

(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2004-247767

(P2004-247767A)

(43) 公開日 平成16年9月2日(2004.9.2)

(51) Int.Cl.⁷

H01L 21/027

G03F 7/207

F I

H01L 21/30

G03F 7/207

526A

H

テーマコード (参考)

5F046

審査請求 有 請求項の数 7 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2004-161353 (P2004-161353)
 (22) 出願日 平成16年5月31日 (2004.5.31)
 (62) 分割の表示 特願平8-92067の分割
 原出願日 平成8年3月19日 (1996.3.19)

(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 100086818
 弁理士 高梨 幸雄
 (72) 発明者 河野 道生
 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 DA14 DB05 EC03

(54) 【発明の名称】 投影露光装置及びそれを用いたデバイスの製造方法

(57) 【要約】

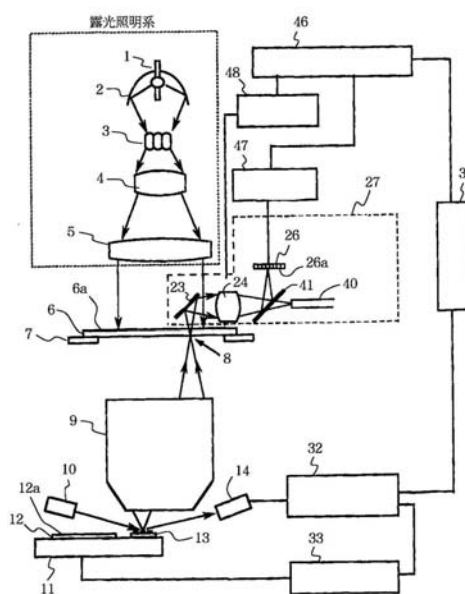
【課題】 経時的変化にかかわらず投影光学系のフォーカス位置を精度良く検出し、レチクル面上のパターンをウエハ面上に高精度に投影露光することができる投影露光方法及びそれを用いたデバイスの製造方法を得ること。

【解決手段】 原板上のパターンを投影光学系を介して可動のステージ上に載置した感光基板上に双方の光軸方向の相対的位置を種々と変化させて投影露光し、該感光基板に形成したパターン像より最適なフォーカス位置を決定する第1工程と、該第1工程と略同時刻において該ステージ上に設けたステージ基準マークを該投影光学系を介して所定面上に形成して該ステージ基準マークの最適なフォーカス位置を検出する第2工程と、該原板上のパターンを該感光基板上に繰り返し投影露光する途中で、該第2工程と同様にして該ステージ基準マークの最適なフォーカス位置を検出する第3工程とを含むこと。

。

【選択図】

図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

原板上のパターンを投影光学系を介して可動のステージ上に載置した感光基板上に繰返して投影露光する際に、該パターンと該感光基板との該投影光学系の光軸方向の相対的位置を種々と変化させて投影露光し、該感光基板に形成したパターン像の結像状態を検出して最適なフォーカス位置を決定する第 1 工程と、該第 1 工程と略同時刻において該ステージ上に設けたステージ基準マークを該投影光学系を介して所定面上に形成して該ステージ基準マークの最適なフォーカス位置を検出する第 2 工程と、該原板上のパターンを該感光基板上に繰返し投影露光する途中で、該第 2 工程と同様にして該ステージ基準マークの最適なフォーカス位置を検出する第 3 工程とを含むことを特徴とする投影露光方法。 10

【請求項 2】

原板上のパターンを投影光学系を介して可動のステージ上に載置した感光基板上に繰返して投影露光する際に、該パターンと該感光基板との該投影光学系の光軸方向の相対的位置を種々と変化させて投影露光し、該感光基板に形成したパターン像の結像状態を検出して最適なフォーカス位置を決定する第 1 工程と、該第 1 工程と略同時刻において該ステージ上に設けたステージ基準マークを該投影光学系を介して所定面上に形成して該ステージ基準マークの最適なフォーカス位置を検出する第 2 工程と、該第 2 工程とは異なる時刻において、該第 2 工程と同様にして該ステージ基準マークの最適なフォーカス位置を検出する第 3 工程とを含むことを特徴とする投影露光方法。

【請求項 3】

前記第 3 工程では該第 3 工程で検出した前記ステージ基準マークの最適なフォーカス位置に基づいて前記第 1 工程で決定したフォーカス位置を補正していることを特徴とする請求項 1 又は 2 の投影露光方法。 20

【請求項 4】

前記第 2 工程では前記ステージ上に設けたステージ基準マークを前記投影光学系を 1 回だけ通過させて所定面上に配置した受光素子面上に結像させ、該受光素子からの信号を用いて該ステージ基準マークの最適なフォーカス位置を検出していることを特徴とする請求項 1, 2 又は 3 の投影露光方法。

【請求項 5】

原板上のパターンを投影光学系を介して可動のステージ上に載置した感光基板上に繰返して投影露光する投影露光装置において、該パターンを該感光基板上に双方の該投影光学系の光軸方向の相対的位置を種々と変化させて投影露光し、該感光基板に形成したパターン像の結像状態を検出して求めた最適な基板フォーカス位置を該ステージ上に設けたステージ基準マークを該投影光学系を介して受光素子面上に形成し、該受光素子からの信号を用いて該ステージ基準マークの最適なフォーカス位置を所定の時間間隔で求めた複数のマークフォーカス位置に基づいて制御手段により補正していることを特徴とする投影露光装置。 30

【請求項 6】

請求項 1 から 4 のいずれか 1 項記載の投影露光方法を用いてデバイスを製造していることを特徴とするデバイスの製造方法。 40

【請求項 7】

請求項 5 の投影露光装置を用いてデバイスを製造していることを特徴とするデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、投影露光方法及びそれを用いたデバイスの製造方法に関し、特に半導体素子（デバイス）の製造の分野において、半導体ウエハー表面にレチクルの回路パターンを繰返し縮小投影露光する際の自動ピント調整機能、所謂オートフォーカス機能を有するステッパーと呼ばれる投影露光装置に好適なものである。 50

【背景技術】

【0002】

近年、半導体素子、LIS素子、超LSI素子等のパターンの微細化、高集積化の要求により、投影露光装置においては高い解像力を有した結像（投影）光学系が必要とされてきている。そしてそれに伴って結像光学系の高NA化が進んで、この結果結像光学系の焦点深度がより浅くなってきている。

【0003】

又、ウエハには、平面加工技術の点から、ある程度の厚さのばらつきと曲りがある。通常ウエハの曲りの矯正については、サブミクロンのオーダで平面度を保証する様に加工されたウエハチャック上にウエハを載せ、ウエハの背面をバキューム吸着することにより平面矯正を行っている。しかしながら、ウエハ1枚の中での厚さのばらつきや吸着手法、更にはプロセスが進む事によってウエハが変形してくる。

【0004】

この為、レチクルパターンが縮小投影露光される画面領域内でウエハが凹凸を持つ為、実効的な光学系の焦点深度は、さらに浅くなっていく。

【0005】

従って投影露光装置に於いては、ウエハ面を焦点面に（投影光学系の像面）に合致させる為の有効な自動焦点合わせ方法が重要なテーマとなっている。

【0006】

従来の投影露光装置のウエハ面位置検出方法としては、エアマイクロセンサを用いる方法や、投影露光光学系を介さずにウエハ面に斜め方向から光束を入射させその反射光の位置ずれ量を検出する方法（光学方式）そして投影光学系を通してそのピント面を検出する、いわゆる、スルーザレンズオートフォーカスシステム（TTLAFF）という方式等がある。

【0007】

図9は特許文献1で開示されているオートフォーカス機能を有する投影露光装置の概略図である。図9において、107はレチクルであり、レチクルステージ170に保持されている。レチクル107上の回路パターンが縮小投影レンズ108によって、xyzステージ110上のウエハ109上に1/5に縮小されて結像し、露光が行われる。図9では、ウエハ109に隣接する位置に、ウエハ109の上面とミラー面がほぼ一致する基準平面ミラー117が配置されている。この基準平面ミラー117はフォーカスやアライメント等の為に用いられている。

【0008】

又、xyzステージ110は投影レンズ108の光軸方向（z）及びこの方向に直交する面内（x、y）で移動可能であり、もちろん光軸のまわりに回転させることも出来る。

【0009】

レチクル107は、同図の要素101～106で示される照明光学系によって、回路パターンの転写が行われる画面領域内を照明されている。

【0010】

露光用の光源である水銀ランプ101の発光部は楕円ミラー102の第一焦点に位置しており、水銀ランプ101より発光した光は、楕円ミラー102の第二焦点位置に集光している。楕円ミラー102の第二焦点位置にその光入射面を位置付けたオプティカルインテグレーター103が置かれており、オプティカルインテグレーター103の光出射面は2次光源を形成する。この2次光源をなすオプティカルインテグレーター103より発する光は、コンデンサーレンズ104を介し、ミラー105により光軸（光路）が90°を折り曲げられる。

【0011】

尚、155は露光波長の光を選択的にとり出す為のフィルターで、156は露光の制御を行う為のシャッターである。このミラー105により反射された露光光は、フィールドレンズ106を介し、レチクル107上の、回路パターンの転写が行われる画面領域内を

10

20

30

40

50

照明している。ミラー 105 は露光光を例えば 5 ~ 10 % という様に部分的に透過する構成となっている。ミラー 105 を通過した光はレンズ 152、露光波長を透過し光電検出に余分な光をカットするフィルター 151 を介して、光源 101 からの光量のゆらぎ等をモニターする為の光検出器 150 に到達する。

【0012】

同図において要素 111 ~ 112 は、公知のオフアクシスのオートフォーカス光学系を形成している。111 は投光光学系であり、投光光学系 111 より発せられた非露光光である光束は、縮小投影レンズ 108 の光軸と交わる。基準平面ミラー 117 上の点（あるいはウエハ 109 の上面）に集光し反射されるものとする。この基準平面ミラー 117 で反射された光束は、検出光学系 112 に入射する。

10

【0013】

図示は略したが、検出光学系 112 内には位置検出用受光素子が配されており、位置検出用受光素子と基準平面ミラー 117 上の光束の反射点は、共役となる様配置されており、基準平面ミラー 117 の縮小投影レンズ 108 の光軸方向の位置ズレは、検出光学系 112 内の位置検出用受光素子上での入射光束の位置ズレとして計測される。

【0014】

この検出光学系 112 により計測された基準平面ミラー 117 の所定の基準面よりの位置ズレは、オートフォーカス制御系 119 に伝達される。オートフォーカス制御系 119 は、基準平面ミラー 117 が固設された x y z ステージ 110 を駆動する処の駆動系 120 に z 方向への移動の指令を与える。又、TTL でフォーカス位置を検知する時、オートフォーカス制御系 119 は基準ミラー 117 を所定の基準位置の近傍で投影レンズ 108 の光軸方向（z 方向）に上下に駆動を行うものとする。また、露光の際のウエハ 109 の位置制御（図 7 の基準平面ミラー 117 の位置にウエハ 109 が配置される）もオートフォーカス制御系 119 により行われる。

20

【0015】

縮小投影レンズ 108 のピント位置検出光学系について説明する。

【0016】

図 10、図 11 において 107 はレチクル、121 はレチクル 107 上に形成されたパターン部で遮光性をもつものとする。又、122 はパターン部 121 に挟まれた遮光部である。ここで、縮小投影レンズ 108 のピント位置（像面位置）の検出を行う時は、x y z ステージ 110 は縮小投影レンズ 108 の光軸方向に移動する。

30

【0017】

基準平面ミラー 117 は縮小投影レンズ 108 の光軸上に位置しており、レチクル 107 は、図 7 の照明光学系 101 ~ 106 により照明されているものとする。

【0018】

始めに、基準平面ミラー 117 が縮小投影レンズ 108 のピント面にある場合について図 10 を用いて説明する。レチクル 107 上の透過部 122 を通った露光光は、縮小投影レンズ 108 を介して、基準平面ミラー 117 上に集光し反射される。反射された露光光は、往路と同一の光路をたどり、縮小投影レンズ 108 を介しレチクル 107 に集光し、レチクル 107 上のパターン部 121 間の透光部 122 を通過する。この時、露光光は、レチクル 107 上のパターン部 121 にケラれることなく、全部の光束がパターン部 121 の透過部を通過する。

40

【0019】

次に、基準平面ミラー 117 が縮小投影レンズ 108 のピント面よりズレた位置にある場合について図 11 を用いて説明する。レチクル 107 上のパターン部 121 の透過部を通った露光光は、縮小投影レンズ 108 を介し、基準平面ミラー 117 上に達するが、基準平面ミラー 117 は、縮小投影レンズ 108 のピント面にないので、露光光は、広がった光束として基準平面ミラー 117 で反射される。

【0020】

即ち、反射された露光光は往路と異なる光路をたどり、縮小投影レンズ 108 を通り、

50

レチクル 107 上に集光することなく、基準平面ミラー 117 の縮小投影レンズ 108 のピント面からのズレ量に対応した広がりをもった光束となってレチクル 107 上に達する。この時露光光はレチクル 107 上のパターン部 121 によって一部の光束がケラレを生じ全部の光束が透光部 122 を通過することはできない。即ちピント面に合致した時とそうでない時にはレチクルを通しての反射光量に差が生じるのである。

【0021】

図 10, 図 11 において説明した、基準平面ミラー 117 で反射された露光光の光束がレチクル 7 を通過した後の光路を、図 9 を用いて説明する。

【0022】

レチクル 107 を透過した露光光は、フィールドレンズ 106 を通りミラー 105 に達する。ミラー 105 は前述の様に露光光に対して 5 ~ 10 % 程度の透過率をもっているの
10
で、ミラー 105 に達した露光光の一部はミラー 105 を通過し、結像レンズ 113 を介し視野絞り 114 の面上に集光する。この時、レチクル 107 のパターンの存在する面と視野絞り 114 とは、フィールドレンズ 106 と結像レンズ 113 を介し、共役な位置にある。

【0023】

視野絞り 114 の開口部を通過した露光光は、集光レンズ 115 によって受光素子 116 に入光する。

【0024】

受光素子 116 の前面には、必要な場合は露光光のみを選択的に透過するフィルター 1
20
51 を配置するものとし、入射した露光光の光量に応じた電気信号を出力する。

【0025】

以下に、この受光素子 116 の信号出力を用いて、縮小投影レンズ 108 のピント位置（像面位置）を検出する方法について説明する。

【0026】

駆動系 120 により基準平面ミラー 117 の載った x y z ステージ 110 を縮小投影レンズ 108 の光軸方向に、オフアクシスオートフォーカス検出系 112 で予め設定される計測の零点を中心に駆動させるものとする。

【0027】

この時、各位置でのオートフォーカス検出系 112 が計測する基準平面ミラー 117 の
30
光軸方向の位置信号（オートフォーカス計測値 z ）と、基準平面ミラー 117 で反射された露光光を受光素子 116 で受光し、電気信号に変換することにより焦点面（像面）検出系 118 から得られる出力の関係は、図 12 に示す様になる。この時、検出系 118 の信号は光源 101 のゆらぎの影響を除く為、ミラー 105 を通過した光源 101 からの光を光源光量モニター光学系（152, 151）を介して光検出器 150 で検出して、基準光量検出系 153 で光源光量モニター信号を発生させる。そしてこのモニター信号によって焦点面検出系 118 の信号を規格化することによって補正している。

【0028】

基準平面ミラー 117 が縮小投影レンズ 108 のピント面に位置した場合に焦点面検出系 118 の出力はピーク値を示す。この時のオートフォーカス計測値 z_0 をもってして
40
、縮小投影レンズ 108 を用いて、ウエハ 109 に露光を行う際の縮小投影レンズ 108 のピント位置とする（又は計測値 z_0 に基づいて予め設定しておいたピント位置を補正する。）。

【0029】

この様にして決まった縮小投影レンズ 108 のピント位置にオフアクシスオートフォーカス検出系 110, 112, 119 の基準位置を設定する。実際のウエハの焼付最良位置はこの基準位置からウエハの塗布厚や段差量等の値を考慮した分だけオフセットを与えた値となる。例えば多層レジストプロセスを用いてウエハを露光する場合には多層の一番上の部分だけを焼けば良いのでウエハのレジスト表面と基準位置はほぼ一致する。

【0030】

一方、単層レジストで露光光が基板に十分到達する様な場合、ウエハのピントはレジスト表面ではなく基板面に合致するので、この場合レジスト表面と基準位置の間に $1\ \mu\text{m}$ 以上のオフセットが存在する事も稀ではない。こうしたオフセット量はプロセス固有のもので投影露光装置とは別のオフセットとして与えられるものである。装置自体としては上述の 1 方法で縮小投影レンズ 108 自体のピント位置を正確に求められれば充分であり、上記オフセット量は、必要な場合にのみオートフォーカス制御系 119 や駆動系 120 に対して投影露光装置の不図示のシステムコントローラを介して予め入力してやれば良い。

【0031】

このピント位置 z_0 の検出は、焦点面検出系 118 の出力のピークをもって決定してもよいが、その他にも色々な手法が考えられる。例えばより検出の感度を上げるために、ピーク出力に対してある割合のスライスレベル SL を設定し、このスライスレベル SL の出力を示す時のオートフォーカス計測値 z_1 , z_2 を知るによりピント位置を

【0032】

【数 1】

$$z_0 = \frac{z_1 + z_2}{2}$$

【0033】

として決定しても良いし、又、ピーク位置を微分法を使って求める等の手法も考えられる。

【0034】

図 9 に示す TTL のオートフォーカスシステムの長所は、投影露光光学系の周囲の温度変化、大気圧変化、露光光線による投影光学系の温度上昇と、それに伴って生じるピントの経時変化を常時計測し補正をかけらるという点である。

【特許文献 1】特開平 1 - 286418 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0035】

図 9 に示す TTL のオートフォーカスシステムは前述したような長所があるが、投影光学系の持つ収差、厳密には縦収差（球面収差、像面湾曲、軸上色収差等）の影響を受けて図 12 に示した焦点面検出曲線が歪みやすくなる。特にステップアンドリピートによりウエハ面の露光が進むにつれて投影レンズには熱負荷が累積し、このとき投影レンズのフォーカスは次第にウエハ面からずれていく。更に露光が進行するとピントのずれだけではなく、投影レンズに発生する熱収差の影響で、前述のような検出曲線の変形は益々顕著になり、ついには焦点面の検出が不可能となる場合がある。

【0036】

図 13 はその場合の検出曲線の 1 例である。つまり、前述の図 12 ではスライス中心が求まったが、図 13 では曲線が歪んでそのピークが 2 つあらわれている。その為にスライス SL との交点が 3 つ（ z_1 , z_2 , z_3 ）発生し、ピント面の検出エラーとなってしまう。

【0037】

以上述べてきたように、特に露光時において、投影レンズを通して TTL でレンズの焦点検出を行おうとすると、投影レンズのもつ残収差や熱収差の影響を受けてしまい、その結果オートフォーカス精度が劣化したり、検出不能となる場合があった。

【0038】

特に、露光が進行するとレチクルとウエハの共役関係がくずれていくが、その主な原因に投影レンズの熱による特性変化（ピントずれや熱収差の発生）やウエハ周辺部の変動がある。

【0039】

一般に縮小露光方式の場合には、ウエハ側に比べてレチクル側での露光エネルギー密度

は投影レンズの縮小率の自乗に比例して小さい。しかも同じ量だけ位置変形しても、レチクル側での変形はウエハ側での変形に比べて、ウエハ面のフォーカスへの効き率も縮小率の自乗に比例して小さい。例えば、 $1/5\times$ の縮小率の場合、レチクルパターン面のフォーカス変動はウエハ面のそれに比べて $1/25\times$ 以下である。

【0040】

従って、レチクルのフォーカス状態、或いはレチクルとウエハとの合焦状態を常時検知しなくても、例えば投影レンズが冷却状態にあるときに一度だけレチクルパターン面とウエハ面との合焦状態を知っていれば、その後の経時変化ないしは露光中のフォーカス変化は、投影レンズを通してウエハ面のフォーカス状態だけ検出し、それを最適位置に維持しておけば良い。また以上のようなフォーカス思想はなにもウエハ露光時に限らず、投影レンズが冷却状態にあるときのピントの経時変化を補正する場合にも適用できる。 10

【0041】

本発明はこれらのことを考慮して、環境変化が生じたときや繰り返し露光を行うことによって投影光学系の特性が変化して投影光学系のフォーカス位置が変動しても、被露光面を投影光学系のピント面に常に高精度に位置させることができ、高集積度のデバイスを容易に製造することができる投影露光方法及びそれを用いたデバイスの製造方法の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0042】

本発明の投影露光方法は、

20

(1-1) 原板上のパターンを投影光学系を介して可動のステージ上に載置した感光基板上に繰り返し投影露光する際に、該パターンと該感光基板との該投影光学系の光軸方向の相対的位置を種々と変化させて投影露光し、該感光基板に形成したパターン像の結像状態を検出して最適なフォーカス位置を決定する第1工程と、該第1工程と略同時刻において該ステージ上に設けたステージ基準マークを該投影光学系を介して所定面上に形成して該ステージ基準マークの最適なフォーカス位置を検出する第2工程と、該原板上のパターンを該感光基板上に繰り返し投影露光する途中で、該第2工程と同様にして該ステージ基準マークの最適なフォーカス位置を検出する第3工程とを含むことを特徴としている。

【0043】

(1-2) 原板上のパターンを投影光学系を介して可動のステージ上に載置した感光基板上に繰り返し投影露光する際に、該パターンと該感光基板との該投影光学系の光軸方向の相対的位置を種々と変化させて投影露光し、該感光基板に形成したパターン像の結像状態を検出して最適なフォーカス位置を決定する第1工程と、該第1工程と略同時刻において該ステージ上に設けたステージ基準マークを該投影光学系を介して所定面上に形成して該ステージ基準マークの最適なフォーカス位置を検出する第2工程と、該第2工程とは異なる時刻において、該第2工程と同様にして該ステージ基準マークの最適なフォーカス位置を検出する第3工程とを含むことを特徴としている。 30

【0044】

特に構成要件(1-1)又は(1-2)において、

(A1) 前記第3工程では該第3工程で検出した前記ステージ基準マークの最適なフォーカス位置に基づいて前記第1工程で決定したフォーカス位置を補正していること、 40

(A2) 前記第2工程では前記ステージ上に設けたステージ基準マークを前記投影光学系を1回だけ通過させて所定面上に配置した受光素子面上に結像させ、該受光素子からの信号を用いて該ステージ基準マークの最適なフォーカス位置を検出していること等を特徴としている。

【0045】

本発明の投影露光装置は、

(2-1) 原板上のパターンを投影光学系を介して可動のステージ上に載置した感光基板上に繰り返し投影露光する投影露光装置において、該パターンを該感光基板上に双方の該投影光学系の光軸方向の相対的位置を種々と変化させて投影露光し、該感光基板に形 50

成したパターン像の結像状態を検出して求めた最適な基板フォーカス位置を該ステージ上に設けたステージ基準マークを該投影光学系を介して受光素子面上に形成し、該受光素子からの信号を用いて該ステージ基準マークの最適なフォーカス位置を所定の時間間隔で求めた複数のマークフォーカス位置に基づいて制御手段により補正していることを特徴としている。

【0046】

本発明のデバイスの製造方法は、構成要件(1-1)又は(1-2)の投影露光方法、又は構成要件(2-1)の投影露光装置を用いてデバイスを製造していることを特徴としている。

【発明の効果】

10

【0047】

本発明によれば、環境変化が生じたときや繰り返し露光を行うことによって投影光学系の特性が変化して投影光学系のフォーカス位置が変動しても、被露光面を投影光学系のピント面に常に高精度に位置させることができ、高集積度のデバイスを容易に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】

【0048】

【実施例1】

【0049】

図1は本発明の実施形態1の要部概略図である。

20

本実施形態は逐次露光方式(ステッパー)において、ウエハステージ上の基準平面ミラーを用いたTTLAF方式の概略構成を示している。

【0050】

同図において、6はレチクルであり、レチクルステージ7に保持されている。レチクル6上の回路パターンが投影レンズ(露光レンズ)9によって、xyzステージ(ウエハステージ)11上のウエハ12上に1/5又は1/10に縮小されて結像し、露光が行われる。図では、ウエハ12に隣接する位置に、ウエハ12の上面とミラー面がほぼ一致する基準平面ミラー13が配置されている。基準平面ミラー13には図3に示すようなステージ基準マーク(フォーカス検出用マーク)13aが設けられている。

【0051】

30

又、xyzステージ11は投影レンズ9の光軸方向(z)及びこの方向に直交する面内(x、y)で移動可能であり、もちろん光軸のまわりに回転させることも出来る。

【0052】

レチクル6は、同図の要素1~5で示される照明光学系によって、回路パターンの転写が行われる画面領域内が照明されている。

【0053】

露光用の光源である水銀ランプ1の発光部は楕円ミラー2の第一焦点に位置しており、水銀ランプ1より発光した光は、楕円ミラー2の第二焦点位置に集光している。楕円ミラー2の第二焦点位置にその光入射面を位置付けたオプティカルインテグレーター(ハエの目レンズ)3が置かれており、オプティカルインテグレーター3の光出射面は2次光源を形成する。この2次光源をなすオプティカルインテグレーター3より発する光で照明用レンズ4とフィールドレンズ5を介してレチクル6を照明している。

40

【0054】

同図において要素10, 13, 14は図9で述べたのと同様なオフアクシスのオートフォーカス光学系を形成している。10は投光光学系(オートフォーカス入射系)であり、投光光学系10より発せられた非露光光である光束は、基準平面ミラー13上の点(あるいはウエハ12の上面)に集光し反射される。この基準平面ミラー13で反射された光束は、検出光学系(オートフォーカス受光系)14に入射する。

【0055】

図示は略したが、検出光学系14内には位置検出用受光素子が配されており、位置検出

50

用受光素子と基準平面ミラー 13 上の光束の反射点は、共役となる様配置されており、基準平面ミラー 13 の縮小投影レンズ 9 の光軸方向の位置ズレは、検出光学系 14 内の位置検出用受光素子上での入射光束の位置ズレとして計測される。

【0056】

この検出光学系 14 により計測された基準平面ミラー 13 の所定の基準面よりの位置ズレは、オートフォーカス制御系 32 に伝達される。オートフォーカス制御系 32 は、基準平面ミラー 13 が固設された x y z ステージ 11 を駆動する処の駆動系 33 に z 方向への移動の指令を与える。又、後述する検出光学系 27 により TTL でフォーカス位置を検知する時、オートフォーカス制御系 32 は基準平面ミラー 13 を所定の基準位置の近傍で投影レンズ 9 の光軸方向 (z 方向) に上下に駆動を行う。また、露光の際のウエハ 12 の位置制御 (図 1 の基準平面ミラー 13 の位置にウエハ 12 が配置される) もオートフォーカス制御系 32 により行っている。

10

【0057】

次に本実施形態において、ウエハ 12 面のフォーカス状態を検知して、その信号に基づいてウエハステージ 11 を駆動させて投影レンズ 9 のピント位置を検出する為の構成要件について説明する。

【0058】

27 は TTL AF の検出光学系であり、後述する各要素 23, 24, 26, 40, 41 を有している。ファイバー 40 から出射した照明光束はハーフミラー 41 を通過し、対物レンズ 24 とミラー 23 を介してレチクル 6 近傍に集光する。レチクル 6 上には図 2 に示すように、実素子領域外の位置 RW に所定の大きさの透光部 (窓抜き部) 8 が設けられている。

20

【0059】

照明光束はこの窓抜き部 8 を通過した後に投影レンズ 9 を介して基準平面ミラー 13 上に集光している。基準平面ミラー 13 面上には図 3 に示すようなステージ基準マーク (フォーカス検知用マーク) 13a が設けられている。そして基準平面ミラー 13 からの反射光は元の光路を戻り、順に投影レンズ 9、窓抜き部 8、ミラー 23、対物レンズ 24 を介し、ハーフミラー 41 で反射して位置センサー 26 に入射している。

【0060】

この基準平面ミラー 13 はウエハ 12 と同じウエハステージ 11 上に配置されていて、ウエハ 12 とは概一致したフォーカス面上に固定されている。そしてウエハ面 12a とステージ基準マーク 13a 面の各々のフォーカス位置、ないしは両面間のフォーカスオフセット量はオートフォーカス検出系 32 によって管理されている。これにより以降の手順にしたがって基準平面ミラー 13 に対してフォーカシングして、所定のオフセット量を与えるだけで自動的に実ウエハ上のフォーカシングを行っている。

30

【0061】

図 3 に示すように基準平面ミラー 13 上のステージ基準マーク 13a は所定の線幅の縦横方向のラインアンドスペースより成っている。基準平面ミラー 13 上のステージ基準マーク 13a から発した光束は往路を戻り (復路)、対物レンズ 24 まで到達する。対物レンズ 24 を通過した光束はハーフミラー 41 を今度は反射し、位置センサー 26 のセンサー面 26a 上に結像する。この位置センサー 26 は一次元アレーセンサーであっても、CCD に代表される二次元センサーであっても良い。ステージ基準マーク 13a (図 3) と対応して、一方向パターンだけ (縦線又は横線) のフォーカス検出でよければ一次元アレーセンサーで十分であるし、二方向パターン (縦線と横線同時) のフォーカス検出が必要ならば二次元アレーセンサーを用いる。

40

【0062】

最適フォーカス面を求める為に基準平面ミラー面 13 を露光レンズ 9 の光軸方向に振っている。そのとき位置センサー 26 上ではこれと対応して、ステージ基準マーク 13a (図 3) のフォーカス状態が変化した情報が得られる。

【0063】

50

本実施形態では、どの種のフォーカス情報を信号として利用するかは特に限定していない。例えばステージ基準マーク像の光強度コントラストがベストピント位置では最も高く、デフォーカス位置ではこれが低下することを利用して良い。或いはステージ基準マーク像の光プロファイルの微分値（傾斜角に対応）を評価量としても良い。これらの信号処理は画像信号解析回路４７で行っている。以上の説明で明らかなように、図１に示す投影露光装置において、往路は照明光路であり、フォーカスに関する情報は復路の片道だけの光路で得ている。

【００６４】

本実施形態におけるＴＴＬオートフォーカス方法では、最初にレチクル６上のパターンを実際にウエハ１２上に露光転写することによって、投影レンズ９の最良結像面に対してウエハ面をフォーカスする第１の工程と、これと略同じ第１の時刻にＴＴＬのフォーカス検出光学系２７によってウエハ面ないしはこれと等価面の最良結像位置を検出する第２工程と、ウエハ露光中、或いは前記第１の時刻と異なる第２の時刻に、該ウエハ面ないしは前記等価面の最適フォーカス位置を該検出光学系２７によって検出する第３の工程とを有し、第３工程によって求めた該最適フォーカス位置の検出結果に基づいて該レチクル面と該ウエハ面とを常に最適なフォーカス状態に補正し得る手段とを利用している。

10

【００６５】

次に本実施形態のＴＴＬオートフォーカス方法の具体的な動作について説明する。

【００６６】

図４は本発明の最も特徴とするオートフォーカス検出のシーケンスを示すフローチャートである。

20

【００６７】

図４においては、まずレチクルパターン面６ａに検出光学系２７のフォーカスを粗調整する。この目的はあくまで計測レンジが大きくずれない為のものである。即ち、元々レチクル面６ａとウエハ面１２ａとは事前に概ねフォーカシングされているので、レチクル面６ａとセンサー面１２ａとが極端にずれていると、結果的にセンサー面２６ａとウエハ面１２ａとが大きくずれてしまい、信号のピーク位置を見失ってしまうことになる。この工程は本発明にとって必須ではない。ちなみに、もし計測レンジが大幅にずれて計測不能になった場合には、駆動手段４８を用いて対物レンズ２４のフォーカシングを行う。その必要性を判断するのはコントローラ４６の作用の一つであり、画像信号解析回路４７の出力を得て、駆動手段４８に指令を下している。

30

【００６８】

次いで、レチクル６とウエハ１２の焼きによるフォーカス原点合わせを行う。具体的にはウエハ面６ａのフォーカスを変えながらレチクルパターン（例えば解像力チャートや実素子パターン）をウエハ１２上の複数位置に焼き付けていく。そして、このウエハ１２を一旦現像し、ＳＥＭ等の手段で焼き付け像を測定し、最適フォーカス面を決定する。

【００６９】

一方、これと略同じ時刻（装置のフォーカス状態が変化しない十分短い時間以内を意味する）に、前述の検出光学系２７を用い、ステージ基準マーク１３ａを送り込んでそのフォーカスを変えながら、フォーカス計測を繰り返す。そして位置センサー２６で得られる信号を用いて最適フォーカス面を自動決定する。

40

【００７０】

最適のフォーカス面が求まったら、その情報を装置にフォーカスオフセットとして入力する。このオフセット入力は、実際の最適露光ピントとオートフォーカス検出系３２が捉える最適ピント面との原点ずれ量を補正することを意味する。このような原点だしを各プロセス毎に最初に行い、プロセスオフセットとしてファイルしておく。

【００７１】

一旦、実プロセスウエハの露光が始まったら、実ウエハの間に定期的にステージ基準マーク１３ａを送り込んで、そのフォーカスを変えながら、先と同様に検出光学系２７でそのフォーカス計測を繰り返す。そして最適フォーカス面を自動決定し、初期に求めたフォ

50

ーカス原点とのオフセット変化量を算出する。その値だけウエハステージ 11 を Z 方向に駆動してウエハ面 12 a を投影レンズ 9 の最適フォーカス面にもっていく。露光中は定期的に、又は所定のタイミングで、以上のシーケンスを実行する。

【0072】

以上の説明では露光中のフォーカス管理を例にとりあげたが、本実施形態ではこれだけに限らず、例えば日々の定期チェック等で経時変化を補正する場合にも同様に適用できる。

【0073】

尚、以上の構成では、ファイバー 40 から発した照明光束が基準平面ミラー 13 上に集光する場合としたが、これは必ずしも集光する必要性はない。最低、ステージ基準マーク 13 a の全域を十分に照明しさえすればよい。またステージ基準マーク 13 a を基準平面ミラー 13 上に設けたが、これを実ウエハ上に設けてもよい。

【0074】

このように本実施形態では投影光学系 9 のピント面にウエハ 12 が位置したときのウエハステージ 11 上の基準平面ミラー 13 の位置（投影光学系 9 の光軸方向の位置）を基準平面ミラー 13 に設けたステージ基準マーク 13 a の像を投影光学系 9 を介して検出光学系 27 の位置センサー 26 に結像させ、このときの位置センサー 26 で得られる信号を投影光学系 9 のピント位置としている。又、このときオフアクシスオートフォーカス検出系 10, 14, 32 で得られる信号を基準信号、即ちピントが合ったときの信号としている。

【0075】

そして繰り返し露光するときにはウエハ 12 面の光軸方向の位置を検出方法が容易なオフアクシスオートフォーカス検出系 10, 14, 32 を用いて検出し、該検出結果に基づいて駆動系 33 によりウエハステージ 11 を光軸方向に駆動させてピント合わせを行っている。尚、検出光学系 27 によるピント（フォーカス）位置の検出は予め定めた時間毎に行っている。

【0076】

図 5 は本発明の実施形態 2 の要部概略図である。

【0077】

図 1 の実施形態 1 では検出光学系 27 がレチクル 6 の上方に配置され、レチクル 6 の窓抜き部 8 を通して、ウエハ面 12 a のフォーカスを検知していた。これに対して、本実施形態ではレチクル 6 を介せず露光レンズ 9 だけを通して基準平面ミラー 13 のステージ基準マーク 13 a のフォーカス状態を検知しており、この点が実施形態 1 と異なっているだけであり、その他の構成は同じである。

【0078】

図 5 に示すように本実施形態では、ファイバー 40 から発した照明光束はハーフミラー 41 を透過し、対物レンズ 24 の作用で一旦集光する。この光束は更に進んでミラー 23 によって露光レンズ 9 に入射し、これを通過した後、基準平面ミラー 13 上に到達し、ステージ基準マーク 13 a を照明する。それ以降、ステージ基準マーク 13 a からの反射光のフォーカスを検出する構成やシーケンス等は実施形態 1 と基本的に同じである。

【0079】

本実施形態において、検出光学系 27 でのフォーカス検出用の光の波長は露光光のそれと同じである必要はない。HeNe レーザー（波長 633 nm）や赤外域にある半導体レーザー等の光源を用いても良い。そして、このとき実プロセスウエハ上のスクライブ線か、或いは専用領域にオートフォーカス用のマークを設けて、このマークに対してフォーカシングすれば、レジストを感光することなく、ウエハ毎、又は 1 ショット毎の実素子 TTL オートフォーカス系を構成することができる。

【0080】

又本実施形態によればレチクルに窓抜き部 8 さえも不要となり、既製のレチクル（オートフォーカス検出用マークや窓抜き部がないもの）に対しても本方式を用いることができ

10

20

30

40

50

、高精度の合焦状態が得られる。

【0081】

図6は本発明の実施形態3の要部概略図である。

【0082】

図1の実施形態1や図5の実施形態2では検出光学系27からのフォーカス検出用の照明光を投影レンズ9を介して基準平面ミラー13に入射させていた、そして該基準平面ミラー13の検出用マーク13aからの反射光を投影レンズ9を介して検出光学系27で検出していた。これに対して本実施形態では、基準平面ミラー13のステージ基準マーク13aをウエハ側に設けた照明系(40, 51, 52)からの光束で照明し、ステージ基準マーク13aを通過し投影レンズ9を介した光束を利用している点が先の実施形態1, 2

10

【0083】

本実施形態ではファイバー40から発した照明光束は集光レンズ51の作用でミラー13を介した後、基準平面ミラー13上のステージ基準マーク13aを裏面側から照明する。このステージ基準マーク13aは例えばガラス基板上に遮光性のクロムパターンを形成した部材であって、これを透過した光束は投影レンズ9を通過後、レチクルパターン面6a近傍に一旦結像する。そしてレチクル6を透過して、既述した検出光学系27に入射する。検出光学系27内では前記光束が位置センサー26上に再結像する。そしてウエハステージ11を投影レンズ9の光軸方向に振ることによって、その最適フォーカス面を検出している。

20

【0084】

この場合、最適フォーカス状態(ステージ基準マーク13a面とレチクルパターン6a面とが合焦した状態)において、検出光は必ずしも位置センサー26上に結像する必要は無い。つまりフォーカス検出光はステージ基準マーク面13aとレチクルパターン面6aにおいて結像しさえすれば位置センサー面26aではデフォーカスしていても本発明の効果は十分に得られる。但し、この場合には、画像解析回路47から得られる出力のピーク(最適フォーカス状態)はずれる。このずれ量は初期オフセットとして覚えていさえすれば、その後のフォーカス補正にはなんら問題はない。

【0085】

又、本実施形態では検出光学系27をレチクル6の上部に配置したが、これに限らず、

30

【0086】

図7は半導体デバイス(ICやLSI等の半導体チップ、或いは液晶パネルやCCD等)の製造のフローを示す。

【0087】

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なう。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。

【0088】

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、前記用意したマスク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。

40

【0089】

次のステップ5(組立)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)等の工程を含む。

【0090】

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なう。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。

【0091】

50

図 8 は上記ウエハプロセスの詳細なフローを示す。ステップ 1 1 (酸化) ではウエハの表面を酸化させる。ステップ 1 2 (CVD) ではウエハ表面に絶縁膜を形成する。

【0092】

ステップ 1 3 (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 1 4 (イオン打込み) ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ 1 5 (レジスト処理) ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ 1 6 (露光) では前記説明した露光装置によってマスクの回路パターンをウエハに焼付露光する。

【0093】

ステップ 1 7 (現像) では露光したウエハを現像する。ステップ 1 8 (エッチング) では現像したレジスト以外の部分を削り取る。ステップ 1 9 (レジスト剥離) ではエッチングがす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すことによりウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

【0094】

本実施形態の製造方法を用いれば、従来は製造が難しかった高集積度の半導体デバイスを容易に製造することができる。

【0095】

以上のように、本実施形態によれば環境変化が生じたときや繰り返し露光を行うことによって投影光学系の特性が変化して投影光学系のフォーカス位置が変動しても、被露光面を投影光学系のピント面に常に高精度に位置させることができ、高集積度のデバイスを容易に製造することができる投影露光方法及びそれを用いたデバイスの製造方法を達成することができる。

【0096】

特に、本実施形態によれば、

(B1) 投影レンズを通してウエハ面のフォーカス検知を直に行うので、経時的な投影レンズのフォーカス変動や露光によって発生する投影レンズのフォーカスシフトに対し、高い合焦精度が得られる。

【0097】

(B2) 初期の原点出しのときだけパターンを焼き付けてフォーカスを確認しさえすれば、その後は焼き付ける必要がないのでスループットが向上する。

【0098】

(B3) レチクル上にフォーカス検知用の特別なマークを必要としない。実プロセスのレチクル上に 1 mm 以内のガラス透過部分さえあれば、そこを通して基準マーク、ないしはウエハ上マークからの信号を拾うことは十分可能である。従って、既製のレチクル (オートフォーカス用マークや窓抜き部無し。) に対しても本方式を用いることができ、高精度の合焦状態が約束される。

【0099】

(B4) 常にレチクルパターンをウエハ上に最適フォーカス状態で露光転写できるので、半導体の不良率が低減し、大幅な生産性の向上を期待できる。等の効果を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0100】

【図 1】本発明の実施形態 1 の要部概略図

【図 2】図 1 のレチクルの説明図

【図 3】図 2 のステージ基準マークの説明図

【図 4】本発明の実施形態 1 の動作のフローチャート

【図 5】本発明の実施形態 2 の要部概略図

【図 6】本発明の実施形態 3 の要部概略図

【図 7】本発明のデバイスの製造方法のフローチャート

【図 8】本発明のデバイスの製造方法のフローチャート

【図 9】従来の投影露光装置の要部概略図

10

20

30

40

50

【図 1 0】図 9 の一部分の拡大説明図

【図 1 1】図 9 の一部分の拡大説明図

【図 1 2】オートフォーカス信号波形の説明図

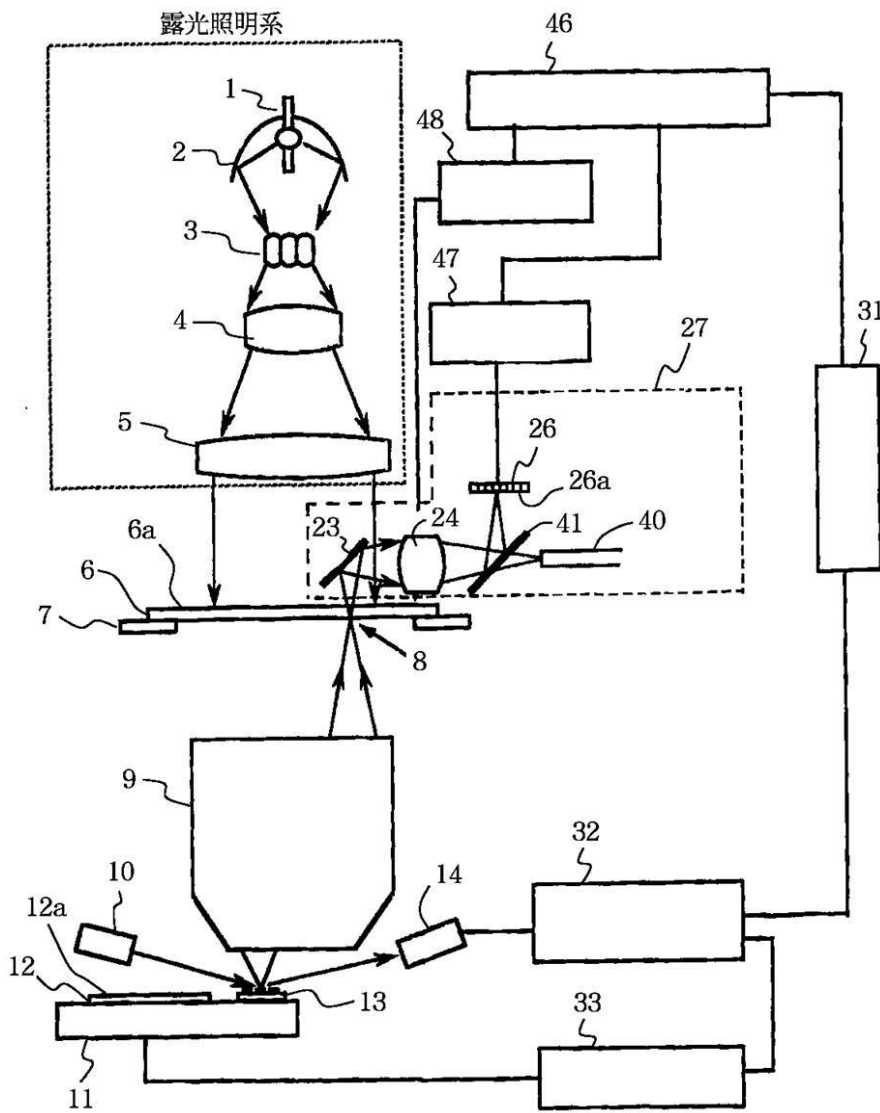
【図 1 3】オートフォーカス信号波形の説明図

【符号の説明】

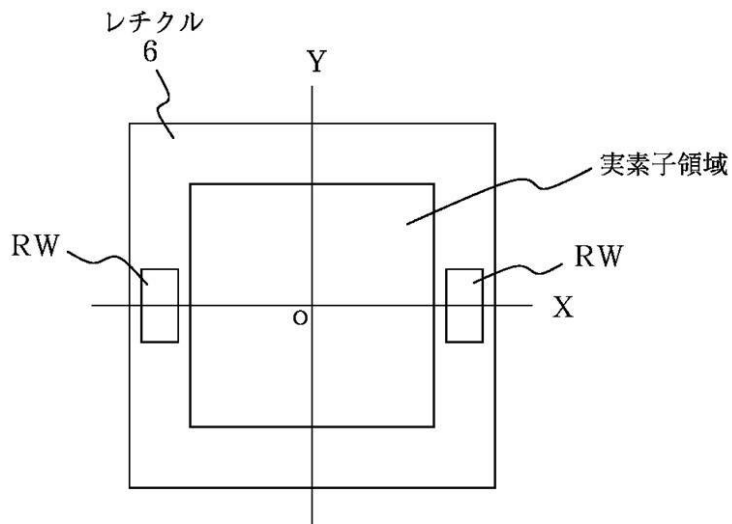
【 0 1 0 1 】

- 6 レチクル（原板）
- 7 レチクルステージ
- 8 窓抜き部
- 9 撮影光学系
- 1 0 投光光学系
- 1 1 ウエハステージ
- 1 2 ウエハ（感光基板）
- 1 3 基準平面ミラー
- 1 3 a ステージ基準マーク
- 1 4 検出光学系
- 2 7 検出光学系
- 3 2 オートフォーカス検出系
- 3 3 駆動系

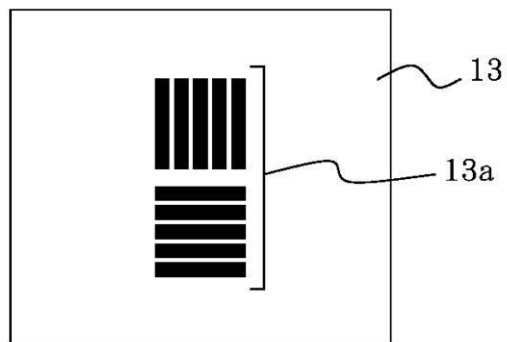
【図 1】



【図 2】

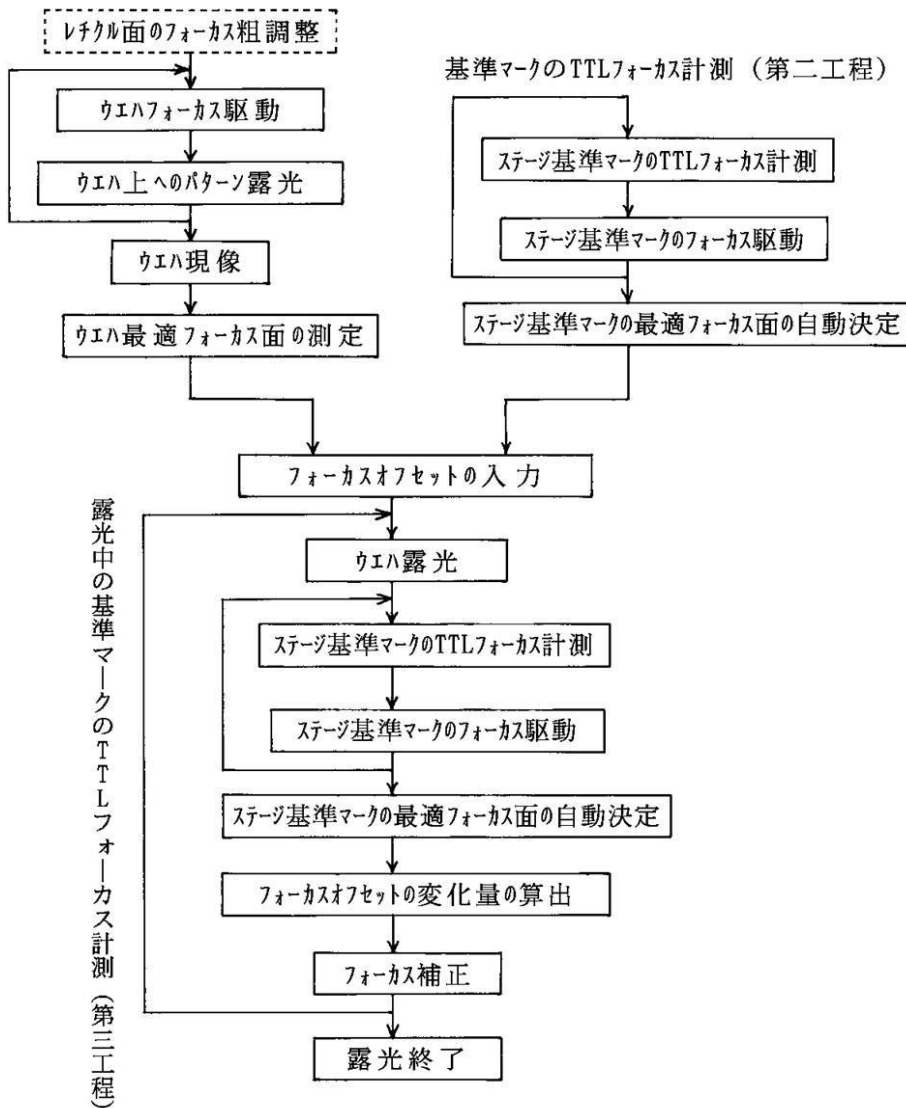


【図 3】

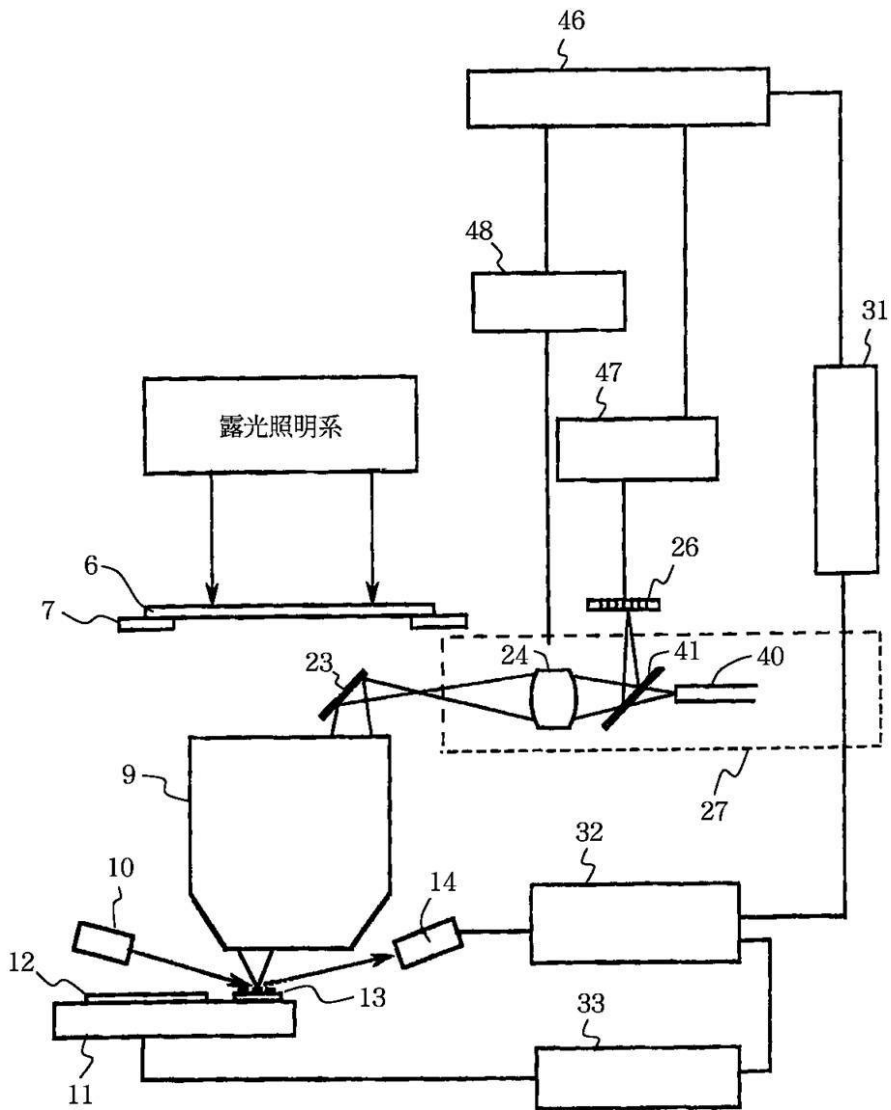


【図 4】

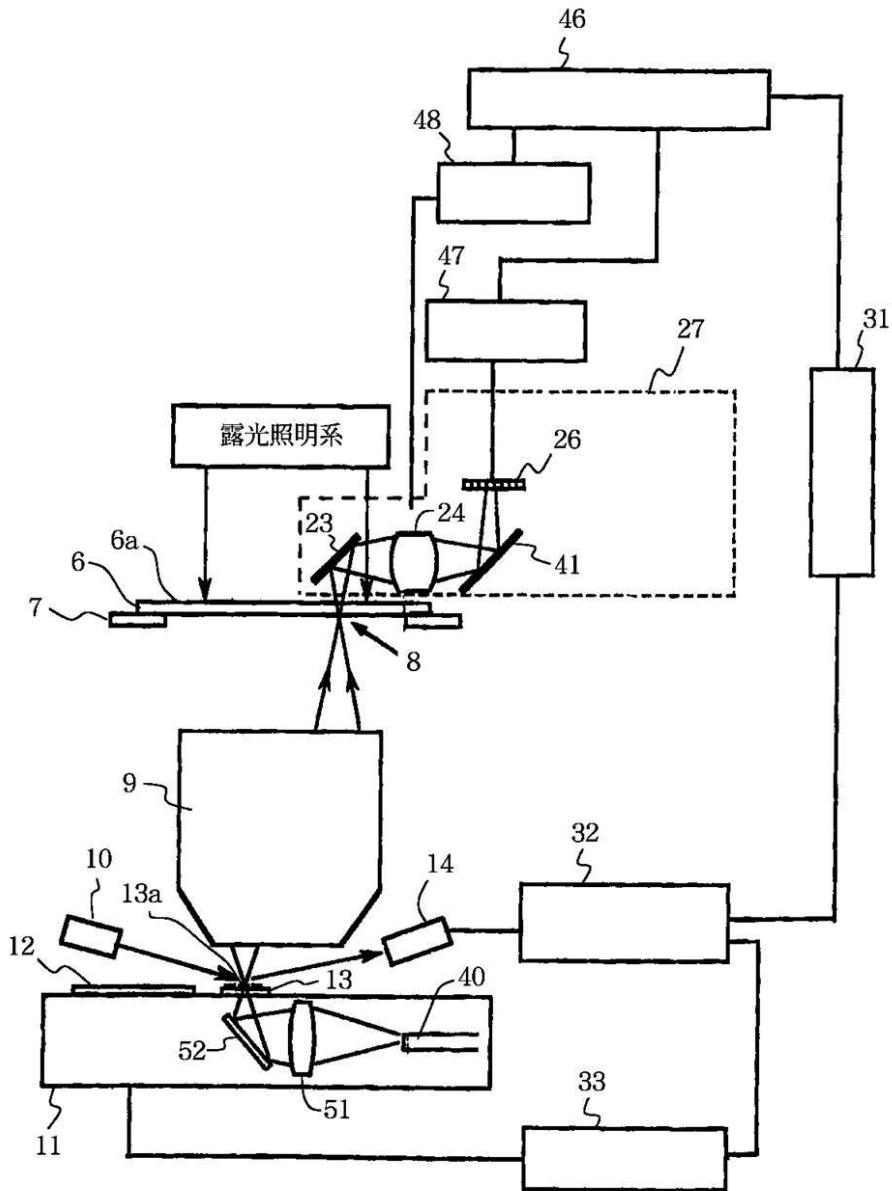
焼きによるフォーカス原点出し（第一工程）



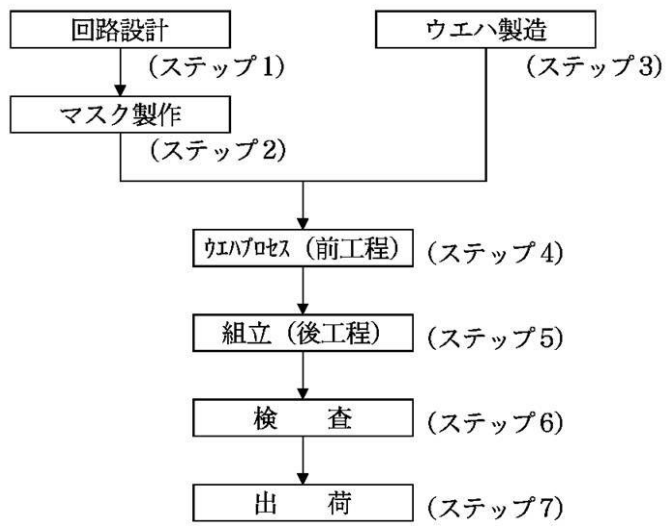
【 図 5 】



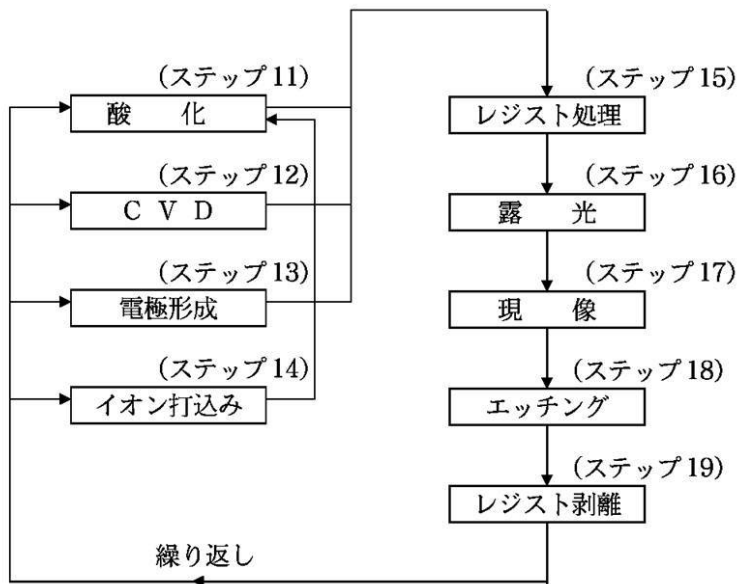
【 図 6 】



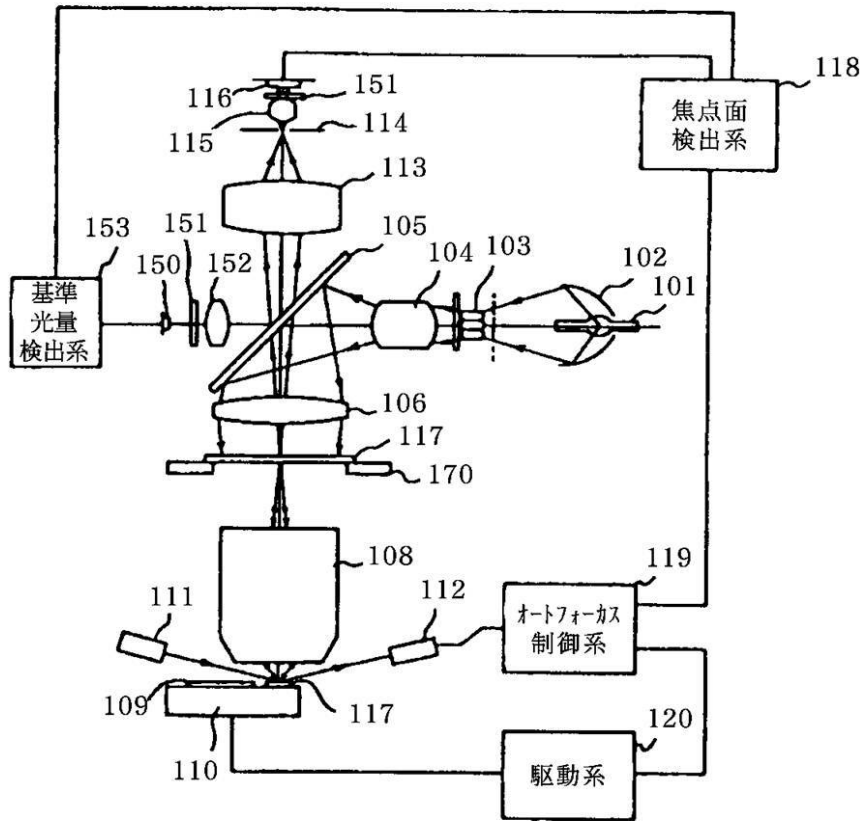
【 図 7 】



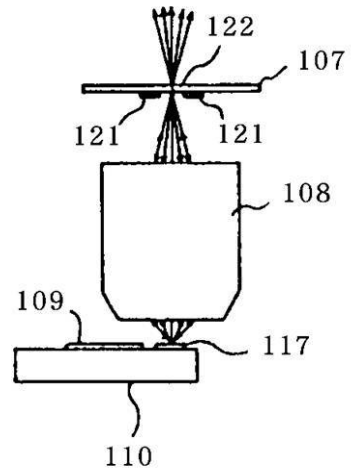
【 図 8 】



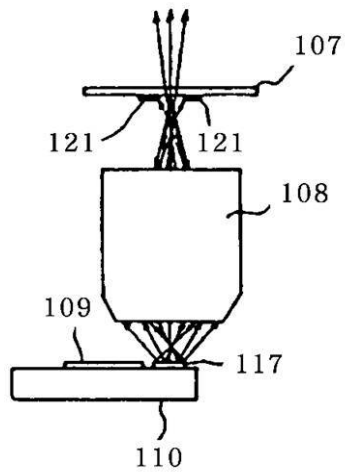
【図 9】



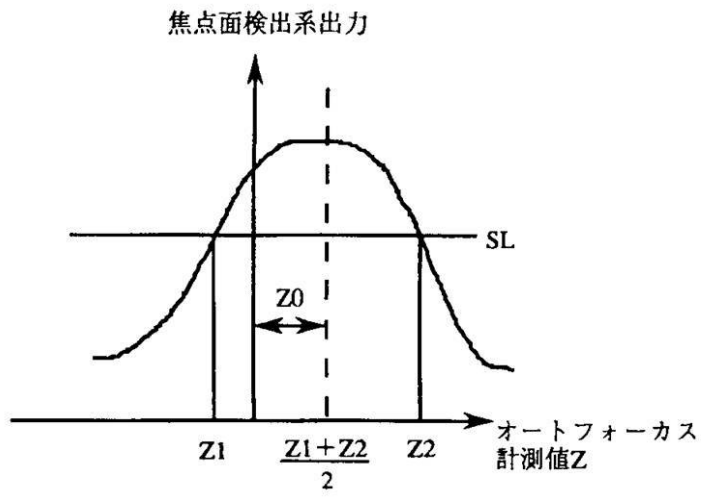
【図 10】



【図 11】



【図 1 2】



【図 1 3】

