

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4258035号
(P4258035)

(45) 発行日 平成21年4月30日(2009.4.30)

(24) 登録日 平成21年2月20日(2009.2.20)

(51) Int. Cl. F I
 H O 1 L 21/027 (2006.01) H O 1 L 21/30 5 2 5 R
 G O 3 F 9/00 (2006.01) G O 3 F 9/00 H

請求項の数 4 (全 15 頁)

<p>(21) 出願番号 特願平10-158372 (22) 出願日 平成10年5月22日(1998.5.22) (65) 公開番号 特開平11-340132 (43) 公開日 平成11年12月10日(1999.12.10) 審査請求日 平成17年3月17日(2005.3.17)</p>	<p>(73) 特許権者 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 (72) 発明者 中村 綾子 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株 式会社ニコン内 (72) 発明者 中川 正弘 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株 式会社ニコン内 審査官 杉浦 淳</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 露光装置及びデバイス製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

投影原版上に設けられたパターンを感光性基板上に投影する投影光学系を備えた露光装置において、

前記感光性基板上に設けられた位置検出用パターンに対して所定波長のアライメント光を供給するための照明光学系と、

前記アライメント光により照明された位置検出用パターンからのアライメント光を受光可能な位置に設けられた対物レンズ系と、少なくとも1つの光束偏向手段とを有する集光光学系と、

該集光光学系を介したアライメント光を光電変換するための光電変換手段と、

前記アライメント光を前記対物レンズ系へ導くと共に、前記対物レンズ系を介した前記位置検出用パターンからの前記アライメント光を前記光電変換手段へ導く手段と、
 を備え、

前記対物レンズ系の前記感光性基板側の開口数を NA_w とするとき、

$$0.35 \leq NA_w \leq 0.85$$

を満足し、

前記対物レンズ系は、最も感光性基板側に位置し且つ少なくとも1つの正屈折力を有する光学部材を備える前群と、後群とを備え、

前記少なくとも1つの光束偏向手段のうち最も前記感光性基板側に配置される光束偏向部材は、前記前群と前記後群との間に位置し、

前記集光光学系中の前記対物レンズ系は、各面の研磨面精度のR M Sの平均値が0 . 0 1 以下の光学素子から構成されることを特徴とする露光装置。

【請求項2】

前記最も感光性基板側に配置される光束偏向手段と、前記対物レンズ系の前記感光性基板から最も遠い面との距離Dが、

$$D \quad 30 \text{ mm}$$

となるように配置されることを特徴とする請求項1記載の露光装置。

【請求項3】

前記集光光学系の前記対物レンズ系は、前記対物レンズ系の計測中心位置と前記投影光学系の投影中心位置との距離BLが、

$$50 \text{ mm} \quad B L \quad 200 \text{ mm}$$

を満足するように配置され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。

【請求項4】

請求項1乃至請求項3の何れか一項記載の露光装置を用いて回路パターンをウエハ上に露光し、複数層の回路パターンを積み重ねて形成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】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、または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投影原版（マスク、レチクル等）を基板上に転写する際に用いられる露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

半導体素子等のデバイスは、一般に感光材料が塗布されたウエハ（又はガラスプレート等の基板）上に複数層の回路パターンを積み重ねて形成されるため、回路パターンをウエハ上に露光するための露光装置には、これから露光するレチクルのパターンと、既に回路パターンが形成されているウエハの各ショット領域との位置合わせを行うためのアライメント装置が備えられている。

従来、この種のアライメント装置としては、特開平4 - 65603号公報、特開平4 - 273246号公報等で提示されているように、ハロゲンランプ等の光源から射出される波長帯域幅の広い光で、ウエハ上のアライメントマーク（ウエハマーク）を照明し、その拡大像を撮像素子上に形成し、得られた撮像信号を画像処理してそのアライメントマークの位置検出を行うオフアクシス方式で、且つ撮像方式のアライメント装置が知られている。撮像方式のアライメント装置の検出系はF I A（Field Image Alignment）系とも呼ばれている。

【0003】

図9にてF I A系のアライメント装置を設置した露光装置の従来例を説明する。光ファイバー8より発した広帯域波長の光束Tは、開口絞り7によって適当な照明光束Tとなって、コンデンサーレンズ6、視野絞り5、照明リレーレンズ4の順に透過した後、ハーフプリズム3に入射される。ハーフプリズム3を透過した光束Tは、第1対物レンズ2を透過して、落射プリズム1に入射する。落射プリズム1の光束反射面で反射した光束Tは、ウエハW上のアライメントマークを照明する。

ここでウエハWは、ウエハステージ50上に設置されている。ウエハステージ50は、露光装置の投影光学系30の投影中心軸Z1、及びアライメントマークに入射される光束Tの計測中心軸Z2に垂直なx y平面に設置されており、ウエハステージ駆動部（不図示）によりx y z方向に移動可能となっている。

また、投影光学系30の投影中心軸Z1と、アライメントマークに入射する光束Tの計測中心軸Z2との距離BL₁（ベースライン長）を小さくするため、第1対物レンズ2は、その光軸がx y平面と平行になるように設置され、第1対物レンズ2とウエハWとの間の

10

20

30

40

50

光路には、落射プリズム 1 が設置されている。

【 0 0 0 4 】

ウエハ W 上のアライメントマークで反射した光束 T は、落射プリズム 1 の光束反射面で反射して、第 1 対物レンズ 2 を透過してハーフプリズム 3 に入射する。ハーフプリズム 3 で反射した光束 T は、第 2 対物レンズ 9 を透過して、指標板 1 0 上にアライメントマーク像を形成する。このアライメントマーク像を形成した光束 T は、リレーレンズ 1 1、1 2 を透過して、x y 分岐ハーフプリズム 1 3 に入射する。x y 分岐ハーフプリズム 1 3 に入射した光束 T のうち、x y 分岐ハーフプリズム 1 3 の光束分割面を透過した光束は、X 座標用 CCD 1 4 の撮像面に再結像される。

【 0 0 0 5 】

一方、x y 分岐ハーフプリズム 1 3 の光束分割面で反射した光束は、Y 座標用 CCD 1 5 の撮像面に再結像される。これら X 座標用 CCD 1 4 及び Y 座標用 CCD 1 5 から出力される撮像信号は、信号処理部 4 0 で処理された後、アライメントマークの位置情報として主制御系（不図示）に転送される。この位置情報を基に、露光装置に設置されたマスク（不図示）とウエハ W の位置合わせを行った後に、マスクパターンをウエハ W 上の狙いの位置に投影光学系 3 0 を介して転写露光する。

【 0 0 0 6 】

【 発明が解決しようとする課題 】

上記従来のアライメント装置では、広帯域照明であるため、ウエハ上のフォトリソ層での薄膜干渉の影響が低減される利点がある。

しかしながら、従来の撮像方式のアライメント装置の結像光学系では、加工、組立、調整等の製造工程において、僅かながら収差が残存していた。このように収差が残存していると、撮像面上でのウエハマーク像のコントラストが低下したり、ウエハマーク像に歪が生じるなどして、マーク位置の検出誤差が発生する。近年、回路パターンの線幅の微細化に伴い、益々高精度のアライメントが必要とされるようになり、上記の如き僅少な収差による、アライメント精度の低下も問題となってきた。

【 0 0 0 7 】

そのように残存する収差の中で、特にコマ収差のウエハマーク像の検出に及ぼす影響は大きく、光軸に軸対称なコマ収差や視野全面に均一な偏心コマ収差等の、瞳において光軸に非対称な横収差が光学系内に発生していると、撮像面上に投影されるアライメントマーク像は、理想結像の場合と比べて、位置ずれして計測される。また、ピッチ、デューティ比、段差等のアライメントマークの形状が変わった場合や、アライメントマークがデフォーカスした場合に、そのアライメントマーク像にコマ収差が存在すると、その像の非対称性の度合いが様々に変化し、且つその計測位置のずれ量も様々に変わることになる。

半導体製造工程毎にアライメントマークの形状は異なるため、コマ収差が残留した光学系でウエハのアライメントを行うと、プロセスオフセットが発生したり、重ね合わせ精度の再現性が悪化する等により、アライメント精度が低下する。

したがって本発明は、被検物であるアライメントマークの位置を高精度に検出して、微細な線幅に対応できる露光装置を提供することを課題とする。

【 0 0 0 8 】

【 課題を解決するための手段 】

本発明は上記課題を解決するためになされたものであり、すなわち、本発明にかかる露光装置は、投影原版上に設けられたパターンを感光性基板上に投影する投影光学系を備えた露光装置であって、前記感光性基板上に設けられた位置検出用パターンに対して所定波長のアライメント光を供給するための照明光学系と、前記アライメント光により照明された位置検出用パターンからのアライメント光を受光可能な位置に設けられた対物レンズ系と、少なくとも 1 つの光束偏向手段とを有する集光光学系と、該集光光学系を介したアライメント光を光電変換するための光電変換手段とを備え、前記対物レンズ系の前記感光性基板側の開口数を NA_w とするとき、

$$0.35 \leq NA_w \leq 0.85$$

10

20

30

40

50

を満足するものである。その際、前記集光光学系中の前記対物レンズ系は、各面の研磨面精度のRMSの平均値が0.01以下の光学素子から構成される。但し、は使用中心波長である。

【0009】

また、本発明の好ましい態様によれば、前記少なくとも1つの光束偏向手段のうち最も前記感光性基板側に配置される光束偏向手段と前記感光性基板との間の光路中には、少なくとも1つの正屈折力を有する光学部材が配置されるものである。

また、本発明の好ましい態様によれば、前記対物レンズ系は、最も感光性基板側に位置する前群と後群とを有し、前記前群と前記後群との間には、前記光束偏向手段が位置するものである。

10

【0010】

また、本発明の好ましい態様によれば、前記最も感光性基板側に配置される光束偏向手段と、前記対物レンズ系の前記感光性基板から最も遠い面との距離Dが、

$$D \geq 30 \text{ mm}$$

となるように配置されるものである。

また、本発明の好ましい態様によれば、前記集光光学系の前記対物レンズ系は、前記対物レンズ系の計測中心位置と前記投影光学系の投影中心位置との距離BLが、

$$50 \text{ mm} \leq BL \leq 200 \text{ mm}$$

を満足するように配置されるものである。

【0011】

【発明の実施の形態】

本発明の実施の形態を図面によって説明する。本発明では、アライメント系中の対物レンズ系が、

$$0.35 \leq NA_w \leq 0.85 \quad (1)$$

但し、 NA_w ：対物レンズ系の感光性基板（ウエハ）側の開口数

を満足するように構成した。上記条件式(1)の説明をする前に、まず図1にて、光学系のコマ収差が結像に与える影響を説明する。ここで、図1(A)は光学系にコマ収差が残存していないときの結像状態を示し、同図(B)は光学系にコマ収差が残存しているときの結像状態を示す。物体面Oには、ピッチがpのライン・アンド・スペース・パターン（以下、ピッチpのパターンと称する。）と、ピッチが2pのライン・アンド・スペース・パターン（以下、ピッチ2pのパターンと称する。）とが設けられている。

20

30

【0012】

図示なき照明光によりこれらのパターンが照明されると、ピッチpのパターンからは0次光及び ± 1 次光 $P(+1)$ 、 $P(-1)$ が生じ、ピッチ2pのパターンからは0次光及び ± 1 次光 $2P(+1)$ 、 $2P(-1)$ が生じる。なお、ピッチp及び2pのパターンからは、 ± 2 次以上の高次回折光も生じるが、ここでは高次回折光を無視する。

図1(A)において、ピッチpのパターンからの ± 1 次回折光 $P(+1)$ 、 $P(-1)$ 、並びにピッチ2pのパターンからの ± 1 次回折光 $2P(+1)$ 、 $2P(-1)$ は、それぞれ、レンズ群L1、L2及び開口絞りASからなる光学系を通過して、該光学系の像面I上の所定の点に到達する。ここで、同図(B)の光学系との比較のために、同図(A)の光学系における瞳面（開口絞りASの位置）での波面 W_i を理想波面とする。

40

【0013】

また、図1(B)に示すように、レンズ群L1、L2及び開口絞りASからなる光学系にコマ収差が残存している場合には、ピッチp及び2pのパターンからの ± 1 次回折光 $P(+1)$ 、 $P(-1)$ 及び $2P(+1)$ 、 $2P(-1)$ には、当該コマ収差に対応する波面収差 W_c が付与される。このとき、ピッチpのパターンからの -1 次回折光 $P(-1)$ には、波面収差量 $W_c(p(-1))$ が付与され、 $+1$ 次回折光 $P(+1)$ には、波面収差量 $W_c(p(+1))$ が付与される。また、ピッチ2pのパターンからの -1 次回折光 $2P(-1)$ には、波面収差量 $W_c(2p(-1))$ が付与され、 $+1$ 次回折光 $2P(+1)$ には、波面収差量 $W_c(2p(+1))$ が付与される。このように、光学系の

50

コマ収差に応じた波面収差を有するときには、波面収差量 $W_c(p(-1))$ 、 $W_c(p(+1))$ と、波面収差量 $W_c(2p(-1))$ 、 $W_c(2p(+1))$ とは異なる。したがって、 ± 1 次回折光 $P(-1)$ 、 $P(+1)$ が像面 I に到達する位置と、 ± 1 次回折光 $2P(-1)$ 、 $2P(+1)$ が像面 I に到達する位置とが異なる。すなわち、光学系にコマ収差が存在しているときには、パターンピッチの大きさにより、そのパターンの結像位置が異なってしまう問題がある。

【0014】

また、上述のようなパターンピッチの差のみならず、そのデューティ比や段差等が変わった場合においても、結像位置が変化してしまう。

半導体製造工程におけるアライメントに際して、コマ収差が残存した光学系を用いてウエハのアライメントを行うと、半導体製造工程毎にアライメントマークの形状（ピッチ、デューティ比、段差等）が異なるため、ウエハマークの形状により検出位置がばらつく、いわゆるプロセスオフセットが生じる。

【0015】

次に図2にて、条件式(1)の説明を行う。図2は、アライメント系に残存しているコマ収差と、プロセスオフセットとの関係のシミュレーション結果を示すグラフであり、縦軸にプロセスオフセットをとり、横軸にコマ収差をとっている。このシミュレーションは、所定のコマ収差残存量が発生していたときのプロセスオフセット（理想位置からの像のずれ量）を、物体側開口数（NA）毎に計算したものである。これより、開口数が同じ条件であれば、残存するコマ収差を少なくすればするほど、プロセスオフセットを小さくすることができ、同じコマ収差であれば、光学系の開口数を大きくすればするほどプロセスオフセットを小さくすることができることが分かる。

さて、残存するコマ収差を少なくするためには、光学設計上の収差補正のみならず、製造工程における誤差を最小限にする必要があるが、製造誤差により生じるコマ収差の量を小さくすることには限界がある。図2に示すように、光学系の開口数が0.35以下である場合には、製造誤差を限界まで追い込んで、回路の微細化に伴って要求される厳しいアライメント精度を満足するほどプロセスオフセットを小さくすることは難しい。

【0016】

一方、光学系の開口数を大きくすればするほどプロセスオフセットを小さくすることができるが、開口数が0.85を超える場合には、開口数を大きくすることによるプロセスオフセットの減少への効果が少なくなる。すなわち、開口数を大きくすることによるグラフの傾きの変化が小さくなる。

またこの場合、光学設計上の負担も大きくなり、対物レンズ系に後続する光学系において補正不可能な高次の光学設計上のコマ収差の発生が大きくなる。すなわち、却ってコマ収差の発生を招き、結果としてプロセスオフセットの増大を招くことになる。

またこの場合、ウエハと、対物レンズ系の最もウエハ側のレンズ面との間隔、いわゆる作動距離を確保することも非常に困難になる。

したがって、上記条件式(1)で規定した範囲が、プロセスオフセットの低減に効果がある範囲である。

【0017】

また、例えば本願出願人が特願平9-33283号で提案しているように、アライメント系の対物レンズを介したTTL方式のオートフォーカスを実施しようとする場合、オートフォーカスの分解能を向上させるためには、対物レンズ系の開口数は小さくしたまま被検物とオートフォーカス用検出器との間の倍率を上げるか、対物レンズ系の開口数を大きくして上記倍率をあまり上げないかの2通りが考えられる。ここで、前者の場合、すなわち上記条件式(1)の下限を下回る場合においては、オートフォーカス用検出器に達する光量が減少し、オートフォーカスの測定精度や再現性が悪化し、その結果、アライメント精度の悪化を招く恐れがある。後者の場合には、オートフォーカス用検出器に達する光量は十分に維持されるので、オートフォーカスの測定精度や再現性は良好に保たれる。

【0018】

また本発明では、条件式(1)に基づいて、上記対物レンズ系を構成する光学素子の各面の研磨精度のRMSの平均値が0.01以下であることが好ましい。但し、 λ は使用中心波長である。

上述したように、プロセスオフセットの大きさは、コマ収差に比例し、且つ開口数の大きさに反比例するため、コマ収差が一定である場合において開口数が大きいとプロセスオフセットは小さくなる。

ここで、本願発明者らは、対物レンズ系を構成する光学素子の各面の研磨精度のRMSの平均値を0.01以下とすると、対物レンズ系に残存している収差のうち、低次の収差が十分に小さく高次の収差が支配的になることを見出した。

【0019】

このとき、対物レンズ系の瞳面においては、瞳面内において収差がランダムに分布することになり、開口数を小さくしてもコマ収差はあまり減少せず、開口数を大きくすることによるプロセスオフセットの減少が大となる。これに反して、低次の収差が支配的となる場合には、開口数を小さくすることによりコマ収差が減少することになるが、上記の光学素子の各面の研磨精度のRMSの平均値が0.01以下である場合に開口数を大きくしたときと比べて、コマ収差の値自体は大きくなり、結果としてプロセスオフセットの向上を図ることはできない。

本発明では、研磨精度をRMSで表現しているが、研磨精度を最大値と最小値の差(いわゆる、ピーク・ツー・バレー、又はピーク・ツー・ピーク)や、収差係数で言い換えることもできる。

【0020】

また本発明では、図3に示すように、最もウエハW側に配置されるミラー18(光束偏向部材)と、ウエハWとの間の光路中に、第1対物レンズ2(対物レンズ系)を配置することが好ましい。

マスク(投影原版)の像をウエハW(感光性基板)上に投影するための投影光学系30においては、近年そのウエハW側の開口数が益々大きくなり、それに伴って投影光学系30のウエハW側の作動距離を大きくすることが非常に困難となっている。また、条件式(1)で規定される開口数を有する第1対物レンズ2では、必然的にその外径は大きくなる。したがって、第1対物レンズ2を、図9に示す従来の配置とする場合、ウエハWと投影光学系30との間隔が非常に狭くなり、第1対物レンズ2を配置することが困難となる。更に、条件式(1)で規定される開口数の第1対物レンズ2では、長い作動距離(焦点距離)を確保することが困難であるため、図9のように落射プリズム1を第1対物レンズ2の物体側に介在させるための空間を確保できない。

【0021】

このとき、図8に示すように、第1対物レンズ2の物体側に落射プリズム1を介在させない構成が考えられる。この場合には、第1対物レンズ2からの光束TをX座標用CCD14及びY座標用CCD15へ導く光路を確保するため、投影光学系30の鏡筒をxy平面へ投影した領域の外側に、第1対物レンズ2を設ける必要がある。前述のように、投影光学系30自体も開口数の増大が図られているため、その鏡筒の径も大きい。したがって、このときには、ベースライン長 BL_1 が非常に長くなることになる。

そこで、図3に示すような構成とすることで、ベースライン長BLを従来並みの長さに、且つプロセスオフセットの低減を図るために第1対物レンズ2の開口数を大きくすることができる。

【0022】

その際、図3に示す第1対物レンズ2を分割して第1対物レンズ前群と第1対物レンズ後群とで構成して、これら第1対物レンズ前群と第1対物レンズ後群との間の光路中に、第1対物レンズ前群からの光束を偏向させるためのミラー18を配置することもできる。このとき、ミラー18の位置では、大きな開口数の光束が第1対物レンズ前群の収斂作用により小さな開口数の光束に変換されるため、このミラー18の大きさはそれ程大きなものである必要はない。更に、第1対物レンズ前群の全長(最も物体側のレンズ面から最も像

10

20

30

40

50

側のレンズ面までの距離)は、第1対物レンズ2の全長よりも短いため、投影光学系30の作動距離が短い場合であっても、その設置スペースに、第1対物レンズ前群と第1対物レンズ後群とミラー18を設置して、光束を検出器へ導く光路を確保することができる。

【0023】

また本発明では、最も感光性基板側に配置される光束偏向部材と、対物レンズ系の感光性基板から最も遠い面との距離Dが、

$$D \geq 30 \text{ mm} \quad (2)$$

となるように配置することが好ましい。図3において、ミラー18(光束偏向部材)とウエハW(感光性基板)との距離の最大値 h_0 は、

$$h_0 = (BL - A/2) * \tan(90^\circ - \sin^{-1}(NA_{UL}))$$

10

(A)

但し、A：投影光学系30の露光領域の直径

NA_{UL} ：投影光学系30のウエハW側の開口数

BL：ベースライン長

で求められる。上記最大値 h_0 は、投影光学系30を構成する光学素子の厚みや、該光学素子を保持する保持部材の厚みを考慮していない値であり、ミラー18とウエハWとの距離hは、

$$h \geq h_0 \quad (B)$$

である。

20

【0024】

ここで、ベースライン長BLは、短ければ短いほど良いが(理由は後述)、このベースライン長BLが短すぎると、上記(A)、(B)式より距離hが短くなりすぎ、第1対物レンズ2を配置することが困難となる。本発明では、第1対物レンズ2の物体側開口数が条件式(1)を満足する構成であるため、ミラー18とウエハWとの距離hは、

$$35 \text{ mm} \leq h \leq 70 \text{ mm}$$

となる。ここで、ミラー18とウエハWの間には、第1対物レンズ2を配置する必要があるため、この第1対物レンズ2の全長を考慮し、上記条件式(2)を得る。

条件式(2)を満足しない場合には、第1対物レンズ2及びミラー18を、投影光学系30とウエハWとの間のスペースに配置することができなくなり、ベースライン長BLを短く維持することが難しくなる。

30

【0025】

また本発明では、ベースライン長BLが、

$$50 \text{ mm} \leq BL \leq 200 \text{ mm} \quad (3)$$

を満足することが好ましい。図3において、ベースライン長BLが、条件式(3)の上限を超える場合には、ウエハWを保持するためのウエハステージ50の拡大化や、スループットの低下、更にはアライメント精度の長期安定性の低下を招くことになる。

まず、ウエハステージ50の拡大化について説明する。オフアクシスアライメント方式においてウエハWの全面を位置検出することを可能にするためには、ベースライン長BLが長ければ、その分ウエハステージ50を大きくしなければならぬ。ウエハステージ50が拡大化すると、装置の床面積(フットプリント)も大きくなる。また、ウエハステージ50が拡大化すると、その重量も増すため、ウエハステージ50移動時に、装置が振動するといった問題も生じる。

40

【0026】

次に、スループット低下について説明する。オフアクシスアライメント方式においては、例えば特開平6-275496号公報に提案されているような位置合わせ方式が用いられる。すなわち、ウエハW上の複数のアライメントマークの位置を計測し、その結果より統計的手法を用いてショット領域の座標を予測し、その後、ウエハW上のショット領域が投影光学系30の露光領域となるようにウエハステージ50を移動させる。この移動時間はベースライン長BLの長さに比例して大きくなるため、上記条件式(3)の上限を上回る

50

ときには、スループットの低下は著しくなる。

次に、アライメント精度の長期安定性に関して説明する。オフアクシスアライメント方式では、投影光学系30の投影中心軸Z1からベースライン長BLだけ離れたアライメント位置で、アライメントを行っている。このとき、ベースライン長BLを管理するために、ウエハステージ50上には基準マークが設置されるが、上記条件式(3)の上限を超えてベースライン長BLが長くなるときには、長期的な熱変動により基準マークの位置ずれ、回転等の影響が大きくなる。

【0027】

また、実際に露光動作を行う際には、干渉計により計測したアライメント位置でのウエハステージ座標から、ベースライン長BLをオフセットとして除去した座標を、露光位置として取り扱うが、上記熱変動により、ウエハステージ50上に設けられる干渉計の移動鏡等の回転による影響が生じる。条件式(3)の上限を超える場合には、この回転による計測位置誤差が大きくなる。

10

また、上記条件式(3)の下限を超えてベースライン長BLが短くなる場合には、条件式(1)を満足する第1対物レンズ2を配置することが困難になるか、あるいは投影光学系30のウエハW側の開口数の確保や投影領域の確保が困難になる。

【0028】

以下、図3における具体的数値例を示す。ウエハWとミラー18との距離hを $h = 50 \text{ mm}$ とし、ベースライン長BLを $BL = 100 \text{ mm}$ とし、第1対物レンズ2の物体側開口数は $NA = 0.6$ とする。更に、第1対物レンズ2の各面の研磨面精度を平均で $RMS = 0.01$ ($= 633 \text{ nm}$)とすることで、低次の収差成分は非常に小さくなる。このとき、開口数が $NA = 0.2$ 程度の従来の第1対物レンズ2のコマ収差と、本数値例による開口数が $NA = 0.6$ の第1対物レンズ2のコマ収差とは、ほぼ等しくなる。プロセスオフセットとコマ収差との関係は、

20

プロセスオフセット = コマ収差 / NA

となるので、本数値例によるプロセスオフセットは、従来のプロセスオフセットの約1/3の大きさになる。

【0029】

【実施例】

本発明の実施例を図面によって説明する。図4にて、本発明による露光装置の第1実施例を示す。同図(B)に示すように、光ファイバー8より発した光束Tは、開口絞り7によって適当な照明光束Tとなっており、コンデンサーレンズ6、視野絞り5、照明リレーレンズ4の順に透過した後、ハーフプリズム3に入射する。

30

同図(A)に示すように、ハーフプリズム3で反射した光束Tは、各ミラー18a、18b、18cで反射した後に、第1対物レンズ2を透過して、ウエハW上のアライメントマークを照明する。

【0030】

ここでウエハWは、ウエハステージ50上に設置されている。ウエハステージ50は、露光装置の投影光学系30の投影中心軸Z1、及びアライメントマークに入射される光束Tの計測中心軸Z2に垂直なxy平面に設置されており、ウエハステージ駆動部(不図示)によりxy方向及びz方向に移動可能となっている。

40

また第1対物レンズ2は、その光軸が、投影光学系30の投影中心軸Z1、及びアライメントマークに入射される光束Tの計測中心軸Z2に対して平行となるように配置されている。

また、第1対物レンズ2の物体側開口数は、前述した条件式(1)を満足する。また、第1対物レンズ2の各レンズ面の研磨面精度のRMSの平均値は、0.01以下(は、光束の波長)となっている。また、ミラー18cと第1対物レンズ2のレンズ上面との距離は、前述した条件式(2)を満足する。また、ベースライン長BLは、前述した条件式(3)を満足する。

【0031】

50

ウエハW上のアライメントマークで反射した光束Tは、第1対物レンズ2を透過して、各ミラー18c、18b、18aで反射した後に、ハーフプリズム3に入射する。ハーフプリズム3を透過した光束Tは、第2対物レンズ9を透過して、ミラー35で反射された後に、指標板10上にアライメントマーク像を形成する。このアライメントマーク像を形成した光束Tは、リレーレンズ11、12を透過して、xy分岐ハーフプリズム13に入射する。xy分岐ハーフプリズム13に入射した光束Tのうち、xy分岐ハーフプリズム13の光束分割面を透過した光束は、X座標用CCD14の撮像面に再結像される。一方、xy分岐ハーフプリズム13の光束分割面で反射した光束は、Y座標用CCD15の撮像面に再結像される。これらX座標用CCD14及びY座標用CCD15から出力される撮像信号は、信号処理部40で処理された後、アライメントマークの位置情報として主制御系(不図示)に転送される。この位置情報を基に、露光装置に設置されたマスク(不図示)とウエハWの位置合わせを行った後に、マスクパターンをウエハW上の狙いの位置に投影光学系30を介して転写露光する。

10

【0032】

なお、本第1実施例では、ハーフプリズム3に対して、光ファイバー8から発した光束Tをハーフプリズム3の反射光路側で用い、ウエハWで反射した光束Tをハーフプリズム3の透過光路側で用いているが、本発明は、逆に、光ファイバー8から発した光束Tをハーフプリズム3の透過光路側で用い、ウエハWで反射した光束Tをハーフプリズム3の反射光路側で用いても良い。

また、本第1実施例では、ハーフプリズム3と第1対物レンズ2との間の光路内に、ミラー18a、18b、18cを3枚配置しているが、必要に応じてミラーの枚数を増減しても良い。

20

以上のように本第1実施例では、ベースラインBLが短いので、スループットを高くすることができる。また、第1対物レンズ2の焦点距離(作動距離)が短いので、全体の光路長が短くなり、アライメント装置としての安定性を高くすることができ、更に第1対物レンズ2の物体側開口数を比較的大きく設定できるので、プロセスオフセットを小さくすることができる。

【0033】

次に図5にて、本発明による露光装置の第2実施例を示す。本第2実施例と前記第1実施例との構成の違いは、図4における第1対物レンズ2を分割して、第1対物レンズ前群2aと第1対物レンズ後群2bとを用いた点である。そして、図4の第1対物レンズ2の位置に第1対物レンズ前群2aを設置して、ミラー18とハーフプリズム3の間の光路に第1対物レンズ後群2bを配置している。図4のような構成では、第1対物レンズ2が大き過ぎて、装置に挿入できない場合に、図5の構成は有効となる。すなわち、装置内に装着するには大き過ぎる第1対物レンズ2を、第1対物レンズ前群2aと第1対物レンズ後群2bとに分割することで装置内に装着可能とする。これにより、本第2実施例においても、第1実施例と同等の効果を得ることができる。

30

なお、本第2実施例では、第1対物レンズ群の分割数を、第1対物レンズ前群2aと第1対物レンズ後群2bとの2つとしたが、必要に応じて、それ以上の群数に分割することも可能である。

40

また、図4のようにミラー18a、18b、18cを3枚配置した場合は、第1対物レンズ後群2bを両ミラー18b、18cの間等、ハーフプリズム3と第1対物レンズ前群2aとの間の光路内のどこへでも配置することができる。

【0034】

次に図6にて、本発明による露光装置の第3実施例を示す。本第3実施例と前記第1実施例との構成の違いは、アライメント装置内に、ウエハWの合焦度を検出するオートフォーカス機構を併設した点である。すなわち、第1実施例のアライメント装置がウエハWのxy方向の位置合わせのみ行うのに対して、本第3実施例では更にウエハWのz方向の位置合わせも行う。

同図(B)に示すように、光ファイバー8より発した光束Tは、開口絞り7によって適当

50

な照明光束 T となって、コンデンサーレンズ 6 を透過して、視野絞り板 16 に入射する。ここで、同図 (C) に示すように、視野絞り板 16 は、オートフォーカス用スリット 27 と、x y 方向の位置合わせ用の視野絞り 5 とで構成されている。視野絞り板 16 を射出した光束 T は、照明リレーレンズ 4 を透過して、ハーフプリズム 3 に入射する。

【 0 0 3 5 】

同図 (A) に示すように、ハーフプリズム 3 で反射した光束 T は、各ミラー 18 a、18 b、18 c で反射した後に、第 1 対物レンズ 2 を透過して、ウエハ W 上に視野絞り 5 とオートフォーカス用スリット 27 の投影像を形成する。

ウエハ W 上で反射した光束 T は、第 1 対物レンズ 2 を透過して、各ミラー 18 c、18 b、18 a で反射した後に、ハーフプリズム 3 に入射する。ハーフプリズム 3 を透過した光束 T は、第 2 対物レンズ 9 を透過して、ビームスプリッター 20 に入射する。ビームスプリッター 20 で反射した光束 T は、前記第 1 実施例と同様に X 座標用 CCD 14 及び Y 座標用 CCD 15 にアライメントマーク像を形成する。他方、ビームスプリッター 20 を透過した光束 T は、オートフォーカス用スリット 27 の投影像を選択する選択板 21 を透過して、リレーレンズ 22 を介して屋根型ミラー 23 に入射する。ここで屋根型ミラー 23 は、開口絞り 7 とほぼ共役となる位置に配置されて、入射した光束 T を 2 光束に分割して反射する。

【 0 0 3 6 】

屋根型ミラー 23 で反射した 2 光束は、リレーレンズ 24 を透過して、1 次元 CCD 等の焦点検出用の撮像素子 25 の撮像面上に、オートフォーカス用スリット 27 の 2 つの投影像 A、B を形成する。ここで、屋根型ミラー 23 の影響により、ウエハ W から撮像素子 25 に至る結像光学系のテレセントリック性は崩れている。そのため、ウエハ W が合焦点から ± z 方向にずれた場合、撮像素子 25 上でのオートフォーカス用スリット 27 の 2 つの投影像 A、B (同図 D) の間隔は、計測方向に変化することになる。

この撮像素子 25 から出力される撮像信号は、撮像信号処理部 45 で処理された後、ウエハ W の焦点位置情報として主制御系 (不図示) に転送される。この焦点位置情報を基に、その合焦点が最大となるように、露光装置に設置されたウエハ W の焦点位置合わせを行う。その後、ウエハ W 上のアライメントマークの x y 方向の位置合わせを行う。

【 0 0 3 7 】

以上のように本第 3 実施例では、前記第 1 実施例と同等の効果に加え、ウエハ W の合焦点の検出を行う上での効果を得ることができる。すなわち、第 3 実施例では、第 1 対物レンズ 2 の物体側開口数を大きく設定できるため、測定に十分な測定光束の光量を確保することができる。これにより、結像光学系としてそれ程倍率を上げることなく、高分解能なオートフォーカスを得ることができる。

なお、オートフォーカス系の開口数を、アライメント系の開口数より大きくしたい場合は、アライメント系に結像開口絞りを設けてやれば良い。

【 0 0 3 8 】

次に図 7 にて、本発明による露光装置の第 4 実施例を示す。本第 4 実施例の構成は、x y 方向の位置検出用の光ファイバー 8 と、焦点検出用光源 29 との 2 つの独立した照明系をもつ点で、前記第 3 実施例の構成とは異なる。

同図 (B) に示すように、焦点検出用光源 29 より発した焦点検出用光束は、AF 用コンデンサーレンズ 28 を透過して、オートフォーカス用スリット 27 を照明する。オートフォーカス用スリット 27 を射出した焦点検出用光束は、ダイクロイックミラー 26 に入射する。ダイクロイックミラー 26 を透過した焦点検出用光束は、照明リレーレンズ 4 を透過して、ハーフプリズム 3 に入射する。ハーフプリズム 3 で反射した後の焦点検出用光束は、第 3 実施例と同様の光路を通過して、ダイクロイックミラー 33 に入射する。ダイクロイックミラー 33 を透過した焦点検出用光束は、第 3 実施例と同様の光路を通過して、最後に撮像素子 25 に入射する。

【 0 0 3 9 】

一方、同図 (B) に示すように、光ファイバー 8 より発した位置検出用光束は、コンデン

10

20

30

40

50

サーレンズ 6 を透過して、視野絞り 5 を照明する。視野絞り 5 を射出した位置検出用光束は、ダイクロイックミラー 2 6 に入射する。ダイクロイックミラー 2 6 で反射した位置検出用光束は、照明リレーレンズ 4 を透過して、ハーフプリズム 3 に入射する。ハーフプリズム 3 で反射した後の位置検出用光束は、第 3 実施例と同様の光路を通過して、ダイクロイックミラー 3 3 に入射する。ダイクロイックミラー 3 3 で反射した位置検出用光束は、第 3 実施例と同様の光路を通過して、最後に X 座標用 C C D 1 4 及び Y 座標用 C C D 1 5 に入射する。

【 0 0 4 0 】

なお、本第 4 実施例では、ダイクロイックミラー 2 6、3 3 に対して、焦点検出用光源 2 9 から発した焦点検出用光束をダイクロイックミラー 2 6、3 3 の透過光路側で用い、光ファイバー 8 から発した位置検出用光束をダイクロイックミラー 2 6、3 3 の反射光路側で用いているが、本発明は、逆に、焦点検出用光源 2 9 から発した焦点検出用光束をダイクロイックミラー 2 6、3 3 の反射光路側で用い、光ファイバー 8 から発した位置検出用光束をダイクロイックミラー 2 6、3 3 の透過光路側で用いても良い。

以上により、本第 4 実施例においても、前記第 3 実施例と同等の効果を得ることができる。

【 0 0 4 1 】

【発明の効果】

以上のように本発明は、アライメントマークの位置を高精度に検出して、微細な線幅に対応できる露光装置を提供することができる。更に本発明は、ベースライン長が短くスループットが高く、全体の光路長が短く結像光学系としての安定性が高く、加えて高分解能のオートフォーカスを装備可能な露光装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】結像光学系に (A) コマ収差がないときの結像状態を示す概略図と、(B) コマ収差があるときの結像状態を示す概略図である。

【図 2】物体側開口数によるコマ収差とプロセスオフセットとの関係を示す図である。

【図 3】露光装置における第 1 対物レンズとミラーの配置を示す概略図である。

【図 4】本発明の第 1 実施例による露光装置を示す (A) 概略図と、(B) A 図中 X - X 矢視図である。

【図 5】本発明の第 2 実施例による露光装置を示す (A) 概略図と、(B) A 図中 X - X 矢視図である。

【図 6】本発明の第 3 実施例による (A) 露光装置を示す概略図と、(B) A 図中 X - X 矢視図と、(C) B 図中 Y - Y 矢視図と、(D) 撮像素子上の投影像を示す概略図である。

【図 7】本発明の第 4 実施例による露光装置を示す (A) 概略図と、(B) A 図中 X - X 矢視図である。

【図 8】第 1 対物レンズを投影光学系領域外に配置した露光装置を示す図である。

【図 9】従来技術による露光装置を示す図である。

【符号の説明】

- | | |
|-----------------------------------|---------------------|
| 1 ... 落射プリズム | 2 ... 第 1 対物レンズ |
| 2 a ... 第 1 対物レンズ前群 | 2 b ... 第 1 対物レンズ後群 |
| 3 ... ハーフプリズム | 4 ... 照明リレーレンズ |
| 5 ... 視野絞り | 6 ... コンデンサーレンズ |
| 7 ... 開口絞り | 8 ... 光ファイバー |
| 9 ... 第 2 対物レンズ | 1 0 ... 指標板 |
| 1 1、1 2、2 2、2 4、2 8 ... リレーレンズ | |
| 1 3 ... x y 分岐ハーフプリズム | |
| 1 4 ... X 座標用 C C D | 1 5 ... Y 座標用 C C D |
| 1 6 ... 視野絞り板 | |
| 1 8、1 8 a、1 8 b、1 8 c、3 5 ... ミラー | |

10

20

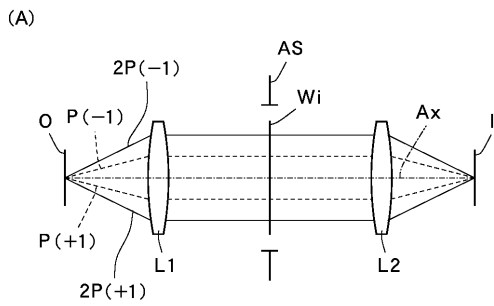
30

40

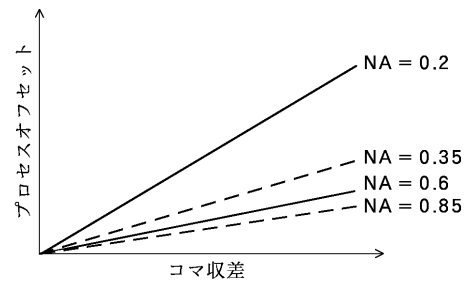
50

- 2 0 ... ビームスプリッター
- 2 3 ... 屋根型ミラー
- 2 6、3 3 ... ダイクロイックミラー
- 2 7 ... オートフォーカス用スリット
- 2 9 ... 焦点検出用光源
- 4 0 ... 信号処理部
- 5 0 ... ウエハステージ
- W ... ウエハ
- Z 2 ... 計測中心軸
- 2 1 ... 選択板
- 2 5 ... 撮像素子
- 3 0 ... 投影光学系
- 4 5 ... 撮像信号処理部
- Z 1 ... 投影中心軸
- T ... 光束

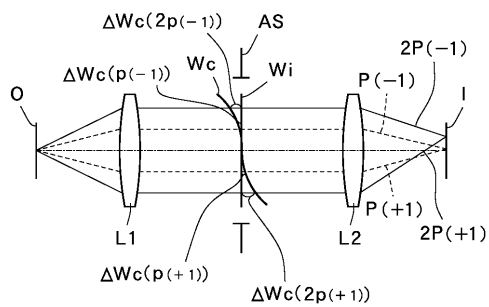
【図1】



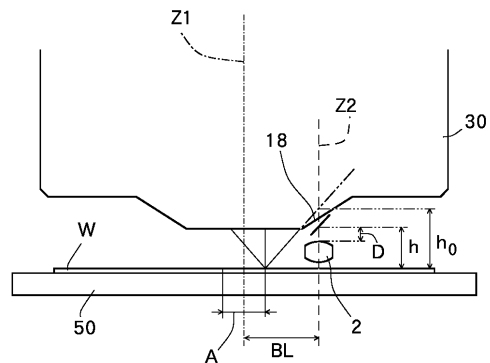
【図2】



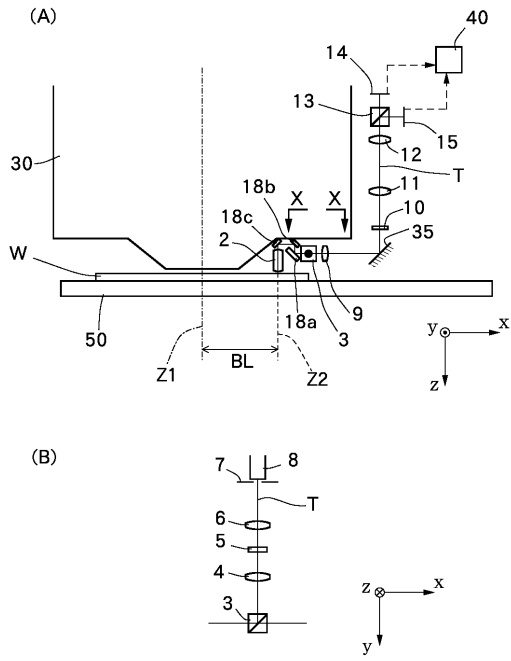
(B)



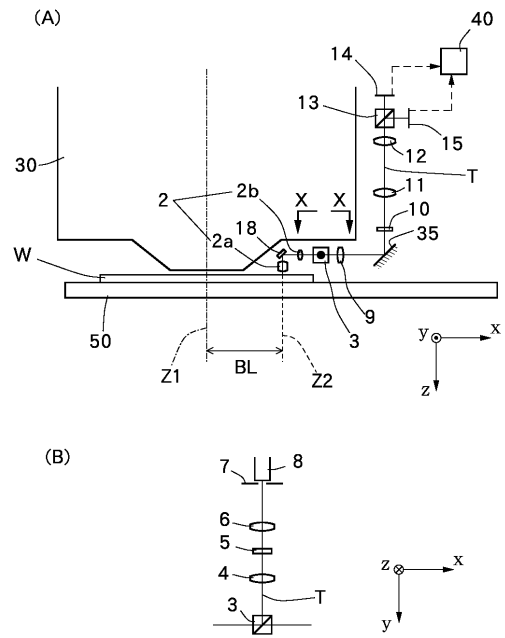
【図3】



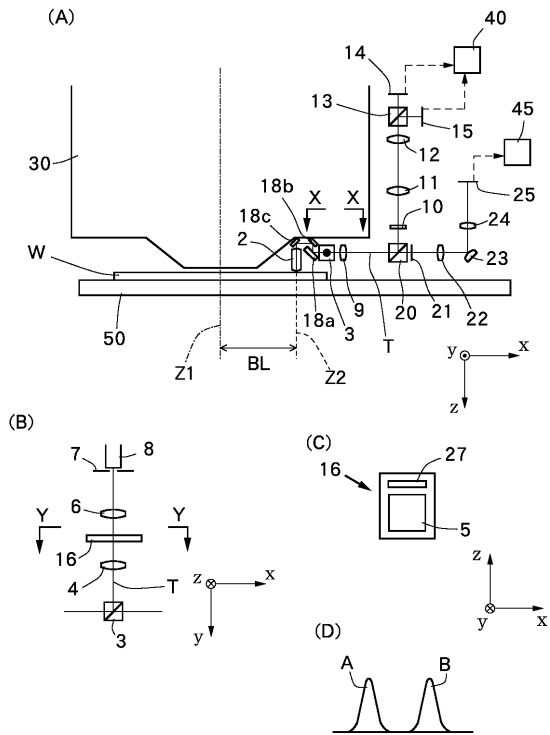
【 図 4 】



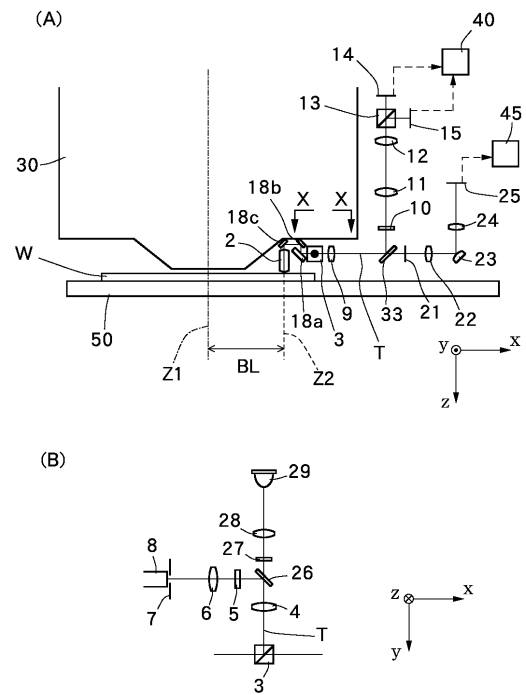
【 図 5 】



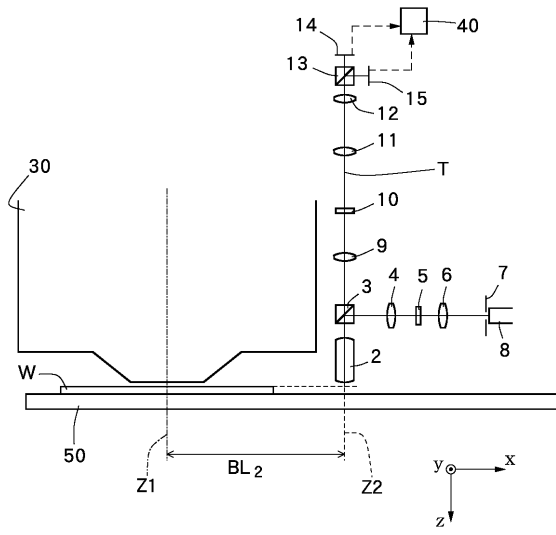
【 図 6 】



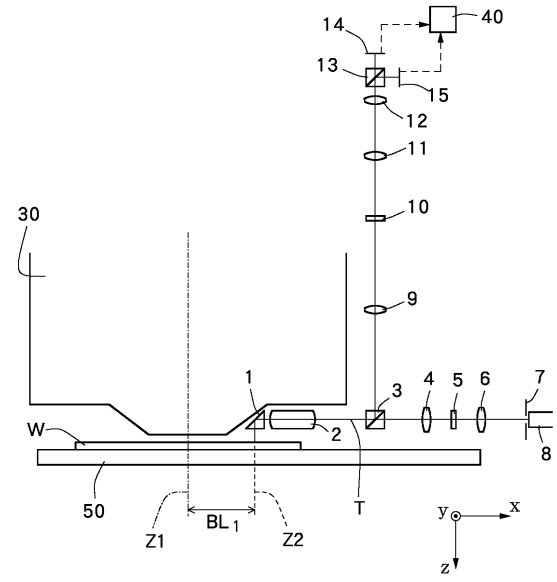
【 図 7 】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平09 - 049781 (JP, A)
特開平08 - 195336 (JP, A)
特開平07 - 142310 (JP, A)
特開平11 - 297600 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/027、21/30、21/46