロ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。こうした工程を経た後にマイクロデバイスが完成し、これが出荷される。

10

#### 【0100】

図15は、図14のステップS33の詳細なフローの一例を示す図である。図15において、ステップS41（酸化ステップ）においてはウェハの表面を酸化させる。ステップS42（CVDステップ）においてはウェハ表面に絶縁膜を形成する。ステップS43（電極形成ステップ）においてはウェハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップS44（イオン打込みステップ）においてはウェハにイオンを打ち込む。以上のステップS41～ステップS44のそれぞれは、ウェハ処理の各段階の前処理工程を構成しており、各段階において必要な処理に応じて選択されて実行される。

20

#### 【0101】

ウェハプロセスの各段階において、上述の前処理工程が終了すると、以下のようにして後処理工程が実行される。この後処理工程では、まず、ステップS45（レジスト形成ステップ）において、ウェハに感光剤を塗布する。引き続き、ステップS46（露光工程）において、上で説明したリソグラフィシステム（露光装置）及び露光方法によってマスクのパターンをウェハに転写する。次に、ステップS47（現像工程）においては露光されたウェハを現像し、ステップS48（エッチングステップ）において、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去る。そして、ステップS49（レジスト除去ステップ）において、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらの前処理工程と後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウェハ上に多重にパターンが形成される。

30

#### 【0102】

以上説明した本実施形態のデバイス製造方法を用いれば、露光工程（ステップS46）において上記の露光装置が備える投影光学系PLの非回転対称収差の制御が行われつつ、レチクルに形成されたパターンがウェハW上に転写される。このため、照明条件に応じて非回転対称収差又は回転対称収差が制御されるため、微細なパターンを忠実にウェハ上に転写することができ、その結果として製造不良が低減されて高い歩留まりでデバイスを製造することができる。

40

#### 【0103】

尚、本発明は、投影光学系PLとウェハWとの間を局所的に液体で満たす液浸露光装置、特開平6-124873号公報に開示されているような露光対象の基板を保持したステージを液槽の中で移動させる液浸露光装置、特開平10-303114号公報に開示されているようなステージ上に所定深さの液体槽を形成し、その中に基板を保持する液浸露光装置の何れの露光装置にも適用可能である。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0104】

50

【図 1】本発明の一実施形態による露光装置の概略構成を示す図である。

【図 2】結像特性補正機構 14 の一例を示す図である。

【図 3】主制御系 20 の内部構成、及び主制御系 20 と各種信号の授受を行う装置を示すブロック図である。

【図 4】ダイポール照明を行った際に生ずるレンズの形状変化を説明するための図である。

【図 5】ダイポール照明を行った際に生ずるレンズの形状変化を説明するための図である。

【図 6】ダイポール照明により生ずるセンターアスを示す図である。

【図 7】非露光光照射機構 40 の詳細な構成例を示す上面図である。

10

【図 8】投影光学系 PL の一部を断面とした正面図である。

【図 9】非露光光照射機構を用いた投影光学系の非回転対称な収差の補正方法の一例を説明するための図である。

【図 10】本発明の露光方法の一例を示すフローチャートである。

【図 11】図 10 に示すフローチャートに従って露光処理を行った際の投影光学系の非回転対称収差の変動例を示す図である。

【図 12】本発明の他の例を示すフローチャートである。

【図 13】図 12 に示すフローチャートに従って露光処理を行った際の投影光学系の非回転対称収差の変動例を示す図である。

【図 14】マイクロデバイスとしての半導体素子を製造する製造工程の一部を示すフローチャートである。

20

【図 15】図 14 のステップ S 33 の詳細なフローの一例を示す図である。

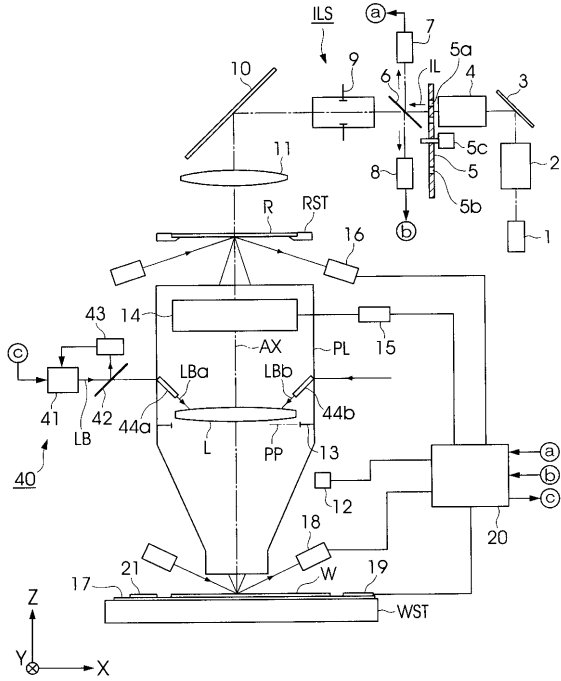
【符号の説明】

【0105】

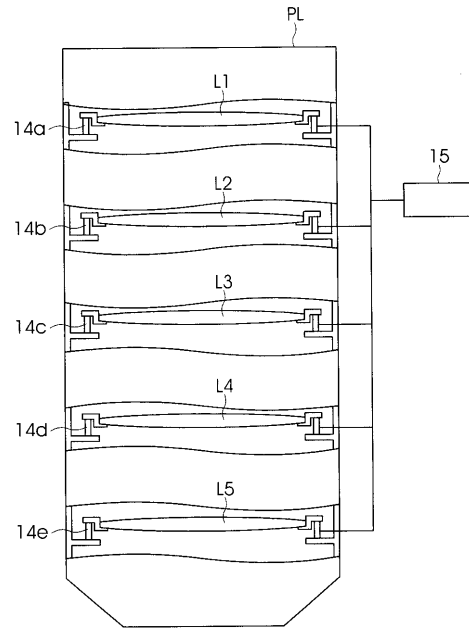
5	照明系開口絞り部材（変更部材）
9	視野絞り（変更部材）
14	結像特性補正機構（結像特性制御手段、補正機構）
20	主制御系（制御システム）
21	収差測定装置
31	結像特性演算部（算出部）
36	コントローラ（判断部）
37	メモリ（記憶部）
40	非露光光照射機構（結像特性制御手段）
IL	露光光（照明光）
ILS	照明光学系（照明系）
PL	投影光学系
W	ウェハ（基板、物体）

30

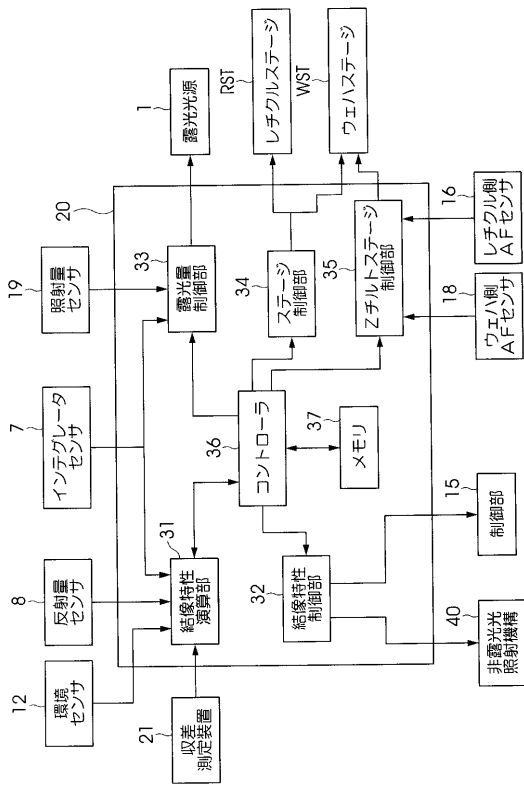
【 図 1 】



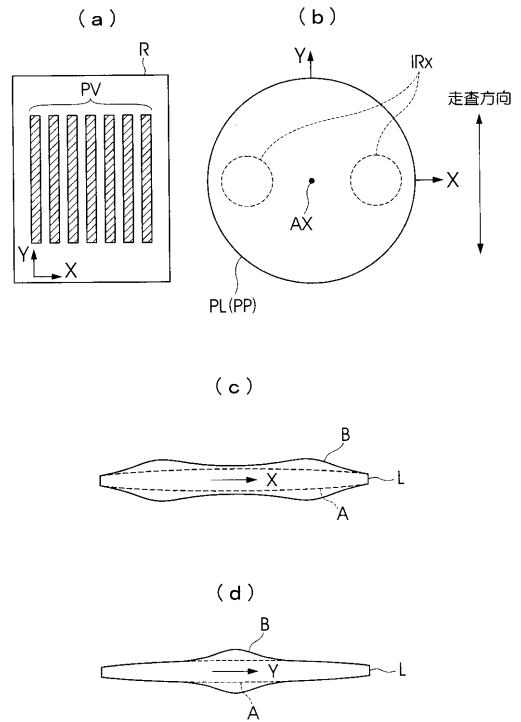
【 図 2 】



【 図 3 】

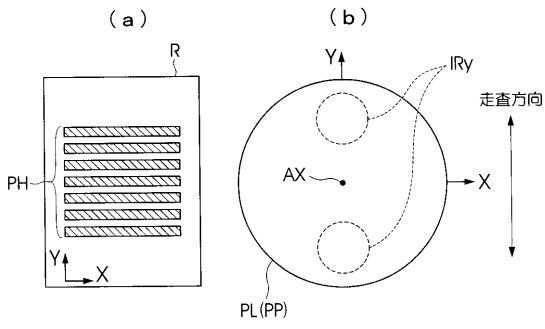


【 図 4 】

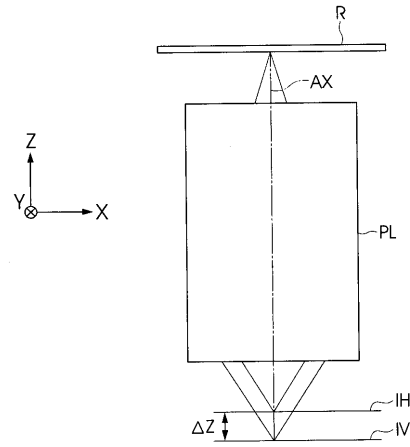




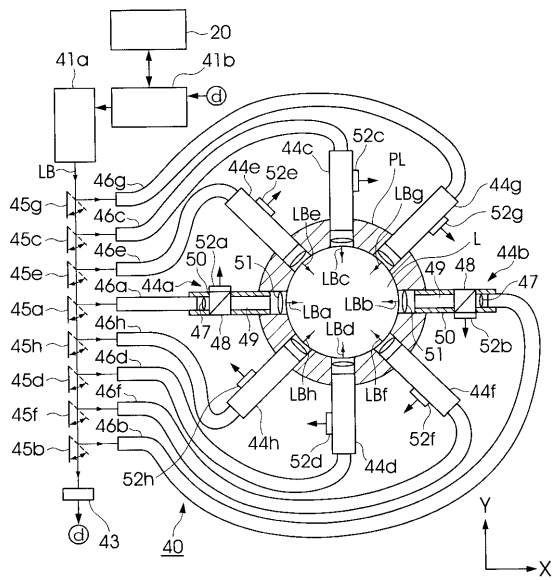
【 図 5 】



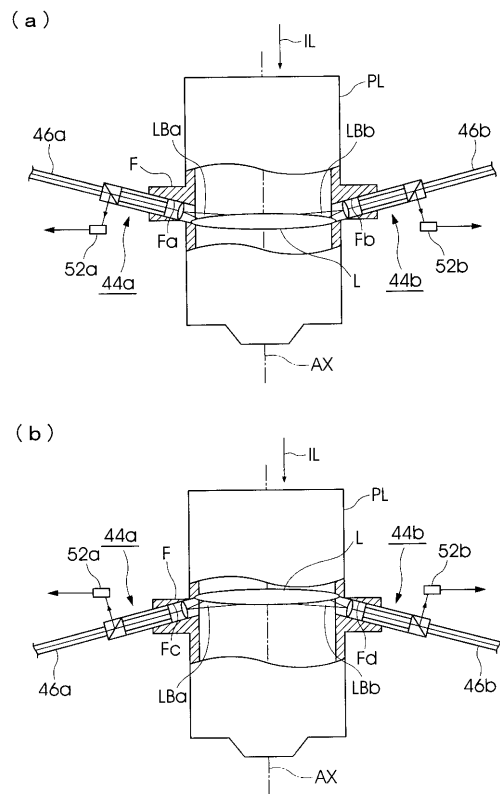
【 図 6 】



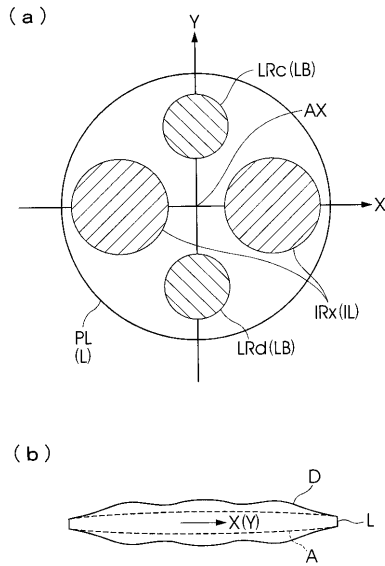
【 図 7 】



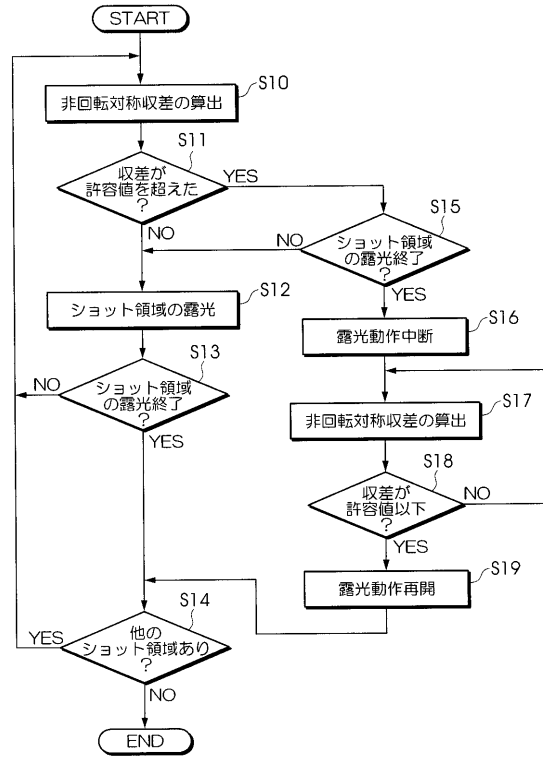
【 図 8 】



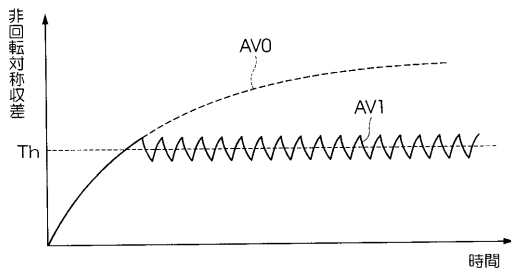
【 図 9 】



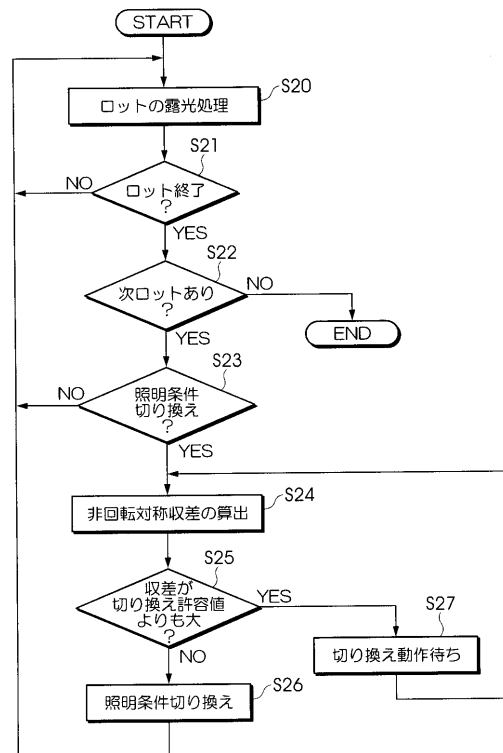
【 図 10 】



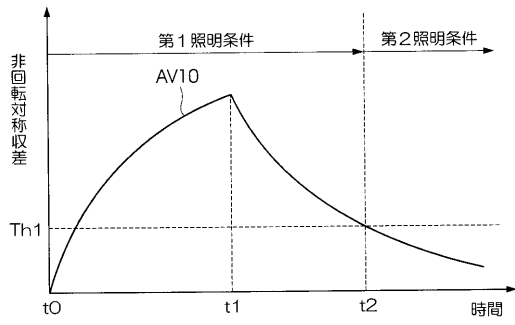
【 図 11 】



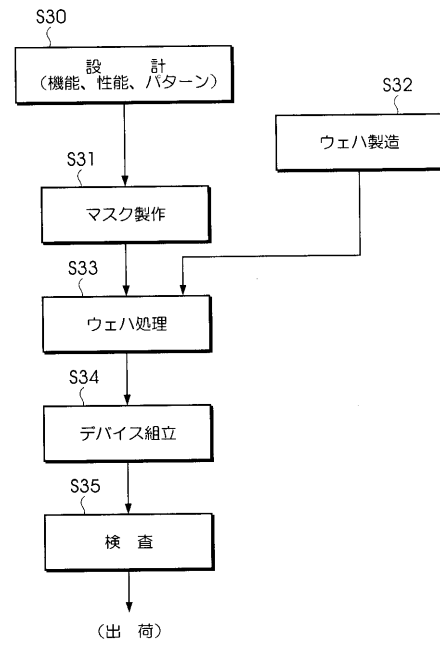
【 図 12 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】

