

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

実質的に二次元平面に沿って移動体を駆動する移動体駆動方法であって、

前記移動体の前記二次元平面に垂直な方向での位置変化に応じて、計測対象物との光学的な位置関係を維持するように移動する移動部材を含む第 1 センサと、前記移動部材の基準点からの変位を検出する第 2 センサとを含むセンサヘッドがそれぞれ配置された複数の検出位置を有し、前記複数のセンサヘッドを用いて、前記各検出位置で、前記二次元平面に実質的に平行な前記移動体の一面の、前記二次元平面に平行な基準面を基準とする前記二次元平面と垂直な方向の位置情報を検出する検出装置を用いて、前記移動体の前記二次元平面と垂直な方向の位置及び前記二次元平面に対する傾斜を計測する第 1 工程と、

前記移動体の前記二次元平面に垂直な方向の位置及び前記二次元平面に対する傾斜が切り換えの前後で連続になるように、前記移動体の位置及び姿勢の制御に用いるセンサヘッド組を、該センサヘッド組とは少なくとも 1 つが異なるセンサヘッドを含む別のセンサヘッド組に切り換える第 2 工程と、を含み、

前記第 2 工程は、前記別のセンサヘッド組に含まれる前記異なるセンサヘッドについて、前記第 2 センサの計測値が、前記移動体の位置及び姿勢に基づいて求められる予測値と一致するように、前記移動部材が駆動される第 1 状態で待機させることを含む復帰処理を行うことで、前記別のセンサヘッド組に切り換える移動体駆動方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の移動体駆動方法において、

前記復帰処理は、さらに、前記移動体の移動により、前記第 1 状態にある前記異なるセンサヘッドの前記移動部材が前記計測対象物との光学的な位置関係を維持可能な状態になるのを確認してから、前記異なるセンサヘッドを前記第 1 状態から、前記移動部材が計測対象物との光学的な位置関係を維持するように移動する第 2 状態に移行させることを含む移動体駆動方法。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の移動体駆動方法において、

前記第 2 工程では、前記移動体の位置及び姿勢の制御に用いる複数のセンサヘッドを前記移動体の前記二次元平面内での位置情報に基づいて特定し、特定した複数のセンサヘッドが現在前記移動体の位置及び姿勢の制御に用いられているセンサヘッド組の複数のセンサヘッドと一致しているか否かを判断し、両者が一致していない場合に、特定した複数のセンサヘッドのうち現在前記移動体の位置及び姿勢の制御に用いられていない特定センサヘッドを前記異なるセンサヘッドとして特定する移動体駆動方法。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の移動体駆動方法において、

前記第 2 工程では、前記移動体の位置・姿勢に基づいて、前記異なるセンサヘッドの計測値を予測し、該予測された計測値を再現するように、前記異なるセンサヘッドのオフセットを決定することで、切り換え前後で前記移動体の位置及び姿勢を一致させる座標つなぎを行う移動体駆動方法。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の移動体駆動方法において、

前記センサヘッド組の切り換えは、切り換え後にのみ使用されるセンサヘッドが被検出領域に対向してから、切り換え後に使用されなくなるセンサヘッドが前記被検出領域から外れるまでの間に行なわれる移動体駆動方法。

【請求項 6】

移動面に沿って移動可能な移動体上に物体を載置する工程と、

前記物体に対してパターンを形成するため、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の移動体駆動方法により前記移動体を駆動する工程と、を含むパターン形成方法。

【請求項 7】

パターン形成工程を含むデバイス製造方法であって、

10

20

30

40

50

前記パターン形成工程では、請求項 6 に記載のパターン形成方法を用いて物体上にパターンを形成するデバイス製造方法。

【請求項 8】

エネルギービームの照射によって物体にパターンを形成する露光方法であって、前記エネルギービームと前記物体との相対移動のために、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の移動体駆動方法を用いて、前記物体を載置する移動体を駆動する露光方法。

【請求項 9】

実質的に二次元平面に沿って移動体を駆動する移動体駆動システムであって、前記移動体の前記二次元平面に垂直な方向での位置変化に応じて、計測対象物との光学的な位置関係を維持するように移動する移動部材を含む第 1 センサと、前記移動部材の基準点からの変位を検出する第 2 センサとを含むセンサヘッドがそれぞれ配置された複数の検出位置を有し、前記複数のセンサヘッドを用いて、前記各検出位置で、前記二次元平面に実質的に平行な前記移動体の一面の、前記二次元平面に平行な基準面を基準とする前記二次元平面と垂直な方向の位置情報を検出する検出装置と、

10

前記移動体の移動中には、前記検出装置の複数のセンサヘッドの出力に基づいて、前記移動体の前記二次元平面と垂直な方向の位置及び前記二次元平面に対する傾斜を計測するとともに、前記移動体の前記二次元平面に垂直な方向の位置及び前記二次元平面に対する傾斜が切り換えの前後で連続になるように、前記移動体の位置及び姿勢制御に用いるセンサヘッド組を、前記センサヘッド組とは少なくとも 1 つが異なるセンサヘッドを含む別のセンサヘッド組に切り換える制御装置と、を備え、

20

前記制御装置は、前記別のセンサヘッド組に含まれる前記異なるセンサヘッドについて、前記第 2 センサの計測値が、前記移動体の位置及び姿勢に基づいて求められる予測値と一致するように、前記移動部材が駆動される第 1 状態で待機させることを含む復帰処理を行うことで、前記別のセンサヘッド組に切り換える移動体駆動システム。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の移動体駆動システムにおいて、

前記復帰処理は、さらに、前記移動体の移動により、前記第 1 状態にある前記異なるセンサヘッドの前記移動部材が前記計測対象物との光学的な位置関係を維持可能な状態になるのを確認してから、前記異なるセンサヘッドを前記第 1 状態から、前記移動部材が計測対象物との光学的な位置関係を維持するように移動する第 2 状態に移行させることを含む移動体駆動システム。

30

【請求項 11】

請求項 9 又は 10 に記載の移動体駆動システムにおいて、

前記制御装置は、前記センサヘッド組の切り換えのため、前記移動体の位置及び姿勢制御に用いる複数のセンサヘッドを前記移動体の前記二次元面内での位置情報に基づいて特定し、特定した複数のヘッドが現在前記移動体の位置及び姿勢制御に用いられているセンサヘッド組の複数のヘッドと一致しているか否かを判断し、両者が一致していない場合に、特定した複数のセンサヘッドのうち現在前記移動体の位置及び姿勢の制御に用いられていない特定センサヘッドを前記異なるセンサヘッドとして特定する移動体駆動システム。

【請求項 12】

請求項 9 ~ 11 のいずれか一項に記載の移動体駆動システムにおいて、

前記制御装置は、前記移動体の位置・姿勢に基づいて、前記異なるセンサヘッドの計測値を予測し、該予測された計測値を再現するように、前記異なるセンサヘッドのオフセットを決定することで、切り換え前後で前記移動体の位置・姿勢を一致させる座標つなぎを行う移動体駆動システム。

40

【請求項 13】

請求項 12 に記載の移動体駆動システムにおいて、

前記制御装置は、前記座標つなぎを複数のセンサヘッド間で連続して行う際に、個々のセンサヘッドの第 2 センサの出力と座標つなぎ結果との差を常時計算し、前記検出装置の計測結果を用いて、前記移動体を位置合わせすべき目標値を更新する移動体駆動システム

50

。

【請求項 1 4】

請求項 9 ~ 1 3 のいずれか一項に記載の移動体駆動システムにおいて、
前記制御装置は、切り換え後にのみ使用されるセンサヘッドが被検出領域に対向してか
ら、切り換え後に使用されなくなるセンサヘッドが前記被検出領域から外れるまでの間に
、前記センサヘッド組の切り換えを行う移動体駆動システム。

【請求項 1 5】

物体に対するパターン形成のため、物体が載置される移動体を駆動する請求項 9 ~ 1 4
のいずれか一項に記載の移動体駆動システムと、
前記物体上にパターンを生成するパターン生成システムと、を備えるパターン形成装置

10

。

【請求項 1 6】

エネルギービームの照射によって物体にパターンを形成する露光装置であって、
前記物体に前記エネルギービームを照射するパターンニング装置と、
請求項 9 ~ 1 4 のいずれか一項に記載の移動体駆動システムと、を備え、
前記エネルギービームと前記物体との相対移動のために、前記移動体駆動システムによる
前記物体を載置する移動体の駆動を行う露光装置。

【請求項 1 7】

実質的に二次元平面に沿って移動体を駆動する移動体駆動方法であって、
前記移動体の動作領域内に配置された複数のセンサのうちの第 1 センサで前記二次元平
面と垂直な方向の前記移動体の位置を検出し、前記移動体の前記垂直な方向での位置及び
前記二次元平面に対する傾きの少なくとも一方を制御するとともに、
前記移動体の前記二次元平面内での移動に応じて、前記複数のセンサのうち、前記第 1
センサとは異なる第 2 センサによる検出結果を用いた制御を開始する際に、
前記第 1 センサでの検出結果から求められる前記移動体の前記二次元平面に対する傾き
情報を用いて、前記第 2 センサによる検出結果を補正するための補正情報を求める移動体
駆動方法。

20

【請求項 1 8】

少なくとも二次元平面内で移動体を駆動する移動体駆動方法であって、
前記二次元平面と垂直な方向に関する前記移動体の位置情報を、前記二次元平面内の異
なる位置に検出点を有する複数のセンサの少なくとも 1 つで検出し、
前記移動体の移動に伴い、前記 1 つのセンサと異なるセンサとで前記移動体の位置情報
を検出するにあたって、前記 1 つのセンサの検出情報と前記二次元平面に対する前記移動
体の傾斜情報とを用いる移動体駆動方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、移動体駆動方法及び移動体駆動システム、パターン形成方法及び装置、露光
方法及び装置、並びにデバイス製造方法に係り、さらに詳しくは、実質的に二次元平面に
沿って移動体を駆動する移動体駆動方法及び移動体駆動システム、前記移動体駆動方法を
利用したパターン形成方法及び前記移動体駆動システムを備えるパターン形成装置、前記
移動体駆動方法を利用した露光方法及び前記移動体駆動システムを備える露光装置、並び
に前記パターン形成方法を利用したデバイス製造方法に関する。

40

【背景技術】

【0 0 0 2】

従来、半導体素子（集積回路等）、液晶表示素子等の電子デバイス（マイクロデバイス）
を製造するリソグラフィ工程では、ステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置（
いわゆるステッパ）、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置（いわゆるスキャ
ニング・ステッパ（スキャナとも呼ばれる））などが、主として用いられている。

【0 0 0 3】

50

しかるに、被露光基板としてのウエハの表面は、例えばウエハのうねり等によって必ずしも平坦ではない。このため、特にスキャナなどの走査型露光装置では、ウエハ上のあるショット領域にレチクルパターンを走査露光方式で転写する際に、露光領域内に設定された複数の検出点におけるウエハ表面の投影光学系の光軸方向に関する位置情報（面位置情報）を、例えば多点焦点位置検出系（以下、「多点AF系」とも呼ぶ）などを用いて検出し、その検出結果に基づいて、露光領域内でウエハ表面が常時投影光学系の像面に合致する（像面の焦点深度の範囲内となる）ように、ウエハを保持するテーブル又はステージの光軸方向の位置及び傾きを制御する、いわゆるフォーカス・レベリング制御が行われている（例えば特許文献1参照）。

【0004】

また、ステッパ、又はスキャナなどでは、集積回路の微細化に伴い使用される露光光の波長は年々短波長化し、また、投影光学系の開口数も次第に増大（大NA化）しており、これによって解像力の向上が図られている。この一方、露光光の短波長化及び投影光学系の大NA化によって、焦点深度が非常に狭くなってきたため、露光動作時のフォーカスマージンが不足するおそれが生じていた。そこで、実質的に露光波長を短くして、かつ空气中に比べて焦点深度を実質的に大きく（広く）する方法として、液浸法を利用した露光装置が、最近注目されるようになってきた（例えば特許文献2参照）。

【0005】

しかしながら、この液浸法を利用した露光装置、あるいはその他の、投影光学系の下端面とウエハとの間の距離（ワーキングディスタンス）が狭い露光装置では、上述した多点AF系を投影光学系の近傍に配置することは困難である。この一方、露光装置には、高精度な露光を実現するために高精度なウエハの面位置制御を実現することが要請される。

【0006】

また、ステッパ、又はスキャナ等では、被露光基板（例えばウエハ）を保持するステージ（テーブル）の位置計測は、高分解能なレーザ干渉計を用いて行われるのが、一般的である。しかるに、ステージの位置を計測するレーザ干渉のビームの光路長は数百mm程度以上もあり、また、半導体素子の高集積化に伴う、パターンの微細化により、より高精度なステージの位置制御が要求されるようになってきた。このため、今や、レーザ干渉計のビーム光路上の雰囲気温度揺らぎ（空気揺らぎ）に起因する計測値の短期的な変動が無視できなくなりつつある。

【0007】

そこで、テーブルの面位置情報を複数の検出位置（検出点）で検出する検出装置を用いて、露光中のウエハのフォーカス・レベリング制御を含む、テーブルの光軸方向及び光軸に直交する面に対する傾斜方向の位置制御を、干渉計とは別に、あるいは干渉計とともに行なうことが考えられる。しかし、かかる場合には、そのテーブルの少なくとも露光時の移動範囲の全域に渡ってテーブルの光軸方向の位置、傾斜を計測可能し、かつ移動中のテーブルの急激な位置及び姿勢の変化を防止するため、例えば隣接する検出位置での検出値同士の引継ぎを円滑に行なわなければならない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開平6-283403号公報

【特許文献2】国際公開第2004/053955号

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の第1の態様によれば、実質的に二次元平面に沿って移動体を駆動する移動体駆動方法であって、前記移動体の前記二次元平面に垂直な方向での位置変化に応じて、計測対象物との光学的な位置関係を維持するように移動する移動部材を含む第1センサと、前記移動部材の基準点からの変位を検出する第2センサとを含むセンサヘッドがそれぞれ配

10

20

30

40

50

置された複数の検出位置を有し、前記複数のセンサヘッドを用いて、前記各検出位置で、前記二次元平面に実質的に平行な前記移動体の一面の、前記二次元平面に平行な基準面を基準とする前記二次元平面と垂直な方向の位置情報を検出する検出装置を用いて、前記移動体の前記二次元平面と垂直な方向の位置及び前記二次元平面に対する傾斜を計測する第1工程と、前記移動体の前記二次元平面に垂直な方向の位置及び前記二次元平面に対する傾斜が切り換えの前後で連続になるように、前記移動体の位置及び姿勢の制御に用いるセンサヘッド組を、該センサヘッド組とは少なくとも1つが異なるセンサヘッドを含む別のセンサヘッド組に切り換える第2工程と、を含み、前記第2工程は、前記別のセンサヘッド組に含まれる前記異なるセンサヘッドについて、前記第2センサの計測値が、前記移動体の位置及び姿勢に基づいて求められる予測値と一致するように、前記移動部材が駆動される第1状態で待機させることを含む復帰処理を行うことで、前記別のセンサヘッド組に切り換える第1の移動体駆動方法が提供される。

10

【0010】

これによれば、検出装置を用いて、移動体の二次元平面と垂直な方向の位置及び二次元平面に対する傾斜が計測される。また、動体の二次元平面に垂直な方向の位置及び二次元平面に対する傾斜が切り換えの前後で連続になるように、移動体の位置及び姿勢の制御に用いるセンサヘッド組が、センサヘッド組とは少なくとも1つが異なるセンサヘッドを含む別のセンサヘッド組に切り換えられる。この切換えにおいて、その異なるセンサヘッドについて、第2センサの計測値が、移動体の位置及び姿勢に基づいて求められる予測値と一致するように、移動部材が駆動される第1状態で待機させることを含む復帰処理が行われる。これにより、移動体のXY位置に応じて使用するセンサヘッドが逐次切り換えられるにもかかわらず、切り換えの前後で移動体の二次元平面と垂直な方向の位置及び二次元平面に対する傾斜が保存され、移動体を高精度で駆動することが可能となる。

20

【0011】

本発明の第2の態様によれば、移動面に沿って移動可能な移動体上に物体を載置する工程と、前記物体に対してパターンを形成するため、本発明の移動体駆動方法により前記移動体を駆動する工程と、を含むパターン形成方法が提供される。

【0012】

これによれば、本発明の移動体駆動方法を用いて精度良く駆動される移動体上に載置された物体にパターンを形成することで、物体上に精度良くパターンを形成することが可能になる。

30

【0013】

本発明の第3の態様によれば、パターン形成工程を含むデバイス製造方法であって、前記パターン形成工程では、本発明のパターン形成方法を用いて物体上にパターンを形成するデバイス製造方法が提供される。

【0014】

本発明の第4の態様によれば、エネルギービームの照射によって物体にパターンを形成する露光方法であって、前記エネルギービームと前記物体との相対移動のために、本発明の移動体駆動方法を用いて、前記物体を載置する移動体を駆動する露光方法が提供される。

【0015】

これによれば、物体に照射されるエネルギービームと前記物体との相対移動のために、本発明の移動体駆動方法を用いて、前記物体を載置する移動体が精度良く駆動される。従って、走査露光により、物体上に精度良くパターンを形成することが可能になる。

40

【0016】

本発明の第5の態様によれば、実質的に二次元平面に沿って移動体を駆動する移動体駆動システムであって、前記移動体の前記二次元平面に垂直な方向での位置変化に応じて、計測対象物との光学的な位置関係を維持するように移動する移動部材を含む第1センサと、前記移動部材の基準点からの変位を検出する第2センサとを含むセンサヘッドがそれぞれ配置された複数の検出位置を有し、前記複数のセンサヘッドを用いて、前記各検出位置で、前記二次元平面に実質的に平行な前記移動体の一面の、前記二次元平面に平行な基準

50

面を基準とする前記二次元平面と垂直な方向の位置情報を検出する検出装置と、前記移動体の移動中には、前記検出装置の複数のセンサヘッドの出力に基づいて、前記移動体の前記二次元平面と垂直な方向の位置及び前記二次元平面に対する傾斜を計測するとともに、前記移動体の前記二次元平面に垂直な方向の位置及び前記二次元平面に対する傾斜が切り換えの前後で連続になるように、前記移動体の位置及び姿勢制御に用いるセンサヘッド組を、前記センサヘッド組とは少なくとも1つが異なるセンサヘッドを含む別のセンサヘッド組に切り換える制御装置と、を備え、前記制御装置は、前記別のセンサヘッド組に含まれる前記異なるセンサヘッドについて、前記第2センサの計測値が、前記移動体の位置及び姿勢に基づいて求められる予測値と一致するように、前記移動部材が駆動される第1状態で待機させることを含む復帰処理を行うことで、前記別のセンサヘッド組に切り換える移動体駆動システムが提供される。

10

【0017】

これによれば、制御装置により、検出装置を用いて、移動体の二次元平面と垂直な方向の位置及び二次元平面に対する傾斜が計測される。また、制御装置により、移動体の二次元平面に垂直な方向の位置及び二次元平面に対する傾斜が切り換えの前後で連続になるように、移動体の位置及び姿勢の制御に用いるセンサヘッド組が、センサヘッド組とは少なくとも1つが異なるセンサヘッドを含む別のセンサヘッド組に切り換えられる。この切り換えにおいて、その異なるセンサヘッドについて、第2センサの計測値が、移動体の位置及び姿勢に基づいて求められる予測値と一致するように、移動部材が駆動される第1状態で待機させることを含む復帰処理が行われる。これにより、移動体のXY位置に応じて使用するセンサヘッドが逐次切り換えられるにもかかわらず、切り換えの前後で移動体の二次元平面と垂直な方向の位置及び二次元平面に対する傾斜が保存され、移動体を高精度で駆動することが可能となる。

20

【0018】

本発明の第6の態様によれば、物体に対するパターン形成のため、物体が載置される移動体を駆動する本発明の移動体駆動システムと、前記物体上にパターンを生成するパターン生成システムと、を備えるパターン形成装置が提供される。

【0019】

これによれば、本発明の移動体駆動システムにより精度良く駆動される移動体上の物体にパターンニング装置によりパターンを生成することで、物体上に精度良くパターンを形成することが可能になる。

30

【0020】

本発明の第7の態様によれば、エネルギービームの照射によって物体にパターンを形成する露光装置であって、前記物体に前記エネルギービームを照射するパターンニング装置と、本発明の移動体駆動システムと、を備え、前記エネルギービームと前記物体との相対移動のために、前記移動体駆動システムによる前記物体を載置する移動体の駆動を行う露光装置が提供される。

【0021】

これによれば、パターンニング装置から物体に照射されるエネルギービームと前記物体との相対移動のために、本発明の移動体駆動システムかにより前記物体を載置する移動体が精度良く駆動される。従って、走査露光により、物体上に精度良くパターンを形成することが可能になる。

40

【0022】

本発明の第8の態様によれば、実質的に二次元平面に沿って移動体を駆動する移動体駆動方法であって、前記移動体の動作領域内に配置された複数のセンサのうちの第1センサで前記二次元平面と垂直な方向の前記移動体の位置を検出し、前記移動体の前記垂直な方向での位置及び前記二次元平面に対する傾きの少なくとも一方を制御するとともに、前記移動体の前記二次元平面での移動に応じて、前記複数のセンサのうち、前記第1センサとは異なる第2センサによる検出結果を用いた制御を開始する際に、前記第1センサでの検出結果から求められる前記移動体の前記二次元平面に対する傾き情報を用いて、前記第2

50

センサによる検出結果を補正するための補正情報を求めることを第2の移動体駆動方法が提供される。

【0023】

本発明の第9の態様によれば、少なくとも二次元平面内で移動体を駆動する移動体駆動方法であって、前記二次元平面と垂直な方向に関する前記移動体の位置情報を、前記二次元平面内の異なる位置に検出点を有する複数のセンサの少なくとも1つで検出し、前記移動体の移動に伴い、前記1つのセンサと異なるセンサとで前記移動体の位置情報を検出するにあたって、前記1つのセンサの検出情報と前記二次元平面に対する前記移動体の傾斜情報とを用いる第3の移動体駆動方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】一実施形態に係る露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】図1のステージ装置を示す平面図である。

【図3】図1の露光装置が備える各種計測装置（エンコーダ、アライメント系、多点AF系、Zヘッドなど）の配置を示す平面図である。

【図4】図4（A）はウエハステージWSTを示す平面図、図4（B）はウエハステージWSTを示す一部断面した概略側面図である。

【図5】図5（A）は計測ステージMSTを示す平面図、図5（B）は計測ステージMSTを示す一部断面した概略側面図である。

【図6】一実施形態に係る露光装置の制御系の構成を概略的に示すブロック図である。

【図7】Zヘッドの構成の一例を概略的に示す図である。

【図8】図8（A）は、フォーカスセンサの構成の一例を示す図、図8（B）及び図8（C）は、図8（A）の円筒レンズの形状及び機能を説明するための図である。

【図9】図9（A）は、四分割受光素子の検出領域の分割の様子を示す図、図9（B）、図9（C）及び図9（D）は、それぞれ、前ピン状態、理想フォーカス状態、及び後ピン状態での、反射ビームLB₂の検出面上での断面形状を示す図である。

【図10】図10（A）～図10（C）は、一実施形態に係る露光装置で行われるフォーカスマッピングについて説明するための図である。

【図11】図11（A）及び図11（B）は、一実施形態に係る露光装置で行われるフォーカスキャリブレーションについて説明するための図である。

【図12】図12（A）及び図12（B）は、一実施形態に係る露光装置で行われるAFセンサ間オフセット補正について説明するための図である。

【図13】ウエハステージ上のウエハに対するステップ・アンド・スキャン方式の露光が行われている状態のウエハステージ及び計測ステージの状態を示す図である。

【図14】ウエハのアンローディング時（計測ステージがSec-BCHK（インターバル）を行う位置に到達したとき）における両ステージの状態を示す図である。

【図15】ウエハのローディング時における両ステージの状態を示す図である。

【図16】干渉計によるステージサーボ制御からエンコーダによるステージサーボ制御への切り換え時（ウエハステージがPri-BCHKの前半の処理を行う位置へ移動したとき）における、両ステージの状態を示す図である。

【図17】アライメント系AL₁、AL₂₂、AL₂₃を用いて、3つのファーストアライメントショット領域に付設されたアライメントマークを同時検出しているときのウエハステージと計測ステージとの状態を示す図である。

【図18】フォーカスキャリブレーション前半の処理が行われているときのウエハステージと計測ステージとの状態を示す図である。

【図19】アライメント系AL₁、AL₂₁～AL₂₄を用いて、5つのセカンドアライメントショット領域に付設されたアライメントマークを同時検出しているときのウエハステージと計測ステージとの状態を示す図である。

【図20】Pri-BCHK後半の処理及びフォーカスキャリブレーション後半の処理の少なくとも一方が行われているときのウエハステージと計測ステージとの状態を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 2 1】アライメント系 $AL1$, $AL2_1 \sim AL2_4$ を用いて、5つのサードアライメントショット領域に付設されたアライメントマークを同時検出しているときのウエハステージと計測ステージとの状態を示す図である。

【図 2 2】アライメント系 $AL1$, $AL2_2$, $AL2_3$ を用いて、3つのフォーサアライメントショット領域に付設されたアライメントマークを同時検出しているときのウエハステージと計測ステージとの状態を示す図である。

【図 2 3】フォーカスマッピングが終了したときのウエハステージと計測ステージとの状態を示す図である。

【図 2 4】図 2 4 (A) 及び図 2 4 (B) は、Zヘッドの計測結果を用いた、ウエハステージ WST の Z 位置と傾斜量の算出方法について説明するための図である。

【図 2 5】図 2 5 (A) 及び図 2 5 (B) は、ウエハステージの移動に伴って、Yスケールに対向する Zヘッドが切り換えられる様子を示す図である。

【図 2 6】図 2 6 (A) ~ 図 2 6 (E) は、Zヘッドの切り換え手順を説明するための図である。

【図 2 7】図 2 7 (A) ~ 図 2 7 (C) は、スケールサーボとフォーカサーボの 2 状態を利用した、Zヘッドの復帰手順を説明するための図である。

【図 2 8】図 2 8 (A) 及び図 2 8 (B) は、ウエハテーブルの位置制御に用いられる Zヘッドの切り換え処理を説明するための図である。

【図 2 9】ウエハステージ WST の位置制御、Zヘッドの計測値の取り込み、及び Zヘッド切り換えのタイミングを概念的に示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下、本発明の一実施形態を図 1 ~ 図 2 9 に基づいて説明する。

【0026】

図 1 には、一実施形態の露光装置 100 の構成が概略的に示されている。露光装置 100 は、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置、すなわちいわゆるスキャナである。後述するように本実施形態では、投影光学系 PL が設けられており、以下においては、この投影光学系 PL の光軸 AX と平行な方向を Z 軸方向、これに直交する面内でレチクルとウエハとが相対走査される方向を Y 軸方向、Z 軸及び Y 軸に直交する方向を X 軸方向とし、X 軸、Y 軸、及び Z 軸回りの回転（傾斜）方向をそれぞれ x 、 y 、及び z 方向として説明を行う。

【0027】

露光装置 100 は、照明系 10、該照明系 10 からの露光用照明光（以下、照明光、又は露光光と呼ぶ） IL により照明されるレチクル R を保持するレチクルステージ RST 、レチクル R から射出された照明光 IL をウエハ W 上に投射する投影光学系 PL を含む投影ユニット PU 、ウエハステージ WST 及び計測ステージ MST を有するステージ装置 50、及びこれらの制御系等を備えている。ウエハステージ WST 上には、ウエハ W が載置されている。

【0028】

照明系 10 は、例えば特開 2001 - 313250 号公報（対応する米国特許出願公開第 2003 / 0025890 号明細書）などに開示されるように、光源と、オプティカルインテグレート等を含む照度均一化光学系、レチクルブラインド等（いずれも不図示）を有する照明光学系とを含む。この照明系 10 は、レチクルブラインド（マスキングシステム）で規定されたレチクル R 上のスリット状の照明領域 IAR を照明光（露光光） IL によりほぼ均一な照度で照明する。ここで、照明光 IL としては、一例として ArF エキシマレーザ光（波長 193nm ）が用いられている。また、オプティカルインテグレートとしては、例えばフライアイレンズ、ロッドインテグレート（内面反射型インテグレート）あるいは回折光学素子などを用いることができる。

【0029】

レチクルステージ RST 上には、回路パターンなどがそのパターン面（図 1 における下

10

20

30

40

50

面)に形成されたレチクルRが、例えば真空吸着により固定されている。レチクルステージRSTは、例えばリニアモータ等を含むレチクルステージ駆動系11(図1では不図示、図6参照)によって、XY平面内で微小駆動可能であるとともに、走査方向(図1における紙面内左右方向であるY軸方向)に指定された走査速度で駆動可能となっている。

【0030】

レチクルステージRSTのXY平面(移動面)内の位置情報(z方向の位置(回転)情報を含む)は、レチクルレーザ干渉計(以下、「レチクル干渉計」という)116によって、移動鏡15(実際には、Y軸方向に直交する反射面を有するY移動鏡(あるいは、レトロリフレクタ)とX軸方向に直交する反射面を有するX移動鏡とが設けられている)を介して、例えば0.25nm程度の分解能で常時検出される。レチクル干渉計116の計測値は、主制御装置20(図1では不図示、図6参照)に送られる。主制御装置20は、レチクル干渉計116の計測値に基づいてレチクルステージRSTのX軸方向、Y軸方向及びz方向の位置を算出するとともに、この算出結果に基づいてレチクルステージ駆動系11を制御することで、レチクルステージRSTの位置(及び速度)を制御する。なお、移動鏡15に代えて、レチクルステージRSTの端面を鏡面加工して反射面(移動鏡15の反射面に相当)を形成することとしても良い。また、レチクル干渉計116はZ軸、x及びy方向の少なくとも1つに関するレチクルステージRSTの位置情報も計測可能として良い。

10

【0031】

投影ユニットPUは、レチクルステージRSTの図1における下方に配置されている。投影ユニットPUは、鏡筒40と、鏡筒40内に所定の位置関係で保持された複数の光学素子を有する投影光学系PLとを含む。投影光学系PLとしては、例えばZ軸方向と平行な光軸AXに沿って配列される複数のレンズ(レンズエレメント)から成る屈折光学系が用いられている。投影光学系PLは、例えば両側テレセントリックで所定の投影倍率(例えば1/4倍、1/5倍又は1/8倍など)を有する。このため、照明系10からの照明光ILによって照明領域IARが照明されると、投影光学系PLの第1面(物体面)とパターン面がほぼ一致して配置されるレチクルRを通過した照明光ILにより、投影光学系PL(投影ユニットPU)を介してその照明領域IAR内のレチクルRの回路パターンの縮小像(回路パターンの一部の縮小像)が、その第2面(像面)側に配置される、表面にレジスト(感光剤)が塗布されたウエハW上の前記照明領域IARに共役な領域(以下、露光領域とも呼ぶ)IAに形成される。そして、レチクルステージRSTとウエハステージWSTとの同期駆動によって、照明領域IAR(照明光IL)に対してレチクルを走査方向(Y軸方向)に相対移動させるとともに、露光領域IA(照明光IL)に対してウエハWを走査方向(Y軸方向)に相対移動させることで、ウエハW上の1つのショット領域(区画領域)の走査露光が行われ、そのショット領域にレチクルのパターンが転写される。即ち、本実施形態では照明系10、レチクル及び投影光学系PLによってウエハW上にパターンが生成され、照明光ILによるウエハW上の感応層(レジスト層)の露光によってウエハW上にそのパターンが形成される。

20

30

【0032】

なお、不図示ではあるが、投影ユニットPUは、防振機構を介して3本の支柱で支持される鏡筒定盤に搭載されている。ただし、これに限らず、例えば国際公開第2006/038952号に開示されているように、投影ユニットPUの上方に配置される不図示のメインフレーム部材、あるいはレチクルステージRSTが配置されるベース部材などに対して投影ユニットPUを吊り下げ支持しても良い。

40

【0033】

なお、本実施形態の露光装置100では、液浸法を適用した露光が行われるため、投影光学系PLの開口数NAが実質的に増大することに伴いレチクル側の開口が大きくなる。そこで、ペッツヴァルの条件を満足させ、かつ投影光学系の大型化を避けるために、ミラーとレンズとを含んで構成される反射屈折系(カタディ・オプトリック系)を投影光学系として採用しても良い。また、ウエハWには感応層(レジスト層)だけでなく、例えばウ

50

エ八又は感光層を保護する保護膜（トップコート膜）などを形成しても良い。

【0034】

また、本実施形態の露光装置100では、液浸法を適用した露光を行うため、投影光学系PLを構成する最も像面側（ウエハW側）の光学素子、ここではレンズ（以下、「先端レンズ」ともいう）191を保持する鏡筒40の下端部周囲を取り囲むように、局所液浸装置8の一部を構成するノズルユニット32が設けられている。本実施形態では、ノズルユニット32は、図1に示されるように、その下端面が先端レンズ191の下端面とほぼ面一に設定されている。また、ノズルユニット32は、液体Lqの供給口及び回収口と、ウエハWが対向して配置され、かつ回収口が設けられる下面と、液体供給管31A及び液体回収管31Bとそれぞれ接続される供給流路及び回収流路とを備えている。液体供給管31Aと液体回収管31Bとは、図3に示されるように、平面視（上方から見て）でX軸方向及びY軸方向に対して約45度傾斜し、投影ユニットPUの中心（投影光学系PLの光軸AX、本実施形態では前述の露光領域IAの中心とも一致）を通りかつY軸と平行な直線（基準軸）LVに関して対称な配置となっている。

10

【0035】

液体供給管31Aには、その一端が液体供給装置5（図1では不図示、図6参照）に接続された不図示の供給管の他端が接続されており、液体回収管31Bには、その一端が液体回収装置6（図1では不図示、図6参照）に接続された不図示の回収管の他端が接続されている。

20

【0036】

液体供給装置5は、液体を供給するためのタンク、加圧ポンプ、温度制御装置、並びに液体供給管31Aに対する液体の供給・停止を制御するためのバルブ等を含んでいる。バルブとしては、例えば液体の供給・停止のみならず、流量の調整も可能となるように、流量制御弁を用いることが望ましい。前記温度制御装置は、タンク内の液体の温度を、例えば露光装置が収納されているチャンバ（不図示）内の温度と同程度の温度に調整する。なお、タンク、加圧ポンプ、温度制御装置、バルブなどは、そのすべてを露光装置100で備えている必要はなく、少なくとも一部を露光装置100が設置される工場などの設備で代替することもできる。

【0037】

液体回収装置6は、液体を回収するためのタンク及び吸引ポンプ、並びに液体回収管31Bを介した液体の回収・停止を制御するためのバルブ等を含んでいる。バルブとしては、液体供給装置5のバルブと同様に流量制御弁を用いることが望ましい。なお、タンク、吸引ポンプ、バルブなどは、そのすべてを露光装置100で備えている必要はなく、少なくとも一部を露光装置100が設置される工場などの設備で代替することもできる。

30

【0038】

本実施形態では、上記の液体として、ArFエキシマレーザー光（波長193nmの光）が透過する純水（以下、特に必要な場合を除いて、単に「水」と記述する）を用いるものとする。純水は、半導体製造工場等で容易に大量に入手できると共に、ウエハ上のフォトリソレジスト及び光学レンズ等に対する悪影響がないという利点がある。

【0039】

ArFエキシマレーザー光に対する水の屈折率nは、ほぼ1.44である。この水の中では、照明光ILの波長は、 $193\text{nm} \times 1/n = \text{約}134\text{nm}$ に短波長化される。

40

【0040】

液体供給装置5及び液体回収装置6は、それぞれコントローラを具備しており、それぞれのコントローラは、主制御装置20によって制御される（図6参照）。液体供給装置5のコントローラは、主制御装置20からの指示に応じ、液体供給管31Aに接続されたバルブを所定開度で開き、液体供給管31A、供給流路、及び供給口を介して先端レンズ191とウエハWとの間に液体（水）を供給する。また、このとき、液体回収装置6のコントローラは、主制御装置20からの指示に応じ、液体回収管31Bに接続されたバルブを所定開度で開き、回収口、回収流路、及び液体回収管31Bを介して、先端レンズ191

50

とウエハWとの間から液体回収装置6（液体のタンク）の内部に液体（水）を回収する。このとき、主制御装置20は、先端レンズ191とウエハWとの間に供給される水の量と、回収される水の量とが常に等しくなるように、液体供給装置5のコントローラ、液体回収装置6のコントローラに対して指令を与える。従って、先端レンズ191とウエハWとの間に、一定量の液体（水） Lq （図1参照）が保持される。この場合、先端レンズ191とウエハWとの間に保持された液体（水） Lq は、常に入れ替わっている。

【0041】

上記の説明から明らかなように、本実施形態では、ノズルユニット32、液体供給装置5、液体回収装置6、液体供給管31A及び液体回収管31B等を含み、局所液浸装置8が構成されている。なお、局所液浸装置8の一部、例えば少なくともノズルユニット32は、投影ユニットPUを保持するメインフレーム（前述の鏡筒定盤を含む）に吊り下げ支持されても良いし、メインフレームとは別のフレーム部材に設けても良い。あるいは、前述の如く投影ユニットPUが吊り下げ支持される場合は、投影ユニットPUと一体にノズルユニット32を吊り下げ支持しても良いが、本実施形態では投影ユニットPUとは独立に吊り下げ支持される計測フレームにノズルユニット32を設けている。この場合、投影ユニットPUを吊り下げ支持していなくても良い。

10

【0042】

なお、投影ユニットPU下方に計測ステージMSTが位置する場合にも、上記と同様に後述する計測テーブルと先端レンズ191との間に水を満たすことが可能である。

【0043】

なお、上記の説明では、一例として液体供給管（ノズル）と液体回収管（ノズル）とがそれぞれ1つずつ設けられているものとしたが、これに限らず、周囲の部材との関係を考慮しても配置が可能であれば、例えば、国際公開第99/49504号に開示されるように、ノズルを多数有する構成を採用することとしても良い。要は、投影光学系PLを構成する最下端の光学部材（先端レンズ）191とウエハWとの間に液体を供給することができるのであれば、その構成はいかなるものであっても良い。例えば、国際公開第2004/053955号に開示されている液浸機構、あるいは欧州特許出願公開第1420298号公報に開示されている液浸機構なども本実施形態の露光装置に適用することができる。

20

【0044】

図1に戻り、ステージ装置50は、ベース盤12の上方に配置されたウエハステージWST及び計測ステージMST、これらのステージWST, MSTの位置情報を計測する計測システム200（図6参照）、及びステージWST, MSTを駆動するステージ駆動系124（図6参照）などを備えている。計測システム200は、図6に示されるように、干渉計システム118、エンコーダシステム150及び面位置計測システム180などを含む。なお、干渉計システム118及びエンコーダシステム150等の構成等については、後に詳述する。

30

【0045】

図1に戻り、ウエハステージWST, 計測ステージMSTそれぞれの底面には、不図示の非接触軸受、例えば真空予圧型空気静圧軸受（以下、「エアパッド」と呼ぶ）が複数ヶ所に設けられており、これらのエアパッドからベース盤12の上面に向けて噴出された加圧空気の静圧により、ベース盤12の上方にウエハステージWST, 計測ステージMSTが数 μm 程度のクリアランスを介して非接触で支持されている。また、ステージWST, MSTは、リニアモータ等を含むステージ駆動系124（図6参照）によって、独立してXY平面内で駆動可能である。

40

【0046】

ウエハステージWSTは、ステージ本体91と、ステージ本体91上に搭載されたウエハテーブルWTBとを含む。このウエハテーブルWTB及びステージ本体91は、リニアモータ及びZ・レベリング機構（例えばボイスコイルモータなどを含む）を含む駆動系によって、ベース盤12に対し、6自由度方向（X、Y、Z、 x 、 y 、 z ）に駆動可

50

能に構成されている。

【0047】

ウエハテーブルW T B上には、ウエハWを真空吸着等によって保持するウエハホルダ（不図示）が設けられている。ウエハホルダはウエハテーブルW T Bと一体に形成しても良いが、本実施形態ではウエハホルダとウエハテーブルW T Bとを別々に構成し、例えば真空吸着などによってウエハホルダをウエハテーブルW T Bの凹部内に固定している。また、ウエハテーブルW T Bの上には、ウエハホルダ上に載置されるウエハWの表面とほぼ面一となる、液体L qに対して撥液化処理された表面（撥液面）を有し、かつ外形（輪郭）が矩形でその中央部にウエハホルダ（ウエハの載置領域）よりも一回り大きな円形の開口が形成されたプレート（撥液板）28が設けられている。プレート28は、低熱膨張率の材料、例えばガラス又はセラミックス（例えばショット社のゼロデュア（商品名）、 Al_2O_3 あるいはTiCなど）から成り、その表面には、例えばフッ素樹脂材料、ポリ四氟化エチレン（テフロン（登録商標））等のフッ素系樹脂材料、アクリル系樹脂材料あるいはシリコン系樹脂材料などにより撥液膜が形成される。さらにプレート28は、図4（A）のウエハテーブルW T B（ウエハステージW S T）の平面図に示されるように、円形の開口を囲む、外形（輪郭）が矩形の第1撥液領域28aと、第1撥液領域28aの周囲に配置される矩形枠状（環状）の第2撥液領域28bとを有する。第1撥液領域28aは、例えば露光動作時、ウエハの表面からはみ出す液浸領域14（例えば図13参照）の少なくとも一部が形成され、第2撥液領域28bは、後述のエンコーダシステムのためのスケールが形成される。なお、プレート28はその表面の少なくとも一部がウエハの表面と同一面となっていなくても良い、すなわち異なる高さであっても良い。また、プレート28は単一のプレートでも良いが、本実施形態では複数のプレート、例えば第1及び第2撥液領域28a、28bにそれぞれ対応する第1及び第2撥液板を組み合わせ構成する。本実施形態では、前述の如く液体L qとして水を用いるので、以下では第1及び第2撥液領域28a、28bをそれぞれ第1及び第2撥水板28a、28bとも呼ぶ。

10

20

【0048】

この場合、内側の第1撥水板28aには、露光光I Lが照射されるのに対し、外側の第2撥水板28bには、露光光I Lが殆ど照射されない。このことを考慮して、本実施形態では、第1撥水板28aの表面には、露光光I L（この場合、真空紫外域の光）に対する耐性が十分にある撥水コートが施された第1撥水領域が形成され、第2撥水板28bには、その表面に第1撥水領域に比べて露光光I Lに対する耐性が劣る撥水コートが施された第2撥水領域が形成されている。一般にガラス板には、露光光I L（この場合、真空紫外域の光）に対する耐性が十分にある撥水コートを施し難いので、このように第1撥水板28aとその周囲の第2撥水板28bとの2部分に分離することは効果的である。なお、これに限らず、同一のプレートの上面に露光光I Lに対する耐性が異なる2種類の撥水コートを施して、第1撥水領域、第2撥水領域を形成しても良い。また、第1及び第2撥水領域で撥水コートの種類が同一でも良い。例えば、同一のプレートに1つの撥水領域を形成するだけでも良い。

30

【0049】

また、図4（A）から明らかなように、第1撥水板28aの+ Y側の端部には、そのX軸方向の中央部に長方形の切り欠きが形成され、この切り欠きと第2撥水板28bとで囲まれる長方形の空間の内部（切り欠きの内部）に計測プレート30が埋め込まれている。この計測プレート30の長手方向の中央（ウエハテーブルW T BのセンターラインL L上）には、基準マークF Mが形成されるとともに、基準マークF MのX軸方向の一侧と他側に、基準マークの中心に関して対称な配置で一对の空間像計測スリットパターン（スリット状の計測用パターン）S Lが形成されている。各空間像計測スリットパターンS Lとしては、一例として、Y軸方向とX軸方向とに沿った辺を有するL字状のスリットパターン、あるいはX軸及びY軸方向にそれぞれ延びる2つの直線状のスリットパターンなどを用いることができる。

40

【0050】

50

そして、上記各空間像計測スリットパターンS L下方のウエハステージW S Tの内部には、図4 (B)に示されるように、対物レンズ、ミラー、リレーレンズなどを含む光学系が収納されたL字状の筐体3 6が、ウエハテーブルW T Bからステージ本体9 1の内部の一部を貫通する状態で、一部埋め込み状態で取り付けられている。筐体3 6は、図示は省略されているが、上記一对の空間像計測スリットパターンS Lに対応して一对設けられている。

【0051】

上記筐体3 6内部の光学系は、空間像計測スリットパターンS Lを透過した照明光I Lを、L字状の経路に沿って導き、- Y方向に向けて射出する。なお、以下においては、便宜上、上記筐体3 6内部の光学系を筐体3 6と同一の符号を用いて送光系3 6と記述する。

10

【0052】

さらに、第2撥水板2 8 bの上面には、その4辺のそれぞれに沿って所定ピッチで多数の格子線が直接形成されている。これをさらに詳述すると、第2撥水板2 8 bのX軸方向一側と他側(図4 (A)における左右両側)の領域には、Yスケール3 9 Y₁、3 9 Y₂がそれぞれ形成され、Yスケール3 9 Y₁、3 9 Y₂はそれぞれ、例えばX軸方向を長手方向とする格子線3 8が所定ピッチでY軸に平行な方向(Y軸方向)に沿って形成される、Y軸方向を周期方向とする反射型の格子(例えば回折格子)によって構成されている。

【0053】

同様に、第2撥水板2 8 bのY軸方向一側と他側(図4 (A)における上下両側)の領域には、Yスケール3 9 Y₁及び3 9 Y₂に挟まれた状態でXスケール3 9 X₁、3 9 X₂がそれぞれ形成され、Xスケール3 9 X₁、3 9 X₂はそれぞれ、例えばY軸方向を長手方向とする格子線3 7が所定ピッチでX軸に平行な方向(X軸方向)に沿って形成される、X軸方向を周期方向とする反射型の格子(例えば回折格子)によって構成されている。上記各スケールとしては、第2撥水板2 8 bの表面に例えばホログラム等により反射型の回折格子が作成されたものが用いられている。この場合、各スケールには狭いスリット又は溝等から成る格子が目盛りとして所定間隔(ピッチ)で刻まれている。各スケールに用いられる回折格子の種類は限定されるものではなく、機械的に溝等が形成されたもののみならず、例えば、感光性樹脂に干渉縞を焼き付けて作成したものであっても良い。但し、各スケールは、例えば薄板状のガラスに上記回折格子の目盛りを、例えば138 nm ~ 4 μmの間のピッチ、例えば1 μmピッチで刻んで作成されている。これらスケールは前述の撥液膜(撥水膜)で覆われている。なお、図4 (A)では、図示の便宜上から、格子のピッチは、実際のピッチに比べて格段に広く図示されている。その他の図においても同様である。

20

30

【0054】

このように、本実施形態では、第2撥水板2 8 bそのものがスケールを構成するので、第2撥水板2 8 bとして低熱膨張率のガラス板を用いることとしたものである。しかし、これに限らず、格子が形成された低熱膨張率のガラス板などから成るスケール部材を、局所的な伸縮が生じないように、例えば板ばね(又は真空吸着)等によりウエハテーブルW T Bの上面に固定しても良く、この場合には、全面に同一の撥水コートが施された撥水板をプレート2 8に代えて用いても良い。あるいは、ウエハテーブルW T Bを低熱膨張率の材料で形成することも可能であり、かかる場合には、一对のYスケールと一对のXスケールとは、そのウエハテーブルW T Bの上面に直接形成しても良い。

40

【0055】

なお、回折格子を保護するために、撥水性(撥液性)を備えた低熱膨張率のガラス板でカバーすることも有効である。ここで、ガラス板としては、厚さがウエハと同程度、例えば厚さ1 mmのものを用いることができ、そのガラス板の表面がウエハ面と同じ高さ(面一)になるよう、ウエハテーブルW T B上面に設置される。

【0056】

なお、各スケールの端付近には、後述するエンコーダヘッドとスケール間の相対位置を

50

決めるための、位置出しパターンがそれぞれ設けられている。この位置出しパターンは例えば反射率の異なる格子線から構成され、この位置出しパターン上をエンコーダヘッドが走査すると、エンコーダの出力信号の強度が変化する。そこで、予め閾値を定めておき、出力信号の強度がその閾値を超える位置を検出する。この検出された位置を基準に、エンコーダヘッドとスケール間の相対位置を設定する。

【0057】

また、ウエハテーブルW T Bの-Y端面、-X端面には、それぞれ鏡面加工が施され、図2に示されるように、後述する干渉計システム118のための、反射面17a、17bが形成されている。

【0058】

計測ステージM S Tは、不図示のリニアモータ等によってX Y平面内で駆動されるステージ本体92と、ステージ本体92上に搭載された計測テーブルM T Bとを含んでいる。計測ステージM S Tは、不図示の駆動系によりベース盤12に対し、少なくとも3自由度方向(X, Y, z)に駆動可能に構成されている。

【0059】

なお、図6では、ウエハステージW S Tの駆動系と計測ステージM S Tの駆動系とを含んで、ステージ駆動系124として示されている。

【0060】

計測テーブルM T B(及びステージ本体92)には、各種計測用部材が設けられている。この計測用部材としては、例えば、図2及び図5(A)に示されるように、投影光学系P Lの像面上で照明光I Lを受光するピンホール状の受光部を有する照度むらセンサ94、投影光学系P Lにより投影されるパターンの空間像(投影像)を計測する空間像計測器96、及び例えば国際公開第2003/065428号などに開示されているシャック-ハルトマン(Shack-Hartman)方式の波面収差計測器98などが採用されている。波面収差計測器98としては、例えば国際公開第99/60361号(対応欧州特許第1,079,223号)に開示されるものも用いることができる。

【0061】

照度むらセンサ94としては、例えば特開昭57-117238号公報(対応する米国特許第4,465,368号明細書)などに開示されるものと同様の構成のものを用いることができる。また、空間像計測器96としては、例えば特開2002-14005号公報(対応する米国特許出願公開第2002/0041377号明細書)などに開示されるものと同様の構成のものを用いることができる。なお、本実施形態では3つの計測用部材(94、96、98)を計測ステージM S Tに設けるものとしたが、計測用部材の種類、及び/又は数などはこれに限られない。計測用部材として、例えば投影光学系P Lの透過率を計測する透過率計測器、及び/又は、前述の局所液浸装置8、例えばノズルユニット32(あるいは先端レンズ191)などを観察する計測器などを用いても良い。さらに、計測用部材と異なる部材、例えばノズルユニット32、先端レンズ191などを清掃する清掃部材などを計測ステージM S Tに搭載しても良い。

【0062】

本実施形態では、図5(A)からもわかるように、使用頻度の高いセンサ類、照度むらセンサ94及び空間像計測器96などは、計測ステージM S TのセンターラインC L(中心を通るY軸)上に配置されている。このため、本実施形態では、これらのセンサ類を用いた計測を、計測ステージM S TをX軸方向に移動させることなく、Y軸方向にのみ移動させて行うことができる。

【0063】

上記各センサに加え、例えば特開平11-16816号公報(対応する米国特許出願公開第2002/0061469号明細書)などに開示される、投影光学系P Lの像面上で照明光I Lを受光する所定面積の受光部を有する照度モニタを採用しても良く、この照度モニタもセンターライン上に配置することが望ましい。

【0064】

10

20

30

40

50

なお、本実施形態では、投影光学系 P L と液体（水） L q とを介して露光光（照明光） I L によりウエハ W を露光する液浸露光が行われるのに対応して、照明光 I L を用いる計測に使用される上記の照度むらセンサ 9 4（及び照度モニタ）、空間像計測器 9 6、並びに波面収差計測器 9 8 では、投影光学系 P L 及び水を介して照明光 I L を受光することとなる。また、各センサは、例えば光学系などの一部だけが計測テーブル M T B（及びステージ本体 9 2）に搭載されていても良いし、センサ全体を計測テーブル M T B（及びステージ本体 9 2）に配置するようにしても良い。

【 0 0 6 5 】

また、計測テーブル M T B の + Y 端面、 - X 端面には、前述したウエハテーブル W T B と同様の反射面 1 9 a、 1 9 b が形成されている（図 2 及び図 5（ A ）参照）。

10

【 0 0 6 6 】

計測ステージ M S T のステージ本体 9 2 には、図 5（ B ）に示されるように、その - Y 側の端面に、棒状の取付部材 4 2 が固定されている。また、ステージ本体 9 2 の - Y 側の端面には、取付部材 4 2 の開口内部の X 軸方向の中心位置近傍に、前述した一对の送光系 3 6 に対向し得る配置で、一对の受光系 4 4 が固定されている。各受光系 4 4 は、リレーレンズなどの光学系と、受光素子、例えばフォトマルチプライヤチューブなどと、これらを収納する筐体とによって構成されている。図 4（ B ）及び図 5（ B ）、並びにこれまでの説明からわかるように、本実施形態では、ウエハステージ W S T と計測ステージ M S T とが、 Y 軸方向に関して所定距離以内に近接した状態（接触状態を含む）では、計測プレート 3 0 の各空間像計測スリットパターン S L を透過した照明光 I L が前述の各送光系 3 6 で案内され、各受光系 4 4 の受光素子で受光される。すなわち、計測プレート 3 0、送光系 3 6 及び受光系 4 4 によって、前述した特開 2 0 0 2 - 1 4 0 0 5 号公報（対応する米国特許出願公開第 2 0 0 2 / 0 0 4 1 3 7 7 号明細書）などに開示されるものと同様の、空間像計測装置 4 5（図 6 参照）が構成される。

20

【 0 0 6 7 】

取付部材 4 2 の上には、断面矩形の棒状部材から成るフィデューシャルバー（以下、「 F D バー」と略述する） 4 6 が X 軸方向に延設されている。この F D バー 4 6 は、フルキネマティックマウント構造によって、計測ステージ M S T 上にキネマティックに支持されている。

【 0 0 6 8 】

F D バー 4 6 は、原器（計測基準）となるため、低熱膨張率の光学ガラスセラミックス、例えば、ショット社のゼロデュア（商品名）などがその素材として採用されている。F D バー 4 6 の上面（表面）は、いわゆる基準平板と同程度にその平坦度が高く設定されている。また、F D バー 4 6 の長手方向の一側と他側の端部近傍には、図 5（ A ）に示されるように、 Y 軸方向を周期方向とする基準格子（例えば回折格子） 5 2 がそれぞれ形成されている。この一对の基準格子 5 2 は、所定距離 L を隔てて F D バー 4 6 の X 軸方向の中心、すなわち前述のセンターライン C L に関して対称な配置で形成されている。

30

【 0 0 6 9 】

また、F D バー 4 6 の上面には、図 5（ A ）に示されるような配置で複数の基準マーク M が形成されている。この複数の基準マーク M は、同一ピッチで Y 軸方向に関して 3 行の配列で形成され、各行の配列が X 軸方向に関して互いに所定距離だけずれて形成されている。各基準マーク M としては、後述するプライマリライメント系、セカンダリアライメント系によって検出可能な寸法の 2 次元マークが用いられている。基準マーク M はその形状（構成）が前述の基準マーク F M と異なっても良いが、本実施形態では基準マーク M と基準マーク F M とは同一の構成であり、かつウエハ W のアライメントマークとも同一の構成となっている。なお、本実施形態では F D バー 4 6 の表面、及び計測テーブル M T B（前述の計測用部材を含んでも良い）の表面もそれぞれ撥液膜（撥水膜）で覆われている。

40

【 0 0 7 0 】

本実施形態の露光装置 1 0 0 では、図 1 では図面の錯綜を避ける観点から図示が省略されているが、実際には、図 3 に示されるように、前述の基準軸 L V 上で、投影光学系 P L

50

の光軸 A X から - Y 側に所定距離隔てた位置に検出中心を有するプライマリアライメント系 A L 1 が配置されている。このプライマリアライメント系 A L 1 は、支持部材 5 4 を介して不図示のメインフレームの下面に固定されている。プライマリアライメント系 A L 1 を挟んで、X 軸方向の一侧と他側には、直線 L V に関してほぼ対称に検出中心が配置されるセカンダリアライメント系 A L 2₁, A L 2₂ と、A L 2₃, A L 2₄ とがそれぞれ設けられている。すなわち、5 つのアライメント系 A L 1, A L 2₁ ~ A L 2₄ はその検出中心が X 軸方向に関して異なる位置に配置されている、すなわち X 軸方向に沿って配置されている。

【0071】

各セカンダリアライメント系 A L 2_n (n = 1 ~ 4) は、セカンダリアライメント系 A L 2₄ について代表的に示されるように、回転中心 O を中心として図 3 における時計回り及び反時計回りに所定角度範囲で回動可能なアーム 5 6_n (n = 1 ~ 4) の先端 (回動端) に固定されている。本実施形態では、各セカンダリアライメント系 A L 2_n はその一部 (例えば、アライメント光を検出領域に照射し、かつ検出領域内の対象マークから発生する光を受光素子に導く光学系を少なくとも含む) がアーム 5 6_n に固定され、残りの一部は投影ユニット P U を保持するメインフレームに設けられる。セカンダリアライメント系 A L 2₁, A L 2₂, A L 2₃, A L 2₄ はそれぞれ、回転中心 O を中心として回動することで、X 位置が調整される。すなわち、セカンダリアライメント系 A L 2₁, A L 2₂, A L 2₃, A L 2₄ はその検出領域 (又は検出中心) が独立に X 軸方向に可動である。従って、プライマリアライメント系 A L 1 及びセカンダリアライメント系 A L 2₁, A L 2₂, A L 2₃, A L 2₄ は X 軸方向に関してその検出領域の相対位置が調整可能となっている。なお、本実施形態では、アームの回動によりセカンダリアライメント系 A L 2₁, A L 2₂, A L 2₃, A L 2₄ の X 位置が調整されるものとしたが、これに限らず、セカンダリアライメント系 A L 2₁, A L 2₂, A L 2₃, A L 2₄ を X 軸方向に往復駆動する駆動機構を設けても良い。また、セカンダリアライメント系 A L 2₁, A L 2₂, A L 2₃, A L 2₄ の少なくとも 1 つを X 軸方向だけでなく Y 軸方向にも可動として良い。なお、各セカンダリアライメント系 A L 2_n はその一部がアーム 5 6_n によって移動されるので、不図示のセンサ、例えば干渉計、あるいはエンコーダなどによって、アーム 5 6_n に固定されるその一部の位置情報が計測可能となっている。このセンサは、セカンダリアライメント系 A L 2_n の X 軸方向の位置情報を計測するだけでも良いが、他の方向、例えば Y 軸方向、及び / 又は回転方向 (x 及び y 方向の少なくとも一方を含む) の位置情報も計測可能としても良い。

【0072】

各アーム 5 6_n の上面には、差動排気型のエアベアリングから成るバキュームパッド 5 8_n (n = 1 ~ 4、図 3 では不図示、図 6 参照) が設けられている。また、アーム 5 6_n は、例えばモータ等を含む回転駆動機構 6 0_n (n = 1 ~ 4、図 3 では不図示、図 6 参照) によって、主制御装置 2 0 の指示に応じて回動可能である。主制御装置 2 0 は、アーム 5 6_n の回転調整後に、各バキュームパッド 5 8_n を作動させて各アーム 5 6_n を不図示のメインフレームに吸着固定する。これにより、各アーム 5 6_n の回転角度調整後の状態、すなわち、プライマリアライメント系 A L 1 及び 4 つのセカンダリアライメント系 A L 2₁ ~ A L 2₄ の所望の位置関係が維持される。

【0073】

なお、メインフレームのアーム 5 6_n に対向する部分が磁性体であるならば、バキュームパッド 5 8 に代えて電磁石を採用しても良い。

【0074】

本実施形態では、プライマリアライメント系 A L 1 及び 4 つのセカンダリアライメント系 A L 2₁ ~ A L 2₄ のそれぞれとして、例えばウエハ上のレジストを感光させないブロードバンドな検出光束を対象マークに照射し、その対象マークからの反射光により受光面に結像された対象マークの像と不図示の指標 (各アライメント系内に設けられた指標板上の指標パターン) の像とを撮像素子 (C C D 等) を用いて撮像し、それらの撮像信号を出力

10

20

30

40

50

する画像処理方式の F I A (Field Image Alignment) 系が用いられている。プライマリアライメント系 A L 1 及び 4 つのセカンダリアライメント系 A L 2₁ ~ A L 2₄ のそれぞれからの撮像信号は、不図示のアライメント信号処理系を介して図 6 の主制御装置 2 0 に供給されるようになっている。

【 0 0 7 5 】

なお、上記各アライメント系としては、F I A 系に限らず、例えばコヒーレントな検出光を対象マークに照射し、その対象マークから発生する散乱光又は回折光を検出する、あるいはその対象マークから発生する 2 つの回折光 (例えば同次数の回折光、あるいは同方向に回折する回折光) を干渉させて検出するアライメントセンサを単独であるいは適宜組み合わせることは勿論可能である。また、本実施形態では、5 つのアライメント系 A L 1、A L 2₁ ~ A L 2₄ は、支持部材 5 4 又はアーム 5 6_n を介して投影ユニット P U を保持するメインフレームの下面に固定されるものとしたが、これに限らず、例えば前述した計測フレームに設けても良い。

【 0 0 7 6 】

次に、ウエハステージ W S T 及び計測ステージ M S T の位置情報を計測する干渉計システム 1 1 8 (図 6 参照) の構成等について説明する。

【 0 0 7 7 】

ここで、具体的な干渉計システムの構成の説明に先立って、干渉計の計測原理を簡単に説明する。干渉計は、計測対象物に設置された反射面に向けて、測長ビーム (測長光) を照射する。干渉計は、その反射光と参照光との合成光を受光し、反射光 (測長光) と参照光とを、偏向方向を揃えて相互に干渉させた干渉光の強度を計測する。ここで、反射光と参照光の光路差 L より、反射光と参照光との間の相対位相 (位相差) が $K \cdot L$ 変化する。それにより、干渉光の強度は $1 + a \cdot \cos(K \cdot L)$ に比例して変化する。ただし、ホモダイン検波方式を採用したとして、測長光と参照光の波数は同じで K とした。定数 a は測長光と参照光の強度比より決まる。ここで、参照光に対する反射面は、一般に、投影ユニット P U 側面 (場合によっては干渉計ユニット内) に設けられる。この参照光の反射面が、測長の基準位置となる。従って、光路差 L には、基準位置から反射面までの距離が反映される。そこで、反射面までの距離の変化に対する、干渉光の強度変化の回数 (フリンジの数) を計測すれば、その計数値と計測単位の積より、計測対象物に設置された反射面の変位が算出される。ここで、計測単位は、シングルパス方式の干渉計の場合、測長光の波長の 2 分の 1、ダブルパス方式の干渉計の場合、波長の 4 分の 1 である。

【 0 0 7 8 】

ところで、ヘテロダイン検波方式の干渉計を採用した場合、測長光の波数 K_1 と参照光の波数 K_2 はわずかに異なる。この場合、測長光と参照光の光路長をそれぞれ L_1 、 L_2 とすると、測長光と参照光の間の位相差は $K \cdot L + K \cdot L_1$ と与えられ、干渉光の強度は $1 + a \cdot \cos(K \cdot L + K \cdot L_1)$ に比例して変化する。ただし、光路差 $L = L_1 - L_2$ 、 $K = K_1 - K_2$ 、 $K = K_2$ とした。ここで、参照光の光路 L_2 が十分短く、近似 $L \approx L_1$ が成り立てば、干渉光の強度は $1 + a \cdot \cos[(K + K) \cdot L]$ に比例して変化する。これからわかるように、干渉光の強度は、光路差 L が変化するとともに、参照光の波長 $2 / K$ で周期振動するとともに、その周期振動の包絡線は長い周期 $2 / K$ で振動する (うなる)。従って、ヘテロダイン検波方式では、長い周期のうなりより、光路差 L の変化方向、すなわち計測対象物の変位方向を知ることができる。

【 0 0 7 9 】

なお、干渉計の主要な誤差要因として、ビーム光路上の雰囲気温度揺らぎ (空気揺らぎ) の効果がある。空気揺らぎによって、光の波長 λ が $\lambda + \Delta\lambda$ に変化したとする。この波長の微小変化 $\Delta\lambda$ による位相差 $K \cdot L$ の変化は、波数 $K = 2 / \lambda$ なので、 $2 \cdot L \cdot \Delta\lambda / \lambda^2$ と求められる。ここで、仮に、光の波長 $\lambda = 1 \mu\text{m}$ 、微小変化 $\Delta\lambda = 1 \text{nm}$ とすると、光路差 $L = 100 \text{mm}$ に対して、位相変化は 2×100 となる。この位相変化は、計測単位の 100 倍の変位に対応する。この様に、光路長が長く設定される場合には、干渉計は、短時間に起こる空気揺らぎの影響が大きく、短期安定性に劣る。その様な場

10

20

30

40

50

合には、後述するエンコーダ又はZヘッドを有する面位置計測システムを使用するのが望ましい。

【0080】

干渉計システム118は、図2に示されるように、ウエハステージWSTの位置計測用のY干渉計16、X干渉計126、127、128、及びZ干渉計43A、43B並びに計測ステージMSTの位置計測用のY干渉計18及びX干渉計130等を含む。Y干渉計16及びX干渉計126、127、128（図1では、X干渉計126～128は不図示、図2参照）は、ウエハテーブルWTBの反射面17a、17bにそれぞれ測長ビームを照射して、それぞれの反射光を受光することにより、各反射面の基準位置（例えば投影ユニットPU側面に固定ミラーを配置し、そこを基準面とする）からの変位、すなわちウエハステージWSTのXY平面内の位置情報を計測し、この計測した位置情報を主制御装置20に供給する。本実施形態では、後述するように、上記各干渉計としては、一部を除いて、測長軸を複数有する多軸干渉計が用いられている。

10

【0081】

一方、ステージ本体91の-Y側の側面には、図4(A)及び図4(B)に示されるように、X軸方向を長手方向とする移動鏡41が、不図示のキネマティック支持機構を介して取り付けられている。移動鏡41は、直方体部材と、該直方体の一面(-Y側の面)に固着された一对の三角柱状部材とを一体化したような部材から成る。移動鏡41は、図2からわかるように、X軸方向の長さがウエハテーブルWTBの反射面17aよりも、少なくとも後述する2つのZ干渉計の間隔分、長く設計されている。

20

【0082】

移動鏡41の-Y側の面には鏡面加工が施され、図4(B)に示されるように、3つの反射面41b、41a、41cが形成されている。反射面41aは、移動鏡41の-Y側の端面の一部を構成し、XZ平面と平行に且つX軸方向に延びている。反射面41bは、反射面41aの+Z側に隣接する面を構成し、反射面41aに対して鈍角を成し、X軸方向に延びている。反射面41cは、反射面41aの-Z側に隣接する面を構成し、反射面41aを挟んで反射面41bと対称に設けられている。

【0083】

移動鏡41に対向して、該移動鏡41に測長ビームを照射する、干渉計システム118（図6参照）の一部を構成する一对のZ干渉計43A、43Bが設けられている（図1及び図2参照）。

30

【0084】

Z干渉計43A、43Bは、図1及び図2を総合するとわかるように、Y干渉計16のX軸方向の一側と他側にほぼ同一距離離れて、且つY干渉計16より幾分低い位置にそれぞれ配置されている。

【0085】

Z干渉計43A、43Bそれぞれから、図1に示されるように、Y軸方向に沿う測長ビームB1が反射面41bに向けて照射されるとともに、Y軸方向に沿う測長ビームB2が反射面41c（図4(B)参照）に向けて照射されるようになっている。本実施形態では、反射面41b及び反射面41cで順次反射された測長ビームB1と直交する反射面を有する固定鏡47B、及び反射面41c及び反射面41bで順次反射された測長ビームB2と直交する反射面を有する固定鏡47Aが、移動鏡41から-Y方向に所定距離離れた位置に測長ビームB1、B2に干渉しない状態で、それぞれX軸方向に延設されている。

40

【0086】

固定鏡47A、47Bは、例えば投影ユニットPUを支持するフレーム（不図示）に設けられた同一の支持体（不図示）に支持されている。

【0087】

Y干渉計16は、図2（及び図13）に示されるように、前述の基準軸LVから同一距離、-X側、+X側に離れたY軸方向の測長軸に沿って測長ビームB4₁、B4₂をウエハテーブルWTBの反射面17aに照射し、それぞれの反射光を受光することで、ウエハテ

50

ーブルW T Bの測長ビーム $B 4_1$ 、 $B 4_2$ の照射点におけるY軸方向の位置(Y位置)を検出している。なお、図1では、測長ビーム $B 4_1$ 、 $B 4_2$ が代表的に測長ビーム $B 4$ として示されている。

【0088】

また、Y干渉計16は、測長ビーム $B 4_1$ 、 $B 4_2$ との間にZ軸方向に所定間隔をあけてY軸方向の測長軸に沿って測長ビーム $B 3$ を反射面41aに向けて照射し、反射面41aで反射した測長ビーム $B 3$ を受光することにより、移動鏡41の反射面41a(すなわちウエハステージW S T)のY位置を検出している。

【0089】

主制御装置20は、Y干渉計16の測長ビーム $B 4_1$ 、 $B 4_2$ に対応する測長軸の計測値の平均値に基づいて反射面17a、すなわちウエハテーブルW T B(ウエハステージW S T)のY位置(より正しくは、Y軸方向の変位 Y)を算出する。また、主制御装置20は、測長ビーム $B 4_1$ 、 $B 4_2$ に対応する測長軸の計測値の差より、ウエハステージW S TのZ軸回りの回転方向(z 方向)の変位(ヨーイング量) $z(Y)$ を算出する。また、主制御装置20は、反射面17a及び反射面41aのY位置(Y軸方向の変位 Y)に基づいて、ウエハステージW S Tの x 方向の変位(ピッチング量) x を算出する。

10

【0090】

また、X干渉計126は、図2及び図13に示されるように、投影光学系P Lの光軸を通るX軸方向の直線(基準軸)L Hに関して同一距離離れた2軸の測長軸に沿って測長ビーム $B 5_1$ 、 $B 5_2$ をウエハテーブルW T Bに照射する。主制御装置20は、測長ビーム $B 5_1$ 、 $B 5_2$ に対応する測長軸の計測値に基づいて、ウエハステージW S TのX軸方向の位置(X位置、より正しくは、X軸方向の変位 X)を算出する。また、主制御装置20は、測長ビーム $B 5_1$ 、 $B 5_2$ に対応する測長軸の計測値の差より、ウエハステージW S Tの z 方向の変位(ヨーイング量) $z(X)$ を算出する。なお、X干渉計126から得られる $z(X)$ とY干渉計16から得られる $z(Y)$ は互いに等しく、ウエハステージW S Tの z 方向への変位(ヨーイング量) z を代表する。

20

【0091】

また、図14及び図15などに示されるように、X干渉計128から測長ビーム $B 7$ が、ウエハテーブルW T B上のウエハのアンロードが行われるアンローディングポジションUPと、ウエハテーブルW T B上へのウエハのロードが行われるローディングポジションLPを結ぶX軸に平行な直線L U Lに沿って、ウエハテーブルW T Bの反射面17bに照射される。また、図16及び図17などに示されるように、X干渉計127から測長ビーム $B 6$ が、プライマリアライメント系A L 1の検出中心を通るX軸に平行な直線L Aに沿って、ウエハテーブルW T Bの反射面17bに照射される。

30

【0092】

主制御装置20は、X干渉計127の測長ビーム $B 6$ の計測値、及びX干渉計128の測長ビーム $B 7$ の計測値からも、ウエハステージW S TのX軸方向の変位 X を求めることができる。ただし、3つのX干渉計126、127、128の配置がY軸方向に関して異なっている。そのため、X干渉計126は図13に示される露光時に、X干渉計127は図19などに示されるウエハアライメント時に、X干渉計128は図15に示されるウエハのロード時及び図14に示されるウエハのアンロード時に使用される。

40

【0093】

前述のZ干渉計43A、43Bそれぞれからは、図1に示されるように、Y軸に沿う測長ビーム $B 1$ 、 $B 2$ が、移動鏡41に向けて照射される。これらの測長ビーム $B 1$ 、 $B 2$ は、移動鏡41の反射面41b、41cのそれぞれに所定の入射角($\theta/2$ とする)で入射する。そして、測長ビーム $B 1$ は、反射面41b、41cで順次反射されて固定鏡47Bの反射面に垂直に入射し、測長ビーム $B 2$ は、反射面41c、41bで順次反射されて固定鏡47A反射面に垂直に入射する。そして、固定鏡47A、47Bの反射面で反射された測長ビーム $B 2$ 、 $B 1$ は、再度反射面41b、41cで順次反射され、あるいは再度

50

反射面 4 1 c , 4 1 b で順次反射されて (入射時の光路を逆向きに戻り) Z 干渉計 4 3 A 、 4 3 B で受光される。

【 0 0 9 4 】

ここで、移動鏡 4 1 (すなわちウエハステージ W S T) の Z 軸方向への変位を Z_0 、Y 軸方向への変位を Y_0 とすると、測長ビーム B 1 , B 2 の光路長変化 L_1 , L_2 は、それぞれ以下の式 (1)、(2) で表される。

$$L_1 = Y_0 \times (1 + \cos \theta) + Z_0 \times \sin \theta \quad \dots (1)$$

$$L_2 = Y_0 \times (1 + \cos \theta) - Z_0 \times \sin \theta \quad \dots (2)$$

【 0 0 9 5 】

従って、式 (1)、(2) から Z_0 及び Y_0 は次式 (3)、(4) で求められる。

$$Z_0 = (L_1 - L_2) / 2 \sin \theta \quad \dots (3)$$

$$Y_0 = (L_1 + L_2) / \{ 2 (1 + \cos \theta) \} \quad \dots (4)$$

10

【 0 0 9 6 】

上記の変位 Z_0 、 Y_0 は、Z 干渉計 4 3 A、4 3 B のそれぞれで求められる。そこで、Z 干渉計 4 3 A で求められる変位を Z_{0R} 、 Y_{0R} とし、Z 干渉計 4 3 B で求められる変位を Z_{0L} 、 Y_{0L} とする。そして、Z 干渉計 4 3 A、4 3 B がそれぞれが照射する測長ビーム B 1、B 2 が X 軸方向に離間する距離を D とする (図 2 参照)。かかる前提との下で、移動鏡 4 1 (すなわちウエハステージ W S T) の z 方向への変位 (ヨーイング量) z 、y 方向への変位 (ローリング量) y は次式 (5)、(6) で求められる。

$$z = \tan^{-1} \{ (Y_{0R} - Y_{0L}) / D \} \quad \dots (5)$$

$$y = \tan^{-1} \{ (Z_{0L} - Z_{0R}) / D \} \quad \dots (6)$$

20

【 0 0 9 7 】

従って、主制御装置 2 0 は、上記式 (3) ~ 式 (6) を用いることで、Z 干渉計 4 3 A、4 3 B の計測結果に基づいて、ウエハステージ W S T の 4 自由度の変位 Z_0 、 Y_0 、 z 、 y を算出することができる。

【 0 0 9 8 】

このように、主制御装置 2 0 は、干渉計システム 1 1 8 の計測結果から、6 自由度方向 (Z、X、Y、 z 、 x 、 y 方向) に関するウエハステージ W S T の変位を求めることができる。

30

【 0 0 9 9 】

なお、本実施形態では、ウエハステージ W S T として 6 自由度で駆動可能な単一のステージを採用するものとしたが、これに代えて、XY 平面内で自在に移動可能なステージ本体 9 1 と、該ステージ本体 9 1 上に搭載され、ステージ本体 9 1 に対して少なくとも Z 軸方向、 x 方向及び y 方向に相対的に微小駆動可能なウエハテーブル W T B とを含んで構成しても良いし、あるいは、ウエハテーブル W T B を、ステージ本体 9 1 に対して X 軸方向、Y 軸方向及び z 方向にも微動可能に構成したいわゆる粗微動構造のウエハステージ W S T を採用しても良い。ただし、この場合は、ウエハテーブル W T B の 6 自由度方向の位置情報を干渉計システム 1 1 8 で計測可能な構成とする必要がある。計測ステージ M S T についても、同様に、ステージ本体 9 2 と、ステージ本体 9 1 上に搭載された 3 自由度、又は 6 自由度の計測テーブル M T B とによって構成しても良い。また、反射面 1 7 a、反射面 1 7 b の代わりに、ウエハテーブル W T B に平面ミラーから成る移動鏡を設けても良い。

40

【 0 1 0 0 】

但し、本実施形態では、ウエハステージ W S T (ウエハテーブル W T B) の XY 平面内の位置情報 (z 方向の回転情報を含む) は、主として、後述するエンコーダシステムによって計測され、干渉計 1 6、1 2 6、1 2 7 の計測値は、そのエンコーダシステムの計測値の長期的変動 (例えばスケールの経時的な変形などによる) を補正 (較正) する場合などに補助的に用いられる。

【 0 1 0 1 】

50

なお、干渉計システム 118 はその少なくとも一部（例えば、光学系など）が、投影ユニット P U を保持するメインフレームに設けられる、あるいは前述の如く吊り下げ支持される投影ユニット P U と一体に設けられても良いが、本実施形態では前述した計測フレームに設けられるものとする。

【0102】

なお本実施形態では、投影ユニット P U に設けられる固定ミラーの反射面を基準面としてウエハステージ W S T の位置情報を計測するものとしたが、その基準面を配置する位置は投影ユニット P U に限られるものでないし、必ずしも固定ミラーを用いてウエハステージ W S T の位置情報を計測しなくても良い。

【0103】

また、本実施形態では、干渉計システム 118 によって計測されるウエハステージ W S T の位置情報が、後述の露光動作やアライメント動作などでは用いられず、主としてエンコーダシステムのキャリブレーション動作（すなわち、計測値の較正）などに用いられるものとしたが、干渉計システム 118 の計測情報（すなわち、5 自由度の方向の位置情報の少なくとも 1 つ）を、例えば露光動作及び / 又はアライメント動作などで用いても良い。また、干渉計システム 118 をエンコーダシステムのバックアップとして使用することも考えられ、これについては後に詳述する。本実施形態では、エンコーダシステムはウエハステージ W S T の 3 自由度の方向、すなわち X 軸、Y 軸及び z 方向の位置情報を計測する。そこで、露光動作などにおいて、干渉計システム 118 の計測情報のうち、エンコーダシステムによるウエハステージ W S T の位置情報の計測方向（X 軸、Y 軸及び z 方向）と異なる方向、例えば x 方向及び / 又は y 方向に関する位置情報のみを用いても良いし、その異なる方向の位置情報に加えて、エンコーダシステムの計測方向と同じ方向（すなわち、X 軸、Y 軸及び z 方向の少なくとも 1 つ）に関する位置情報を用いても良い。また、露光動作などにおいて干渉計システム 118 で計測されるウエハステージ W S T の Z 軸方向の位置情報を用いても良い。

【0104】

その他、干渉計システム 118（図 6 参照）には、計測テーブル M T B の 2 次元位置座標を計測するための Y 干渉計 118、X 干渉計 130 も含まれている。Y 干渉計 118、X 干渉計 130（図 1 では、X 干渉計 130 は不図示、図 2 参照）は、計測テーブル M T B の反射面 19 a、19 b に、図 2 に示されるように、測長ビームを照射して、それぞれの反射光を受光することにより、各反射面の基準位置からの変位を計測する。主制御装置 20 は、Y 干渉計 118、X 干渉計 130 の計測値を受信し、計測ステージ M S T の位置情報（例えば、少なくとも X 軸及び Y 軸方向の位置情報と z 方向の回転情報とを含む）を算出する。

【0105】

なお、計測テーブル M T B 用の Y 干渉計として、ウエハステージ W S T 用の Y 干渉計 16 と同様の多軸干渉計を用いることとしても良い。また、計測テーブル M T B の X 干渉計として、ウエハステージ W S T 用の X 干渉計 126 と同様の 2 軸干渉計を用いることとしても良い。また、計測ステージ M S T の Z 変位、Y 変位、ヨーイング量、及びローリング量を計測するために、ウエハステージ W S T 用の Z 干渉計 43 A、43 B と同様の干渉計を導入することも可能である。

【0106】

次に、ウエハステージ W S T の X Y 平面内の位置情報（z 方向の回転情報を含む）を計測するエンコーダシステム 150（図 6 参照）の構成等について説明する。

【0107】

本実施形態の露光装置 100 では、図 3 に示されるように、前述したノズルユニット 32 の周囲を四方から囲む状態で、エンコーダシステム 150 の 4 つのヘッドユニット 62 A ~ 62 D が配置されている。これらのヘッドユニット 62 A ~ 62 D は、図 3 等では図面の錯綜を避ける観点から図示が省略されているが、実際には、支持部材を介して、前述した投影ユニット P U を保持するメインフレームに吊り下げ状態で固定されている。

10

20

30

40

50

【0108】

ヘッドユニット62A及び62Cは、図3に示されるように、投影ユニットPUの+X側、-X側に、X軸方向を長手方向として、配置されている。ヘッドユニット62A、62Cは、X軸方向に関しての間隔WDで配置された複数(ここでは5つ)のYヘッド65_j、64_i(i, j = 1~5)をそれぞれ備えている。より詳細には、ヘッドユニット62A及び62Cは、それぞれ、投影ユニットPUの周辺を除いて、投影光学系PLの光軸AXを通りかつX軸と平行な直線(基準軸)LH上に間隔WDで配置された複数(ここでは4つ)のYヘッド(64₁~64₄、又は65₂~65₅)と、投影ユニットPUの周辺において、基準軸LHから-Y方向に所定距離離れた位置、すなわちノズルユニット32の-Y側の位置に配置された1つのYヘッド(64₅、又は65₁)とを備えている。ヘッドユニット62A、62Cは、後述する5つのZヘッドをもそれぞれ備えている。以下では、必要に応じて、Yヘッド65_j、64_iを、それぞれ、Yヘッド65、64とも記述する。

10

【0109】

ヘッドユニット62Aは、前述のYスケール39Y₁を用いて、ウエハステージWST(ウエハテーブルWTB)のY軸方向の位置(Y位置)を計測する多眼(ここでは、5眼)のYリニアエンコーダ(以下、適宜「Yエンコーダ」又は「エンコーダ」と略述する)70A(図6参照)を構成する。同様に、ヘッドユニット62Cは、前述のYスケール39Y₂を用いて、ウエハステージWST(ウエハテーブルWTB)のY位置を計測する多眼(ここでは、5眼)のYエンコーダ70C(図6参照)を構成する。ここで、ヘッドユニット62A及び62Cがそれぞれ備える5つのYヘッド(64_i又は65_j)(すなわち、計測ビーム)のX軸方向の間隔WDは、Yスケール39Y₁、39Y₂のX軸方向の幅(より正確には、格子線38の長さ)より僅かに狭く設定されている。

20

【0110】

ヘッドユニット62Bは、図3に示されるように、ノズルユニット32(投影ユニットPU)の+Y側に配置され、上記基準軸LV上にY軸方向に沿って間隔WDで配置された複数、ここでは4個のXヘッド66₅~66₈を備えている。また、ヘッドユニット62Dは、ノズルユニット32(投影ユニットPU)を介してヘッドユニット62Bとは反対側のプライマリライメント系AL1の-Y側に配置され、上記基準軸LV上に間隔WDで配置された複数、ここでは4個のXヘッド66₁~66₄を備えている。以下では、必要に応じて、Xヘッド66₁~66₈を、Xヘッド66とも記述する。

30

【0111】

ヘッドユニット62Bは、前述のXスケール39X₁を用いて、ウエハステージWSTのX軸方向の位置(X位置)を計測する、多眼(ここでは、4眼)のXリニアエンコーダ(以下、適宜「Xエンコーダ」又は「エンコーダ」と略述する)70B(図6参照)を構成する。また、ヘッドユニット62Dは、前述のXスケール39X₂を用いて、ウエハステージWSTのX位置を計測する多眼(ここでは、4眼)のXエンコーダ70D(図6参照)を構成する。

【0112】

ここでヘッドユニット62B、62Dがそれぞれ備える隣接するXヘッド66(計測ビーム)の間隔は、前述のXスケール39X₁、39X₂のY軸方向の幅(より正確には、格子線37の長さ)よりも狭く設定されている。またヘッドユニット62Bの最も-Y側のXヘッド66₅とヘッドユニット62Dの最も+Y側のXヘッド66₄との間隔は、ウエハステージWSTのY軸方向の移動により、その2つのXヘッド間で切り換え(後述するつなぎ)が可能となるように、ウエハテーブルWTBのY軸方向の幅よりも僅かに狭く設定されている。

40

【0113】

本実施形態では、さらに、ヘッドユニット62A、62Cの-Y側に所定距離隔てて、ヘッドユニット62F、62Eが、それぞれ設けられている。ヘッドユニット62E及び62Fは、図3等では図面の錯綜を避ける観点から図示が省略されているが、実際には、支持部材を介して、前述した投影ユニットPUを保持するメインフレームに吊り下げ状態

50

で固定されている。なお、ヘッドユニット62E、62F及び前述のヘッドユニット62A～62Dは、例えば投影ユニットPUが吊り下げ支持される場合は投影ユニットPUと一体に吊り下げ支持しても良いし、あるいは前述した計測フレームに設けても良い。

【0114】

ヘッドユニット62Eは、X軸方向の位置が異なる4つのYヘッド67₁～67₄を備えている。より詳細には、ヘッドユニット62Eは、セカンダリアライメント系AL2₁の-X側に前述の基準軸LA上に前述の間隔WDとほぼ同一間隔で配置された3つのYヘッド67₁～67₃と、最も内側(+X側)のYヘッド67₃から+X側に所定距離(WDより幾分短い距離)離れ、かつ基準軸LAから+Y側に所定距離離れたセカンダリアライメント系AL2₁の+Y側の位置に配置された1つのYヘッド67₄とを備えている。

10

【0115】

ヘッドユニット62Fは、基準軸LVに関して、ヘッドユニット62Eと対称であり、上記4つのYヘッド67₁～67₄と基準軸LVに関して対称に配置された4つのYヘッド68₁～68₄を備えている。以下では、必要に応じて、Yヘッド67₁～67₄、68₁～68₄を、それぞれ、Yヘッド67、68とも記述する。後述するアライメント動作の際などには、Yスケール39Y₂、39Y₁にYヘッド67、68が少なくとも各1つそれぞれ対向し、このYヘッド67、68(すなわち、これらYヘッド67、68によって構成されるYエンコーダ70C、70A)によってウエハステージWSTのY位置(及びz回転)が計測される。

【0116】

20

また、本実施形態では、後述するセカンダリアライメント系のベースライン計測時(Secc BCHK(インターバル))などに、セカンダリアライメント系AL2₁、AL2₄にX軸方向で隣接するYヘッド67₃、68₂が、FDバー46の一对の基準格子52とそれぞれ対向し、その一对の基準格子52と対向するYヘッド67₃、68₂によって、FDバー46のY位置が、それぞれの基準格子52の位置で計測される。以下では、一对の基準格子52にそれぞれ対向するYヘッド67₃、68₂によって構成されるエンコーダをYリニアエンコーダ(適宜、「Yエンコーダ」又は「エンコーダ」とも略述する)70E₂、70F₂と呼ぶ。また、識別のため、上述したYスケール39Y₂、39Y₁にそれぞれ対向するYヘッド67、68によって構成されるYエンコーダ70E、70Fを、Yエンコーダ70E₁、70F₁と呼ぶ。

30

【0117】

上述したリニアエンコーダ70A～70Fは、例えば0.1nm程度の分解能で、ウエハステージWSTの位置座標を計測し、その計測値を主制御装置20に供給する。主制御装置20は、リニアエンコーダ70A～70Dのうちの3つ、又は70B、70D、70E₁、70F₁のうちの3つの計測値に基づいて、ウエハステージWSTのXY平面内の位置を制御するとともに、リニアエンコーダ70E₂、70F₂の計測値に基づいて、FDバー46のz方向の回転を制御する。

【0118】

本実施形態の露光装置100では、図3に示されるように、照射系90a及び受光系90bから成る、例えば特開平6-283403号公報(対応する米国特許第5,448,332号明細書)等が開示されるものと同様の構成の斜入射方式の多点焦点位置検出系(以下、「多点AF系」と略述する)が設けられている。本実施形態では、一例として、前述のヘッドユニット62Eの-X端部の+Y側に照射系90aが配置され、これに対峙する状態で、前述のヘッドユニット62Fの+X端部の+Y側に受光系90bが配置されている。

40

【0119】

この多点AF系(90a,90b)の複数の検出点は、被検面上でX軸方向に沿って所定間隔で配置される。本実施形態では、例えば1行M列(Mは検出点の総数)又は2行N列(Nは検出点の総数の1/2)のマトリックス状に配置される。図3中では、それぞれ検出ビームが照射される複数の検出点を、個別に図示せず、照射系90a及び受光系90

50

bの間でX軸方向に延びる細長い検出領域(ビーム領域)AFとして示している。この検出領域AFは、X軸方向の長さがウエハWの直径と同程度に設定されているので、ウエハWをY軸方向に1回スキャンするだけで、ウエハWのほぼ全面でZ軸方向の位置情報(面位置情報)を計測できる。また、この検出領域AFは、Y軸方向に関して、液浸領域14(露光領域IA)とアライメント系(AL1、AL2₁~AL2₄)の検出領域との間に配置されているので、多点AF系とアライメント系とでその検出動作を並行して行うことが可能となっている。多点AF系は、投影ユニットPUを保持するメインフレームなどに設けても良いが、本実施形態では前述の計測フレームに設けるものとする。

【0120】

なお、複数の検出点は1行M列又は2行N列で配置されるものとしたが、行数及び/又は列数はこれに限られない。但し、行数が2以上である場合は、異なる行の間でも検出点のX軸方向の位置を異ならせることが好ましい。さらに、複数の検出点はX軸方向に沿って配置されるものとしたが、これに限らず、複数の検出点の全部又は一部をY軸方向に関して異なる位置に配置しても良い。例えば、X軸及びY軸の両方と交差する方向に沿って複数の検出点を配置しても良い。すなわち、複数の検出点は少なくともX軸方向に関して位置が異なっていれば良い。また、本実施形態では複数の検出点に検出ビームを照射するものとしたが、例えば検出領域AFの全域に検出ビームを照射しても良い。さらに、検出領域AFはX軸方向の長さがウエハWの直径と同程度でなくても良い。

【0121】

多点AF系(90a, 90b)の複数の検出点のうち両端に位置する検出点の近傍、すなわち検出領域AFの両端部近傍に、基準軸LVに関して対称な配置で、各一对のZ位置計測用の面位置センサのヘッド(以下、「Zヘッド」と略述する)72a, 72b、及び72c, 72dが設けられている。これらのZヘッド72a~72dは、不図示のメインフレームの下面に固定されている。なお、Zヘッド72a~72dは前述した計測フレームなどに設けても良い。

【0122】

Zヘッド72a~72dとしては、ウエハテーブルWTBに対し上方から光を照射し、その反射光を受光してその光の照射点におけるウエハテーブルWTB表面のXY平面に直交するZ軸方向の位置情報を計測するセンサヘッド、一例としてCDドライブ装置などで用いられる光ピックアップのような構成の光学式の変位センサのヘッド(CDピックアップ方式のセンサヘッド)が用いられている。

【0123】

さらに、前述のヘッドユニット62A, 62Cは、それぞれが備える5つのYヘッド65_j, 64_i(i, j = 1~5)と同じX位置に、ただしY位置をずらして、それぞれ5つのZヘッド76_j, 74_i(i, j = 1~5)を備えている。ここで、ヘッドユニット62A, 62Cのそれぞれに属する外側の3つのZヘッド76₃~76₅, 74₁~74₃は、基準軸LHから+Y方向に所定距離隔てて、基準軸LHと平行に配置されている。また、ヘッドユニット62A, 62Cのそれぞれに属する最も内側のZヘッド76₁, 74₅は、投影ユニットPUの+Y側に、また最も内側から2つめのZヘッド76₂, 74₄は、Yヘッド65₂, 64₄それぞれの-Y側に、配置されている。そして、ヘッドユニット62A, 62Cのそれぞれに属する5つのZヘッド76_j, 74_i(i, j = 1~5)は、互いに基準軸LVに関して対称に配置されている。なお、各Zヘッド76, 74としては、前述のZヘッド72a~72dと同様の光学式変位センサのヘッドが採用される。なお、Zヘッドの構成等については、後述する。

【0124】

ここで、Zヘッド74₃は、前述したZヘッド72a, 72bと同一のY軸に平行な直線上にある。同様に、Zヘッド76₃は、前述したZヘッド72c, 72dと同一のY軸に平行な直線上にある。

【0125】

上述したZヘッド72a~72d、Zヘッド74₁~74₅、及びZヘッド76₁~76₅

10

20

30

40

50

は、図 6 に示されるように、信号処理・選択装置 170 を介して主制御装置 20 に接続されており、主制御装置 20 は、信号処理・選択装置 170 を介して Z ヘッド 72 a ~ 72 d、Z ヘッド 74₁ ~ 74₅、及び Z ヘッド 76₁ ~ 76₅ の中から任意の Z ヘッドを選択して作動状態とし、その作動状態とした Z ヘッドで検出した面位置情報を信号処理・選択装置 170 を介して受け取る。本実施形態では、Z ヘッド 72 a ~ 72 d、Z ヘッド 74₁ ~ 74₅、及び Z ヘッド 76₁ ~ 76₅ と、信号処理・選択装置 170 とを含んでウエハステージ W S T の Z 軸方向及び X Y 平面に対する傾斜方向の位置情報を計測する面位置計測システム 180 (計測システム 200 の一部) が構成されている。

【0126】

なお、図 3 では、計測ステージ M S T の図示が省略されるとともに、その計測ステージ M S T と先端レンズ 191 との間に保持される水 L q で形成される液浸領域が符号 14 で示されている。また、図 3 において、符号 U P は、ウエハテーブル W T B 上のウエハのアンロードが行われるアンローディングポジションを示し、符号 L P はウエハテーブル W T B 上へのウエハのロードが行われるローディングポジションを示す。本実施形態では、アンローディングポジション U P と、ローディングポジション L P とは、基準軸 L V に関して対称に設定されている。なお、アンローディングポジション U P とローディングポジション L P とを同一位置としても良い。

【0127】

図 6 には、露光装置 100 の制御系の主要な構成が示されている。この制御系は、装置全体を統括的に制御するマイクロコンピュータ (又はワークステーション) から成る主制御装置 20 を中心として構成されている。この主制御装置 20 に接続された外部記憶装置であるメモリ 34 には、干渉計システム 118、エンコーダシステム 150 (エンコーダ 70 A ~ 70 F)、Z ヘッド 72 a ~ 72 d、74₁ ~ 74₅、76₁ ~ 76₅ 等、計測器系の補正情報が記憶されている。なお、図 6 においては、前述した照度むらセンサ 94、空間像計測器 96 及び波面収差計測器 98 などの計測ステージ M S T に設けられた各種センサが、纏めてセンサ群 99 として示されている。

【0128】

次に、Z ヘッド 72 a ~ 72 d、74₁ ~ 74₅、及び 76₁ ~ 76₅ の構成等について、図 7 に示される Z ヘッド 72 a を代表的に採り上げて説明する。

【0129】

Z ヘッド 72 a は、図 7 に示されるように、フォーカスセンサ F S、フォーカスセンサ F S を収納したセンサ本体 Z H 及びセンサ本体 Z H を Z 軸方向に駆動する駆動部 (不図示)、並びにセンサ本体 Z H の Z 軸方向の変位を計測する計測部 Z E 等を備えている。

【0130】

フォーカスセンサ F S としては、プローブビーム L B を計測対象面 S に照射し、その反射光を受光することで、計測対象面 S の変位を光学的に読み取る、C D ドライブ装置などで用いられる光ピックアップと同様の光学式変位センサが用いられている。フォーカスセンサの構成等については、後述する。フォーカスセンサ F S の出力信号は、不図示の駆動部に送られる。

【0131】

駆動部 (不図示) は、アクチュエータ、例えばボイスコイルモータを含み、該ボイスコイルモータの可動子及び固定子の一方は、センサ本体 Z H に、他方はセンサ本体 Z H 及び計測部 Z E 等を収容する不図示の筐体の一部に、それぞれ固定されている。この駆動部は、フォーカスセンサ F S からの出力信号に従って、センサ本体 Z H と計測対象面 S との距離を一定に保つように (より正確には、計測対象面 S をフォーカスセンサ F S の光学系のベストフォーカス位置に保つように)、センサ本体 Z H を Z 軸方向に駆動する。これにより、センサ本体 Z H は計測対象面 S の Z 軸方向の変位に追従し、フォーカスロック状態が保たれる。

【0132】

計測部 Z E としては、本実施形態では、一例として回折干渉方式のエンコーダが用いら

10

20

30

40

50

れている。計測部 Z E は、センサ本体 Z H の上面に固定された Z 軸方向に延びる支持部材 S M の側面に設けられた Z 軸方向を周期方向とする反射型の回折格子 E G と、該回折格子 E G に対向して不図示の筐体に取り付けられたエンコーダヘッド E H とを含む。エンコーダヘッド E H は、プローブビーム E L を回折格子 E G に照射し、回折格子 E G からの反射・回折光を受光素子で受光することで、プローブビーム E L の照射点の、基準点（例えば原点）からの変位を読み取ることで、センサ本体 Z H の Z 軸方向の変位を読み取る。

【 0 1 3 3 】

本実施形態では、上述のように、フォーカスロック状態では、センサ本体 Z H は、計測対象面 S との距離を一定に保つように、Z 軸方向に変位する。従って、計測部 Z E のエンコーダヘッド E H が、センサ本体 Z H の Z 軸方向の変位を計測することにより、計測対象面 S の面位置（Z 位置）が計測される。このエンコーダヘッド E H の計測値が、Z ヘッド 7 2 a の計測値として前述の信号処理・選択装置 1 7 0 を介して主制御装置 2 0 に供給される。

10

【 0 1 3 4 】

フォーカスセンサ F S は、一例として、図 8 (A) に示されるように、照射系 F S ₁、光学系 F S ₂、受光系 F S ₃ の 3 つの部分を含む。

【 0 1 3 5 】

照射系 F S ₁ は、例えばレーザダイオードから成る光源 L D と、該光源 L D から射出されるレーザ光の光路上に配置された回折格子板（回折光学素子）Z G とを含む。

【 0 1 3 6 】

光学系 F S ₂ は、一例として回折格子板 Z G で発生するレーザ光の回折光、すなわちプローブビーム L B ₁ の光路上に順次配置された偏光ビームスプリッタ P B S、コリメータレンズ C L、四分の一波長板（ $\lambda/4$ 板）W P 及び対物レンズ O L 等を含む。

20

【 0 1 3 7 】

受光系 F S ₃ は、一例として、プローブビーム L B ₁ の計測対象面 S での反射ビーム L B ₂ の戻り光路上に順次配置された円筒レンズ C Y L 及び四分割受光素子 Z D を含む。

【 0 1 3 8 】

フォーカスセンサ F S によると、照射系 F S ₁ の光源 L D で発生した直線偏光のレーザ光が回折格子板 Z G に照射され、該回折格子板 Z G で回折光（プローブビーム）L B ₁ が発生する。このプローブビーム L B ₁ の中心軸（主光線）は、Z 軸と平行で、且つ計測対象面 S に直交する。

30

【 0 1 3 9 】

そして、プローブビーム L B ₁、すなわち偏光ビームスプリッタ P B S の分離面に対して P 偏光となる偏光成分の光が、光学系 F S ₂ に入射する。光学系 F S ₂ 内では、プローブビーム L B ₁ は、偏光ビームスプリッタ P B S を透過し、コリメータレンズ C L で平行ビームに変換され、 $\lambda/4$ 板 W P を透過して、円偏光となって対物レンズ O L で集光され、計測対象面 S に照射される。これにより、計測対象面 S でプローブビーム L B ₁ の入射光とは逆向きの円偏光である反射光（反射ビーム）L B ₂ が発生する。そして、反射ビーム L B ₂ は、入射光（プローブビーム L B ₁）の光路を逆に辿って、対物レンズ O L、 $\lambda/4$ 板 W P、コリメータレンズ C L を透過し、偏光ビームスプリッタ P B S に向かう。この場合、 $\lambda/4$ 板 W P を 2 回透過することにより、反射ビーム L B ₂ は S 偏光に変換されている。このため、反射ビーム L B ₂ は、偏光ビームスプリッタ P B S の分離面で進行方向を折り曲げられ、受光系 F S ₃ へ送られる。

40

【 0 1 4 0 】

受光系 F S ₃ では、反射ビーム L B ₂ は円筒レンズ C Y L を透過して、四分割受光素子 Z D の検出面に照射される。ここで、円筒レンズ C Y L は、いわゆる「かまぼこ型」のレンズで、図 8 (B) に示されるように、Y Z 断面は Y 軸方向に凸部を向けた凸形状を有するとともに、図 8 (C) に示されるように、X Y 断面は矩形状を有する。このため、円筒レンズ C Y L を透過する反射ビーム L B ₂ は、Z 軸方向と X 軸方向とでその断面形状が非対称に絞られ、非点収差が発生する。

50

【0141】

四分割受光素子 Z D は、その検出面で反射ビーム L B₂を受光する。四分割受光素子 Z D の検出面は、図 9 (A) に示されるように、全体として正方形で、その 2 本の対角線を分離線として、4 つの検出領域 a , b , c , d に等分割されている。検出面の中心を O_{Z D} とする。

【0142】

ここで、図 8 (A) に示される理想フォーカス状態 (ピントの合った状態)、すなわちプローブビーム L B₁ が計測対象面 S₀ 上に焦点を結ぶ状態では、反射ビーム L B₂ の検出面上での断面形状は、図 9 (C) に示されるように、中心 O_{Z D} を中心とする円形となる。

10

【0143】

また、図 8 (A) において、プローブビーム L B₁ が計測対象面 S₁ 上に焦点を結ぶ、いわゆる前ピン状態 (すなわち計測対象面 S が理想位置 S₀ にあり、四分割受光素子 Z D が、図 8 (B) 及び図 8 (C) において符号 1 で示す位置にある状態と等価な状態) では、反射ビーム L B₂ の検出面上での断面形状は、図 9 (B) に示されるような中心 O_{Z D} を中心とする横長の長円形となる。

【0144】

また、図 8 (A) において、プローブビーム L B₁ が計測対象面 S₋₁ 上に焦点を結ぶ、いわゆる後ピン状態、(すなわち計測対象面 S が理想位置 S₀ にあり、四分割受光素子 Z D が、図 8 (B) 及び図 8 (C) において符号 - 1 で示す位置にある状態と等価な状態) では、反射ビーム L B₂ の検出面上での断面形状は、図 9 (D) に示されるような中心 O_{Z D} を中心とする縦長の長円形となる。

20

【0145】

四分割受光素子 Z D に接続された不図示の演算回路では、4 つの検出領域 a , b , c , d で受光する光の強度をそれぞれ I a , I b , I c , I d として、次式 (7) で表されるフォーカスエラー I を算出し、不図示の駆動部に出力する。

【0146】

$$I = (I a + I c) - (I b + I d) \quad \dots (7)$$

なお、上述の理想フォーカス状態では、4 つの検出領域のそれぞれにおけるビーム断面の面積は互いに等しいので、フォーカスエラー I = 0 が得られる。また、上述の前ピン状態では、式 (7) より、フォーカスエラー I < 0 となり、後ピン状態では、式 (7) より、フォーカスエラー I > 0 となる。

30

【0147】

不図示の駆動部は、フォーカスセンサ F S 内の検出部 F S₃ よりフォーカスエラー I を受信し、I = 0 を再現するように、フォーカスセンサ F S を格納したセンサ本体 Z H を Z 軸方向に駆動する。この駆動部の動作により、計測対象面 S の Z 変位に追従して、センサ本体 Z H も変位するため、プローブビームは必ず計測対象面 S 上で焦点を結ぶ、すなわちセンサ本体 Z H と計測対象面 S の間の距離は常に一定に保たれる (フォーカスロック状態が保たれる) 。

【0148】

一方、不図示の駆動部は、計測部 Z E の計測結果が Z ヘッド 7 2 a 外部からの入力信号に一致するように、センサ本体 Z H を Z 軸方向に駆動し、位置決めすることもできる。従って、実際の計測対象面 S の面位置とは異なる位置に、プローブビーム L B の焦点を位置させることもできる。この駆動部の動作 (スケールサーボ制御) により、後述する Z ヘッドの切り換えにおける復帰処理、出力信号の異常発生時における回避処理等、を実行することができる。

40

【0149】

本実施形態では、前述のように、計測部 Z E としてエンコーダを採用し、センサ本体 Z H に設置された回折格子 E G の Z 変位を、エンコーダヘッド E H を用いて読み取る。エンコーダヘッド E H は、基準点からの計測対象 (回折格子 E G) の変位を計測する相対位置

50

センサであるから、その基準点を定める必要がある。本実施形態では、回折格子EGの端部を検出する、あるいは回折格子EGに位置出しパターンが設けられている場合には、その位置出しパターンを検出することで、そのZ変位の基準位置（例えば原点）を定めても良い。いずれにしても、回折格子EGの基準位置に対応して計測対象面Sの基準面位置を定めることができ、その基準面位置からの計測対象面SのZ変位、すなわちZ軸方向の位置を計測することができる。なお、露光装置100の起動時等、Zヘッドの初回の起動時には、必ず、回折格子EGの基準位置（例えば原点）、（すなわち計測対象面Sの基準面位置）の設定が実行される。この場合において、基準位置は、センサ本体ZHの移動範囲の中央近傍に設定されていることが、望ましいので、その中央近傍の基準位置に対応する基準面位置が、フォーカスセンサFSの光学系の焦点位置に一致するように、光学系の焦点位置を調整するための駆動コイルを設けて対物レンズOLのZ位置を調整することとしても良い。

10

【0150】

Zヘッド72aでは、センサ本体ZH及び計測部ZEは、ともに不図示の筐体内部に格納されており、またプローブビームLB₁の筐体外部に露出する部分の光路長も極短いため、空気揺らぎの影響が非常に小さい。従って、Zヘッドを含むセンサは、例えばレーザ干渉計と比較しても、空気が揺らぐ程度の短い期間における計測安定性（短期安定性）に格段に優れている。

【0151】

その他のZヘッドも上述のZヘッド72aと同様に構成され機能する。このように、本実施形態では、各Zヘッドとして、エンコーダと同じくYスケール39Y₁、39Y₂等の回折格子面を上方（+Z方向）から観察する構成が採用されている。従って、複数のZヘッドで、ウエハテーブルWTB上面の異なる位置の面位置情報を計測することで、ウエハステージWSTのZ軸方向の位置とy回転（ローリング）及びx回転（ピッチング）を計測することができる。ただし、本実施形態では、露光の際、ウエハステージWSTのピッチング制御の精度は特に重要ではないため、Zヘッドを含む面位置計測システムではピッチングは計測しないこととし、ウエハテーブルWTB上のYスケール39Y₁、39Y₂にZヘッドが各1つ対向する構成とした。

20

【0152】

次に、本実施形態の露光装置100で行われるウエハW表面のZ軸方向に関する位置情報（面位置情報）の検出（以下、フォーカスマッピングと呼ぶ）について説明する。

30

【0153】

このフォーカスマッピングに際しては、主制御装置20は、図10(A)に示されるように、Xスケール39X₂に対向するXヘッド66₃（Xリニアエンコーダ70D）と、Yスケール39Y₁、Y₂にそれぞれ対向する2つのYヘッド68₂、67₃（Yリニアエンコーダ70A、70C）とに基づいてウエハステージWSTのXY平面内の位置を管理している。この図10(A)の状態では、前述の基準軸LVに、ウエハテーブルWTBの中心（ウエハWの中心にほぼ一致）を通るY軸に平行な直線（センターライン）が一致した状態となっている。また、ここでは、図示が省略されているが、ウエハステージWSTの+Y側に計測ステージMSTがあり、前述したFDバー46及びウエハテーブルWTBと投影光学系PLの先端レンズ191との間に水が保持されている（図18参照）。

40

【0154】

そして、この状態で、主制御装置20は、ウエハステージWSTの+Y方向への走査（スキャン）を開始し、この走査開始後、ウエハステージWSTが+Y方向に移動して、多点AF系（90a、90b）の検出ビーム（検出領域AF）がウエハW上に掛かり始めるまでの間に、Zヘッド72a～72dと多点AF系（90a、90b）とを共に作動させる（ONにする）。

【0155】

そして、このZヘッド72a～72dと多点AF系（90a、90b）とが同時に作動している状態で、図10(B)に示されるように、ウエハステージWSTが+Y方向へ進

50

行している間に、所定のサンプリング間隔で、Zヘッド72a~72dで計測されるウエハテーブルW T B表面(プレート28の表面)のZ軸方向に関する位置情報(面位置情報)と、多点A F系(90a, 90b)で検出される複数の検出点におけるウエハW表面のZ軸方向に関する位置情報(面位置情報)とを、取り込み、その取り込んだ各面位置情報と各サンプリング時のYリニアエンコーダ70F₁, 70E₁の計測値との三者を相互に対応付けて不図示のメモリに逐次格納する。

【0156】

そして、多点A F系(90a, 90b)の検出ビームがウエハWに掛からなくなると、主制御装置20は、上記のサンプリングを終了し、多点A F系(90a, 90b)の各検出点についての面位置情報を、同時に取り込んだZヘッド72a~72dによる面位置情報を基準とするデータに換算する。

10

【0157】

これをさらに詳述すると、Zヘッド72a, 72bの計測値の平均値に基づいて、プレート28の-X側端部近傍の領域(Yスケール39Y₂が形成された領域)上の所定の点(例えば、Zヘッド72a, 72bそれぞれの計測点の midpoint、すなわち多点A F系(90a, 90b)の複数の検出点の配列とほぼ同一のX軸上の点に相当: 以下、この点を左計測点P1と呼ぶ)における面位置情報を求める。また、Zヘッド72c, 72dの計測値の平均値に基づいて、プレート28の+X側端部近傍の領域(Yスケール39Y₁が形成された領域)上の所定の点(例えば、Zヘッド72c, 72dそれぞれの計測点の midpoint、すなわち多点A F系(90a, 90b)の複数の検出点の配列とほぼ同一のX軸上の点に相当: 以下、この点を右計測点P2と呼ぶ)における面位置情報を求める。そして、主制御装置20は、図10(C)に示されるように、多点A F系(90a, 90b)の各検出点における面位置情報を、左計測点P1の面位置と右計測点P2の面位置とを結ぶ直線を基準とする面位置データz1~zkに換算する。このような換算を、主制御装置20は、全てのサンプリング時に取り込んだ情報について行う。

20

【0158】

このようにして、予め上記の換算データを取得しておくことで、例えば、露光の際などには、主制御装置20は、前述のZヘッド74_i, 76_jでウエハテーブルW T B表面(Yスケール39Y₂が形成された領域上の点(上記の左計測点P1の近傍の点)、及びYスケール39Y₁が形成された領域上の点(上記の右計測点P2の近傍の点))を計測して、ウエハステージW S TのZ位置とy回転(ローリング)量yを算出する。そして、これらのZ位置とローリング量yとY干渉計16で計測されるウエハステージW S Tのx回転(ピッチング)量xとを用いて、所定の演算を行い、前述の露光領域I Aの中心(露光中心)におけるウエハテーブルW T B表面のZ位置(Z₀)、ローリング量y及びピッチング量xとを算出し、この算出結果に基づいて、上述の左計測点P1の面位置と右計測点P2の面位置とを結ぶ、露光中心を通る直線を求め、この直線と面位置データz1~zkとを用いることで、ウエハW表面の面位置情報を実際に取得することなく、ウエハW上面の面位置制御(フォーカス・レベリング制御)が可能になる。従って、多点A F系を投影光学系P Lから離れた位置に配置しても何ら支障がないので、ワーキング距離が狭い露光装置などであっても、本実施形態のフォーカスマッピングは好適に適用できる。

30

40

【0159】

なお、上記の説明では、左計測点P1の面位置と右計測点P2の面位置とをZヘッド72a, 72bの計測値の平均値、Zヘッド72c, 72dの平均値にそれぞれ基づいて算出するものとしたが、これに限らず、多点A F系(90a, 90b)の各検出点における面位置情報を、例えばZヘッド72a, 72cによって計測される面位置を結ぶ直線を基準とする面位置データに換算しても良い。この場合、各サンプリングタイミングで取得したZヘッド72aの計測値とZヘッド72bの計測値との差、及びZヘッド72cの計測値とZヘッド72dの計測値との差をそれぞれ求めておく。そして、露光時などに面位置制御を行う際に、Zヘッド74_i及び76_jでウエハテーブルW T B表面を計測してウエハ

50

ステージWSTのZ位置と γ 回転を算出し、これらの算出値と、Y干渉計16で計測されたウエハステージWSTのピッチング量 x と、前述の面位置データ $z_1 \sim z_k$ 及び前記差とを用いて所定の演算を行うことで、ウエハ表面の面位置情報を実際に取得することなく、ウエハWの面位置制御を行うことが可能になる。

【0160】

ただし、以上の説明は、ウエハテーブルWTB表面にX軸方向に関して凹凸が存在しないことを前提にしている。従って、以下では、説明の簡略化のため、ウエハテーブルWTB表面には、X軸方向及びY軸方向に関して凹凸は存在しないものとする。

【0161】

次に、フォーカスキャリブレーションについて説明する。フォーカスキャリブレーションとは、ある基準状態におけるウエハテーブルWTBのX軸方向の一侧と他側の端部における面位置情報と、多点AF系(90a, 90b)の計測プレート30表面の代表的な検出点における検出結果(面位置情報)との関係を求める処理(フォーカスキャリブレーションの前半の処理)と、上記の基準状態と同様の状態において、空間像計測装置45を用いて検出した投影光学系PLのベストフォーカス位置に対応する、ウエハテーブルWTBのX軸方向の一侧と他側の端部における面位置情報を求める処理(フォーカスキャリブレーションの後半の処理)とを行い、これらの処理結果に基づいて、多点AF系(90a, 90b)の代表的な検出点におけるオフセット、すなわち投影光学系PLのベストフォーカス位置と多点AF系の検出原点との偏差を求めるなどの処理を意味する。

【0162】

フォーカスキャリブレーションに際して、主制御装置20は、図11(A)に示されるように、Xスケール39X₂に対向するXヘッド66₂(Xリニアエンコーダ70D)と、Yスケール39Y₁, 39Y₂にそれぞれ対向する2つのYヘッド68₂, 67₃(Yリニアエンコーダ70A, 70C)とに基づいて、ウエハステージWSTのXY平面内の位置を管理している。この図11(A)の状態は、前述の図10(A)の状態とほぼ同じ状態である。ただし、この図11(A)の状態では、ウエハテーブルWTBは、Y軸方向に関しては、前述した計測プレート30に多点AF系(90a, 90b)からの検出ビームが照射される位置にある。

【0163】

(a) この状態で、主制御装置20は、次のようなフォーカスキャリブレーションの前半の処理を行う。すなわち、主制御装置20は、多点AF系(90a, 90b)の検出領域の両端部に位置する検出点それぞれの近傍の前述したZヘッド72a, 72b, 72c, 72dによって検出されるウエハテーブルWTBのX軸方向の一侧と他側の端部における面位置情報を検出しつつ、その面位置情報を基準として、多点AF系(90a, 90b)を用いて前述の計測プレート30(図4(A)参照)表面の面位置情報を検出する。これにより、基準軸LVにウエハテーブルWTBのセンターラインが一致した状態におけるZヘッド72a, 72b, 72c, 72dの計測値(ウエハテーブルWTBのX軸方向の一侧と他側の端部における面位置情報)と、多点AF系(90a, 90b)の計測プレート30表面の検出点(複数の検出点のうち中央又はその近傍に位置する検出点)における検出結果(面位置情報)との関係が求まる。

【0164】

(b) 次に、主制御装置20は、ウエハステージWSTを+Y方向に所定距離移動させ、計測プレート30が投影光学系PLの直下に配置される位置でウエハステージWSTを停止させる。そして、主制御装置20は、次のようなフォーカスキャリブレーションの後半の処理を行う。すなわち、主制御装置20は、図11(B)に示されるように、上述のフォーカスキャリブレーションの前半の処理のときと同様に、Zヘッド72a~72dによって計測される面位置情報を基準として、計測プレート30(ウエハステージWST)の投影光学系PLの光軸方向に関する位置(Z位置)を制御しつつ、空間像計測装置45を用いて、レチクルR、又はレチクルステージRST上の不図示のマーク板に形成された計測マークの空間像を、例えば国際公開第2005/124834号などに開示される、

10

20

30

40

50

Z方向スキャン計測で計測し、その計測結果に基づいて投影光学系PLのベストフォーカス位置を測定する。主制御装置20は、上記のZ方向スキャン計測中、空間像計測装置45からの出力信号の取り込みと同期して、ウエハテーブルWTBのX軸方向の一側と他側の端部における面位置情報を計測する一対のZヘッド74₃、76₃の計測値を取り込む。そして、投影光学系PLのベストフォーカス位置に対応するZヘッド74₃、76₃の値を不図示のメモリに記憶する。なお、フォーカスキャリブレーションの後半の処理で、Zヘッド72a~72dによって計測される面位置情報を基準として、計測プレート30(ウエハステージWST)の投影光学系PLの光軸方向に関する位置(Z位置)を制御するのは、このフォーカスキャリブレーションの後半の処理は、前述したフォーカスマッピングの途中で行なわれるからである。

10

【0165】

この場合、図11(B)に示されるように、液浸領域14が投影光学系PLと計測プレート30(ウエハテーブルWTB)との間に形成されているので、上記の空間像の計測は、投影光学系PL及び水を介して行われる。また、図11(B)では図示が省略されているが、空間像計測装置45の計測プレート30などはウエハステージWST(ウエハテーブルWTB)に搭載され、受光素子などは計測ステージMSTに搭載されているので、上記の空間像の計測は、ウエハステージWSTと計測ステージMSTとが、接触状態(又は近接状態)を保ったままで行われる(図20参照)。

【0166】

(c) これにより、主制御装置20は、上記(a)のフォーカスキャリブレーション前半の処理で求めたZヘッド72a~72dの計測値(ウエハテーブルWTBのX軸方向の一側と他側の端部における面位置情報)と、多点AF系(90a, 90b)による計測プレート30表面の検出結果(面位置情報)との関係と、上記(b)のフォーカスキャリブレーション後半の処理で求めた投影光学系PLのベストフォーカス位置に対応するZヘッド74₃、76₃の計測値(すなわち、ウエハテーブルWTBのX軸方向の一側と他側の端部における面位置情報)とに基づいて、多点AF系(90a, 90b)の代表的な検出点におけるオフセット、すなわち投影光学系PLのベストフォーカス位置と多点AF系の検出原点との偏差を求めることが可能になる。本実施形態では、この代表的な検出点は、例えば複数の検出点の中央又はその近傍の検出点であるが、その数及び/又は位置などは任意で良い。この場合において、主制御装置20は、その代表的な検出点におけるオフセットが零になるように多点AF系の検出原点の調整を行う。この調整は、例えば、受光系90b内部の不図示の平行平板の角度調整によって光学的に行っても良いし、あるいは電氣的に検出オフセットを調整しても良い。又は、検出原点の調整を行わず、そのオフセットを記憶しておいても良い。ここでは、上記の光学的手法により、その検出原点の調整が行われるものとする。これにより、多点AF系(90a, 90b)のフォーカスキャリブレーションが終了する。なお、光学的な検出原点の調整では、代表的な検出点以外の残りの検出点全てでそのオフセットを零にすることは難しいので、残りの検出点では光学的な調整後のオフセットを記憶しておくことが好ましい。

20

30

【0167】

次に、多点AF系(90a, 90b)の複数の検出点に個別に対応する複数の受光素子(センサ)間の検出値のオフセット補正(以下、AFセンサ間オフセット補正と呼ぶ)について説明する。

40

【0168】

このAFセンサ間オフセット補正に際しては、主制御装置20は、図12(A)に示されるように、所定の基準平面を備えた前述のFDバー46に対して多点AF系(90a, 90b)の照射系90aから検出ビームを照射させ、FDバー46表面(基準平面)からの反射光を受光した多点AF系(90a, 90b)の受光系90bからの出力信号を取り込む。

【0169】

この場合において、FDバー46表面が、XY平面に平行に設定されているのであれば

50

、主制御装置 20 は、上述の如くして取り込んだ出力信号に基づいて、複数の検出点に個別に対応する、受光系 90 b 内の複数のセンサの検出値（計測値）の関係を求め、その関係をメモリに記憶する、あるいは、全てのセンサの検出値が、例えば、前述のフォーカスキャリブレーションの際の代表的な検出点に対応するセンサの検出値と同一値となるように、各センサの検出オフセットを電氣的に調整することで、AF センサ間オフセット補正を行うことができる。

【0170】

しかるに、本実施形態では、多点 AF 系（90 a , 90 b）の受光系 90 b からの出力信号の取り込みの際に、主制御装置 20 は、図 12（A）に示されるように、Z ヘッド 74₄ , 74₅ , 76₁ , 76₂ を用いて計測ステージ M S T（F D バー 46 と一体）の表面の傾きを検出しているため、必ずしも F D バー 46 表面を X Y 平面に平行に設定する必要はない。すなわち、図 12（B）に模式的に示されるように、各検出点における検出値が、それぞれ同図中の矢印で示されるような値になっており、検出値の上端を結ぶ線が同図中の点線で示されるような凹凸があるものとすれば、その検出値の上端を結ぶ線が同図中の実線で示されるようになるように、各検出値を調整すれば良い。

【0171】

次に、本実施形態の露光装置 100 における、ウエハステージ W S T と計測ステージ M S T とを用いた並行処理動作について、図 13 ~ 図 23 に基づいて説明する。なお、以下の動作中、主制御装置 20 によって、局所液浸装置 8 の液体供給装置 5 及び液体回収装置 6 の各バルブの開閉制御が前述したようにして行われ、投影光学系 P L の先端レンズ 191 の射出面側には常時水が満たされている。しかし、以下では、説明を分かり易くするため、液体供給装置 5 及び液体回収装置 6 の制御に関する説明は省略する。また、以後の動作説明は、多数の図面を用いて行うが、図面毎に同一の部材に符号が付されていたり、付されていなかったりしている。すなわち、図面毎に、記載している符号が異なっているが、それら図面は符号の有無に関わらず、同一構成である。これまでに説明に用いた、各図面についても同様である。

【0172】

図 13 には、ウエハステージ W S T 上に載置されたウエハ W に対するステップ・アンド・スキャン方式の露光が行われている状態が示されている。この露光は、開始前に行われるウエハアライメント（E G A : Enhanced Global Alignment）等の結果に基づいて、ウエハ W 上の各ショット領域の露光のための走査開始位置（加速開始位置）へウエハステージ W S T を移動するショット間移動と、各ショット領域に対してレチクル R に形成されたパターンを走査露光方式で転写する走査露光と、を繰り返すことにより行われる。また、露光は、ウエハ W 上の - Y 側に位置するショット領域から + Y 側に位置するショット領域の順で行われる。なお、投影ユニット P U とウエハ W との間に液浸領域 14 が形成された状態で行われる。

【0173】

上述の露光中、主制御装置 20 により、ウエハステージ W S T（ウエハテーブル W T B）の X Y 平面内の位置（z 方向の回転を含む）は、2つの Y エンコーダ 70 A , 70 C と、2つの X エンコーダ 70 B , 70 D の一方との合計 3つのエンコーダの計測結果に基づいて制御されている。ここで、2つの X エンコーダ 70 B , 70 D は、X スケール 39 X₁ , 39 X₂ のそれぞれに対向する 2つの X ヘッド 66 によって構成され、2つの Y エンコーダ 70 A , 70 C は、Y スケール 39 Y₁ , 39 Y₂ のそれぞれに対向する Y ヘッド 65 , 64 により構成される。また、ウエハステージ W S T の Z 位置と y 方向の回転（ローリング）は、ウエハテーブル W T B 表面の X 軸方向一側と他側の端部にそれぞれ対向する、ヘッドユニット 62 C , 62 A にそれぞれ属する Z ヘッド 74_i , 76_j の計測値に基づいて制御されている。ウエハステージ W S T の x 回転（ピッチング）は、Y 干渉計 16 の計測値に基づいて制御されている。なお、ウエハテーブル W T B の第 2 撥水板 28 b の表面に Z ヘッド 74_i , 76_j を含む 3 個以上の Z ヘッドが対向する場合には、Z ヘッド 74_i , 76_j 及びその他の 1 つの Z ヘッドの計測値に基づいて、ウエハステージ W S T の

Z軸方向の位置、 y 回転（ローリング）及び x 回転（ピッチング）を制御することも可能である。いずれにしても、ウエハステージWSTのZ軸方向の位置、 y 方向の回転、及び x 方向の回転の制御（すなわちウエハWのフォーカス・レベリング制御）は、事前に行われるフォーカスマッピングの結果に基づいて行われている。

【0174】

図13に示される、ウエハステージWSTの位置では、Xスケール39 X_1 にはXヘッド66₅（図13中に丸で囲んで示されている）が対向するが、Xスケール39 X_2 に対向するXヘッド66はない。そのため、主制御装置20は、1つのXエンコーダ70Bと2つのYエンコーダ70A, 70Cを用いて、ウエハステージWSTの位置（ X, Y, z ）制御を実行している。ここで、図13に示される位置からウエハステージWSTが $-Y$ 方向に移動すると、Xヘッド66₅はXスケール39 X_1 から外れ（対向しなくなり）、代わりにXヘッド66₄（図13中に破線の丸で囲んで示されている）がXスケール39 X_2 に対向する。そこで、主制御装置20は、1つのXエンコーダ70Dと2つのYエンコーダ70A, 70Cを用いるウエハステージWSTの位置（ X, Y, z ）制御に切り換える。

10

【0175】

また、図13に示される位置にウエハステージWSTがあるとき、Zヘッド74₃, 76₃（図13中に丸で囲んで示されている）がそれぞれYスケール39 Y_2 , 39 Y_1 に対向している。そのため、主制御装置20は、Zヘッド74₃, 76₃を用いて、ウエハステージWSTの位置（ Z, y ）制御を実行している。ここで、図13に示される位置からウエハステージWSTが $+X$ 方向に移動すると、Zヘッド74₃, 76₃は対応するYスケールから外れ、代わりにZヘッド74₄, 76₄（図13中に破線の丸で囲んで示されている）がそれぞれYスケール39 Y_2 , 39 Y_1 に対向する。そこで、主制御装置20は、Zヘッド74₄, 76₄を用いるウエハステージWSTの位置（ Z, y ）制御に切り換える。

20

【0176】

このように、主制御装置20は、ウエハステージWSTの位置座標に応じて、使用するエンコーダとZヘッドとを絶えず切り換えて、ウエハステージWSTの位置制御を実行している。

【0177】

なお、上述の計測器系を用いたウエハステージWSTの位置計測と独立に、干渉計システム118を用いたウエハステージWSTの位置（ X, Y, Z, x, y, z ）計測が、常時、行われている。ここで、干渉計システム118を構成するX干渉計126, 127, 又は128を用いてウエハステージWSTのX位置と z 回転（ヨーイング）、又はX位置が、Y干渉計16を用いてY位置、 x 回転、及び z 回転が、Z干渉計43A, 43B（図13では不図示、図1又は2を参照）を用いてY位置、Z位置、 y 回転、及び z 回転が計測される。X干渉計126, 127, 及び128は、ウエハステージWSTのY位置に応じて、いずれか1つが使用される。露光中は、図13に示されるように、X干渉計126が使用される。干渉計システム118の計測結果は、ピッチング（ x 回転）を除き、補助的に、又は、後述するバックアップの際、あるいはエンコーダシステム150による計測が出来ないときなどにウエハステージWSTの位置制御に利用される。

30

40

【0178】

ウエハWの露光が終了すると、主制御装置20は、ウエハステージWSTをアンローディングポジションUPに向けて駆動する。その際、露光中には互いに離れていたウエハステージWSTと計測ステージMSTとが、接触或いは300 μm 程度の離間距離を挟んで近接して、スクラム状態に移行する。ここで、計測テーブルMTB上のFDバー46の $-Y$ 側面とウエハテーブルWTBの $+Y$ 側面とが接触或いは近接する。このスクラム状態を保って、両ステージWST, MSTが $-Y$ 方向に移動することにより、投影ユニットPUの下に形成される液浸領域14は、計測ステージMST上に移動する。例えば図14、図

50

15には、移動後の状態が示されている。

【0179】

ウエハステージWSTが、アンローディングポジションUPに向けて駆動が開始された後、更に-Y方向へ移動して有効ストローク領域（ウエハステージWSTが露光及びウエハアライメント時に移動する領域）から外れると、エンコーダ70A~70Dを構成する全てのXヘッド、Yヘッド及び全てのZヘッドが、ウエハテーブルWTB上の対応するスケールから外れる。そのため、エンコーダ70A~70D及びZヘッドの計測結果に基づくウエハステージWSTの位置制御が不可能になる。その直前に、主制御装置20は、干渉計システム118の計測結果に基づくウエハステージWSTの位置制御に切り換える。ここで、3つのX干渉計126, 127, 128のうちX干渉計128が使用される。

10

【0180】

その後、ウエハステージWSTは、計測ステージMSTとのスクラム状態を解除し、図14に示されるように、アンローディングポジションUPに移動する。移動後、主制御装置20は、ウエハテーブルWTB上のウエハWをアンロードする。そして、主制御装置20は、ウエハステージWSTを+X方向に駆動してローディングポジションLPに移動させ、図15に示されるように、ウエハテーブルWTB上に次のウエハWをロードする。

【0181】

これらの動作と平行して、主制御装置20は、計測ステージMSTに支持されたFDバー46のXY平面内での位置調整と、4つのセカンダリアライメント系AL2₁~AL2₄のベースライン計測と、を行うSec-BCHK（セカンダリ・ベースライン・チェック）を実行する。Sec-BCHKはウエハ交換毎にインターバル的に行う。ここで、XY平面内の位置（z回転）を計測するために、前述のYエンコーダ70E₂, 70F₂が使用される。

20

【0182】

次に、主制御装置20は、図16に示されるように、ウエハステージWSTを駆動し、計測プレート30上の基準マークFMをプライマリアライメント系AL1の検出視野内に位置決めし、アライメント系AL1, AL2₁~AL2₄のベースライン計測の基準位置を決定するPri-BCHK（プライマリ・ベースライン・チェック）の前半の処理を行う。

【0183】

このとき、図16に示されるように、2つのYヘッド68₂, 67₃と1つのXヘッド66₁（図中に丸で囲んで示されている）が、それぞれYスケール39Y₁, 39Y₂とXスケール39X₂に対向するようになる。そこで、主制御装置20は、干渉計システム118からエンコーダシステム150（エンコーダ70F₁, 70E₁, 70D）を用いたステージ制御へ切り換える。干渉計システム118は、x回転の計測を除き、再び補助的に使用される。なお、3つのX干渉計126, 127, 128のうちX干渉計127が使用される。

30

【0184】

次に、主制御装置20は、上述の3つのエンコーダの計測値に基づいて、ウエハステージWSTの位置を管理しつつ、3つのファーストアライメントショット領域に付設されたアライメントマークを検出する位置へ向けてのウエハステージWSTの+Y方向の移動を開始する。

40

【0185】

そして、ウエハステージWSTが図17に示される位置に到達すると、主制御装置20は、ウエハステージWSTを停止する。これに先立って、主制御装置20は、Zヘッド72a~72dの全部又は一部がウエハテーブルWTBと対向した時点又はその前の時点で、それらZヘッド72a~72dを作動させ（オンにし）、ウエハステージWSTのZ位置及び傾斜（y回転）の計測を開始する。

【0186】

ウエハステージWSTの停止後、主制御装置20は、プライマリアライメント系AL1, セカンダリアライメント系AL2₂, AL2₃を用いて、3つのファーストアライメントショット領域ASに付設されたアライメントマークをほぼ同時にかつ個別に検出し（図1

50

7中の星マーク参照)、上記3つのアライメント系 AL_1 , AL_2 , AL_3 の検出結果とその検出時の上記3つのエンコーダの計測値とを関連付けて不図示のメモリに格納する。

【0187】

上述のように本実施形態では、ファーストアライメントショット領域のアライメントマークの検出を行う位置で、計測ステージ MST とウエハステージ WST との接触状態(又は近接状態)への移行が完了している。そして、その位置から、主制御装置20によって、その接触状態(又は近接状態)での両ステージ WST , MST の+Y方向への移動(5つのセカンドアライメントショット領域に付設されたアライメントマークを検出する位置に向かってのステップ移動)が開始される。この両ステージ WST , MST の+Y方向への移動開始に先立って、主制御装置20は、図17に示されるように、多点AF系(90a, 90b)の検出ビームのウエハテーブル WTB への照射を開始する。これにより、ウエハテーブル WTB 上に多点AF系の検出領域が形成される。

10

【0188】

そして、上記の両ステージ WST , MST の+Y方向への移動中に、図18に示される位置に両ステージ WST , MST が到達すると、主制御装置20は、前述したフォーカスキャリブレーション前半の処理を行い、基準軸LVにウエハテーブル WTB のセンターラインが一致した状態におけるZヘッド72a, 72b, 72c, 72dの計測値(ウエハテーブル WTB のX軸方向の一侧と他側の端部における面位置情報)と、多点AF系(90a, 90b)による計測プレート30表面の検出結果(面位置情報)との関係を求める。

20

【0189】

そして、両ステージ WST , MST が接触状態(又は近接状態)を保ったまま+Y方向へ更に移動し、図19に示される位置に到達する。そこで、主制御装置20は、5つのアライメント系 AL_1 , AL_2 , AL_3 , AL_4 を用いて、5つのセカンドアライメントショット領域に付設されたアライメントマークをほぼ同時にかつ個別に検出し(図19中の星マーク参照)、上記5つのアライメント系 AL_1 , AL_2 , AL_3 , AL_4 の検出結果とその検出時のウエハステージ WST のXY平面内の位置を計測している3つのエンコーダの計測値とを関連付けて不図示のメモリ(又はメモリ34)に格納する。このとき、主制御装置20は、Xスケール39X₂に対向するXヘッド66₂(Xリニアエンコーダ70D)及びYリニアエンコーダ70A, 70Cの計測値に基づいて、ウエハステージ WST のXY平面内の位置を制御している。

30

【0190】

また、主制御装置20は、上記の5つのセカンドアライメントショット領域に付設されたアライメントマークの同時検出の終了後、接触状態(又は近接状態)での両ステージ WST , MST の+Y方向への移動を再び開始すると同時に、図19に示されるように、Zヘッド72a~72dと多点AF系(90a, 90b)とを用いた前述のフォーカスマッピングを開始する。

【0191】

そして、両ステージ WST , MST が、図20に示される計測プレート30が投影光学系PLの直下に配置される位置に到達すると、主制御装置20は、ウエハステージ WST の投影光学系PLの光軸方向に関する位置(Z位置)を制御に用いるZヘッドを、Zヘッド74_i, 76_jに切り換えることなく、Zヘッド72a~72dによって計測される面位置情報を基準とする、ウエハステージ WST (計測プレート30)のZ位置の制御を継続した状態で、前述したフォーカスキャリブレーション後半の処理を行う。

40

【0192】

そして、主制御装置20は、上述のフォーカスキャリブレーション前半の処理及び後半所の処理の結果に基づいて、前述した手順で、多点AF系(90a, 90b)の代表的な検出点におけるオフセットを求め、内部メモリに格納する。そして、主制御装置20は、露光時に、フォーカスマッピングの結果得られたマッピング情報を読み出す際に、そのマ

50

ッピング情報にオフセット分を加算することとしている。

【0193】

なお、この図20の状態では、前述のフォーカスマッピングは続行されている。

【0194】

上記の接触状態（又は近接状態）での両ステージWST, MSTの+Y方向の移動により、ウエハステージWSTが、図21に示される位置に達すると、主制御装置20は、ウエハステージWSTをその位置で停止させるとともに、計測ステージMSTについては、そのまま+Y方向への移動を続行させる。そして、主制御装置20は、5つのアライメント系AL1, AL2₁~AL2₄を用いて、5つのサードアライメントショット領域に付設されたアライメントマークをほぼ同時にかつ個別に検出し（図21中の星マーク参照）、上記5つのアライメント系AL1, AL2₁~AL2₄の検出結果とその検出時の上記3つのエンコーダの計測値とを関連付けて不図示のメモリに格納する。また、この時点でも、フォーカスマッピングは続行されている。

10

【0195】

一方、上記のウエハステージWSTの停止から所定時間後に、計測ステージMSTとウエハステージWSTとは、接触（又は近接状態）から離間状態に移行する。この離間状態に移行後、主制御装置20は、計測ステージMSTが、露光開始まで待機する露光開始待機位置に達すると、その位置で停止させる。

【0196】

次に、主制御装置20は、3つのフォースアライメントショットに付設されたアライメントマークを検出する位置へ向けてのウエハステージWSTの+Y方向への移動を開始する。このとき、フォーカスマッピングは続行されている。一方、計測ステージMSTは、上記露光開始待機位置で待機している。

20

【0197】

そして、ウエハステージWSTが図22に示される位置に到達すると、主制御装置20は、直ちにウエハステージWSTを停止させ、プライリアライメント系AL1, セカンダリアライメント系AL2₂, AL2₃を用いて、ウエハW上の3つのフォースアライメントショット領域に付設されたアライメントマークをほぼ同時にかつ個別に検出し（図22中の星マーク参照）、上記3つのアライメント系AL1, AL2₂, AL2₃の検出結果とその検出時の上記4つのエンコーダのうち3つのエンコーダの計測値とを関連付けて不図示のメモリに格納する。この時点でも、フォーカスマッピングは続行され、計測ステージMSTは、上記露光開始待機位置で待機したままである。そして、主制御装置20は、このようにして得た合計16個のアライメントマークの検出結果と対応するエンコーダの計測値とを用いて、例えば特開昭61-44429号公報（及び対応する米国特許第4,780,617号明細書）などに開示される統計演算を行って、エンコーダシステム150のエンコーダ70B, 70D, 70E₁, 70F₁の計測軸で規定される、アライメント座標系（プライリアライメント系AL1の検出中心を原点とするXY座標系）上におけるウエハW上の全てのショット領域の配列情報（座標値）を算出する。

30

【0198】

次に、主制御装置20は、ウエハステージWSTを再度+Y方向へ移動させながら、フォーカスマッピングを続行する。そして、多点AF系（90a, 90b）からの検出ビームがウエハW表面から外れると、図23に示されるように、フォーカスマッピングを終了する。

40

【0199】

その後、主制御装置20は、ウエハテーブルWTB（ウエハステージWST）を、ウエハW上のファーストショットの露光のための走査開始位置（露光開始位置）に移動させるが、その移動の途中で、ウエハステージWSTのZ位置、y回転及びx回転を維持したまま、ウエハステージWSTのZ位置、y回転の制御に用いるZヘッドを、Zヘッド72a~72dから、Zヘッド74_i、76_jに切り換える。その切り換え後、直ちに、主制御装置20は、前述のウエハアライメント（EGA）の結果及び最新の5つのアライメ

50

ント系 $AL1$, $AL2_1 \sim AL2_4$ のベースライン等に基づいて、ステップ・アンド・スキャン方式の露光を、液浸露光にて行い、ウエハ W 上の複数のショット領域にレチクルパターンを順次転写する。以降、同様の動作が繰り返し行われる。

【0200】

次に、 Z ヘッドの計測結果を用いた、ウエハステージ WST の Z 位置と傾斜量の算出方法について説明する。主制御装置 20 は、フォーカスキャリブレーションとフォーカスマッピング時には面位置計測システム 180 (図6参照) を構成する4つの Z ヘッド $70a \sim 70d$ を用いて、ウエハテーブル WTB の高さ Z と傾斜 (ローリング) y を計測する。また、主制御装置 20 は、露光時には2つの Z ヘッド 74_i , 76_j (i , j は $1 \sim 5$ のいずれか) を用いて、ウエハテーブル WTB の高さ Z と傾斜 (ローリング) y を計測する。なお、各 Z ヘッドは対応する Y スケール $39Y_1$ 又は $39Y_2$ の上面 (その上面に形成された反射型回折格子の面) にプローブビームを照射し、その反射光を受光することにより、各スケール (反射型回折格子) の面位置を計測する構成になっている。

10

【0201】

図24 (A) には、基準点 O において高さ Z_0 、 X 軸回りの回転角 (傾斜角) x 、 Y 軸回りの回転角 (傾斜角) y の2次元平面が示されている。この平面内の位置 (X , Y) における高さ Z は、次式 (8) の関数で与えられる。

$$f(X, Y) = -\tan y \cdot X + \tan x \cdot Y + Z_0 \dots \dots (8)$$

【0202】

図24 (B) に示されるように、露光時には、2つの Z ヘッド 74_i , 76_j (i , j は $1 \sim 5$ のいずれか) を用いて、ウエハテーブル WTB の移動基準面と投影光学系 PL の光軸 AX との交点 (基準点) O における、ウエハテーブル WTB の移動基準面 (XY 平面に実質的に平行な面) からの高さ Z とローリング y を計測する。ここでは、一例として Z ヘッド 74_3 , 76_3 を使用する。図24 (A) の例と同様に、基準点 O におけるウエハテーブル WTB の高さを Z_0 、 X 軸周りの傾斜 (ピッチング) を x 、 Y 軸周りの傾斜 (ローリング) を y とする。このとき、 XY 平面内で座標 (p_L , q_L) に位置する Z ヘッド 74_3 と座標 (p_R , q_R) に位置する Z ヘッド 76_3 のそれぞれが提示する Y スケール $39Y_1$, $39Y_2$ (に形成された反射型回折格子) の面位置の計測値 Z_L , Z_R は、式 (8) と同様の理論式 (9)、(10) に従う。

20

$$Z_L = -\tan y \cdot p_L + \tan x \cdot q_L + Z_0 \dots \dots (9)$$

$$Z_R = -\tan y \cdot p_R + \tan x \cdot q_R + Z_0 \dots \dots (10)$$

30

【0203】

従って、理論式 (9)、(10) より、基準点 O でのウエハテーブル WTB の高さ Z_0 とローリング y は、 Z ヘッド 74_3 , 76_3 の計測値 Z_L , Z_R を用いて、次式 (11)、(12) のように表される。

【0204】

$$Z_0 = \{ Z_L + Z_R - \tan x \cdot (q_L + q_R) \} / 2 \dots \dots (11)$$

$$\tan y = \{ Z_L - Z_R - \tan x \cdot (q_L - q_R) \} / (p_R - p_L) \dots (12)$$

【0205】

なお、 Z ヘッドの他の組み合わせを使用する場合も、理論式 (11)、(12) を用いることにより、基準点 O におけるウエハテーブル WTB の高さ Z_0 とローリング y を算出することができる。ただし、ピッチング x は、別のセンサシステム (本実施形態では干渉計システム 118) の計測結果を用いる。

40

【0206】

図24 (B) に示されるように、フォーカスキャリブレーションとフォーカスマッピング時には、4つの Z ヘッド $72a \sim 72d$ を用いて、多点 AF 系 ($90a$ 、 $90b$) の複数の検出点の中心点 O' における、ウエハテーブル WTB の高さ Z とローリング y を計測する。ここで、 Z ヘッド $72a \sim 72d$ は、それぞれ位置 (X , Y) = (p_a , q_a) , (p_b , q_b) , (p_c , q_c) , (p_d , q_d) に設置されている。これらの位置は

50

、図24(B)に示されるように、中心点O' = (Ox', Oy') に関して対称に、すなわち $p_a = p_b, p_c = p_d, q_a = q_c, q_b = q_d$ かつ $(p_a + p_c) / 2 = (p_b + p_d) / 2 = Ox', (q_a + q_b) / 2 = (q_c + q_d) / 2 = Oy'$ と、設定されている。

【0207】

Zヘッド72a, 72bの計測値Za, Zbの平均 $(Za + Zb) / 2$ より、位置 $(p_a = p_b, Oy')$ の点eでのウエハテーブルWTBの高さZeが、Zヘッド70c, 70dの計測値Zc, Zdの平均 $(Zc + Zd) / 2$ より、位置 $(p_c = p_d, Oy')$ の点fでのウエハテーブルWTBの高さZfが、求められる。ここで、中心点O'におけるウエハテーブルWTBの高さをZ0、Y軸周りの傾斜(ローリング)をyとすると、ZeとZfはそれぞれ理論式(13)、(14)に従う。

$$Z_e \{ = (Z_a + Z_b) / 2 \} = - \tan y \cdot (p_a + p_b - 2Ox') / 2 + Z_0 \dots (13)$$

$$Z_f \{ = (Z_c + Z_d) / 2 \} = - \tan y \cdot (p_c + p_d - 2Ox') / 2 + Z_0 \dots (14)$$

【0208】

従って、理論式(13)、(14)より、中心点O'でのウエハテーブルWTBの高さZ0とローリングyは、Zヘッド70a~70dの計測値Za~Zdを用いて、次式(15)、(16)で表される。

$$Z_0 = (Z_e + Z_f) / 2 = (Z_a + Z_b + Z_c + Z_d) / 4 \dots (15)$$

$$\tan y = - 2(Z_e - Z_f) / (p_a + p_b - p_c - p_d) = - (Z_a + Z_b - Z_c - Z_d) / (p_a + p_b - p_c - p_d) \dots (16)$$

【0209】

ただし、ピッチングxは、別のセンサシステム(本実施形態では干渉計システム118)の計測結果を用いる。

【0210】

図16に示されるように、干渉計システム118によるウエハステージWSTのサーボ制御からエンコーダシステム150(エンコーダ70A~70F)及び面位置計測システム180(Zヘッドシステム72a~72d, 74₁~74₅, 76₁~76₅)によるサーボ制御へ切り換えた直後では、Zヘッド72b, 72dの2つのみが対応するYスケール39Y₁, 39Y₂に対向しているため、式(15)、式(16)を用いて、中心点O'におけるウエハテーブルWTBのZ, y位置を算出することができない。この場合、次式(17)、(18)を適用する。

$$Z_0 = \{ Z_b + Z_d - \tan x \cdot (q_b + q_d - 2Oy') \} / 2 \dots (17)$$

$$\tan y = \{ Z_b - Z_d - \tan x \cdot (q_b - q_d) \} / (p_d - p_b) \dots (18)$$

【0211】

そして、ウエハステージWSTが+Y方向に移動し、それに伴いZヘッド72a, 72cが対応するYスケール39Y₁, 39Y₂に対向した後、上式(15)、(16)を適用する。

【0212】

前述のように、ウエハWに対する走査露光は、ウエハWの表面の凹凸に応じて、ウエハステージWSTをZ軸方向及び傾斜方向に微小駆動して、ウエハWの表面の露光領域IA部分が投影光学系PLの像面の焦点深度の範囲内に一致するように、ウエハWの面位置及び傾斜(フォーカス・レベリング)を調整した上で、行われる。そこで、走査露光に先立って、ウエハWの表面の凹凸(フォーカスマップ)を計測するフォーカスマッピングを実行する。ここで、ウエハWの表面の凹凸は、図10(B)に示されるように、ウエハステージWSTを+Y方向に移動させながら、所定のサンプリング間隔(すなわちY間隔)で、Zヘッド72a~72dを用いて計測されるウエハテーブルWTB(より正確には対応

10

20

30

40

50

する Y スケール $39Y_1$, $39Y_2$) の面位置を基準にして、多点 A F 系 ($90a$, $90b$) を用いて計測される。

【0213】

詳述すると、図 24 (B) に示されるように、Z ヘッド $72a$, $72b$ を用いて計測される Y スケール $39Y_2$ の面位置 Za , Zb の平均より、点 e におけるウエハテーブル W T B の面位置 Ze が、Z ヘッド $72c$, $72d$ を用いて計測される Y スケール $39Y_1$ の面位置 Zc , Zd の平均より、点 f におけるウエハテーブル W T B の面位置 Zf が、求まる。ここで、点 e と点 f を結ぶ X 軸に平行な直線 e f 上に、多点 A F 系の複数の検出点及びそれらの中心 O' が位置する。そこで、図 10 (C) に示されるように、ウエハテーブル W T B の点 e (図 10 (C) 中の P 1) における面位置 Ze と点 f (図 10 (C) 中の P 2) における面位置 Zf を結ぶ、次式 (19) で表される直線を基準にして、検出点 X_k におけるウエハ W の表面の面位置 Z_{0k} を、多点 A F 系 ($90a$, $90b$) を用いて計測する。

10

【0214】

$$Z(X) = -\tan y \cdot X + Z_0 \quad \dots \dots (19)$$

ただし、 Z_0 と $\tan y$ は、Z ヘッド $72a \sim 72d$ の計測結果 $Za \sim Zd$ を用いて、上式 (17)、(18) より求められる。得られた面位置の結果 Z_{0k} より、ウエハ W の表面の凹凸データ (フォーカスマップ) Z_k が、次式 (20) のように求められる。

$$Z_k = Z_{0k} - Z(X_k) \quad \dots \dots (20)$$

【0215】

露光時には、ショット領域毎に、上述のように求められたフォーカスマップ Z_k に従ってウエハステージ W S T を Z 軸方向及び傾斜方向に微小駆動することによって、前述と同様に、フォーカスが調整される。ここで、露光時には、Z ヘッド 74_i , 76_j ($i, j = 1 \sim 5$) を用いてウエハテーブル W T B (より正確には対応する Y スケール $39Y_2$, $39Y_1$) の面位置が計測される。そこで、フォーカスマップ Z_k の基準線 $Z(X)$ を再設定する。ただし、 Z_0 と $\tan y$ は、Z ヘッド 74_i , 76_j ($i, j = 1 \sim 5$) の計測結果 Z_L , Z_R を用いて、式 (11)、(12) より求められる。以上の手順により、ウエハ W の表面の面位置は $Z_k + Z(X_k)$ と換算される。

20

【0216】

本実施形態の露光装置 100 では、図 25 (A) 及び図 25 (B) に示されるように、ウエハステージ W S T の有効ストローク範囲 (アライメント及び露光動作、並びにフォーカスマッピングのために移動する範囲) では、必ず、Y スケール $39Y_1$, $39Y_2$ のそれぞれに少なくとも 1 つの Z ヘッド 76_j , 74_i (j, i は $1 \sim 5$ のいずれか) 又は $72a \sim 72d$ のいずれかが対向するように、Z ヘッドが配置されている。図 25 (A) 及び図 25 (B) において、対応する Y スケールに対向した Z ヘッドが丸で囲んで示されている。

30

【0217】

ここで、図 25 (A) に示されるようにウエハステージ W S T を白抜きの矢印方向 (+ X 方向) に駆動した場合、矢印 f_1 で示されるように、Y スケール $39Y_2$ に対向する Z ヘッドが、実線の丸で囲んで示される Z ヘッド 74_3 から点線の丸で囲んで示される Z ヘッド 74_4 へと切り換えられる。また、図 25 (B) に示されるようにウエハステージ W S T をさらに白抜きの矢印方向 (+ X 方向) に駆動した場合、矢印 f_2 で示されるように、Y スケール $39Y_1$ に対向する Z ヘッドが、実線の丸で囲んで示される Z ヘッド 76_3 から点線の丸で囲んで示される Z ヘッド 76_4 へと切り換えられる。このように、Z ヘッド 74_i , 76_j ($i, j = 1 \sim 5$) は、ウエハステージ W S T の X 軸方向への移動に伴い、順次、隣のヘッドに切り換えられていく。なお、Z ヘッドの切り換え時には、基準面位置 (原点) の設定と計測準備をおこなう復帰処理、あるいはさらに計測結果の連続性を保つためのつなぎ処理を実行する。これらの処理の詳細については、後述する。

40

【0218】

次に、図 25 (B) 中に矢印 f_2 で示される Z ヘッド 76_3 から 76_4 への切り換えを例

50

にとって、Zヘッドの切り換え手順を、図26(A)～図26(E)に基づいて、且つ適宜他の図を用いて説明する。図26(A)には、切り換え前の状態が示されている。この状態では、Yスケール39Y₁上の走査領域(回折格子が設けられている領域)に対向しているZヘッド76₃が作動していて、走査領域から外れているZヘッド76₄は停止している。ここでは、作動(フォーカスサーボ)しているZヘッドが黒塗りの丸で、停止又は待機(スケールサーボ)しているZヘッドが白抜き丸で、それぞれ示されている。主制御装置20により、作動中のZヘッド76₃の計測値に基づき、ウエハステージWSTの位置が算出される。ここでは、ウエハステージWSTの位置算出に使用されているZヘッドが、2重の丸枠で示されている。

【0219】

図26(A)の状態から、ウエハステージWSTが+X方向に移動すると、Yスケール39Y₁が+X方向に変位し、停止中のZヘッド76₄がYスケール39Y₁上の走査領域に近づく。そこで、主制御装置20は、Zヘッド76₄が走査領域からの所定の距離内に入るのを確認して、Zヘッド76₄の復帰処理を実行する。

【0220】

ここで、図27(A)～図27(C)を参照して、Zヘッド76₄の復帰処理を説明する。図27(A)に示されるように、Zヘッド76₄の基準面位置(原点)S₀は、前述のとおり露光装置100の起動時等、Zヘッドの初回起動時に設定されているものとする。

【0221】

主制御装置20は、作動中のZヘッド及び干渉計システム118の計測結果より求められるウエハステージWSTの3自由度(Z, y, x)方向の位置を用いて、復帰させるZヘッド76₄の計測値の予想値(すなわち、Yスケール39Y₁の予想面位置S)を、前述の式(8)の関数f(X, Y)より見積もる。ここで、X, Yには、Zヘッド76₄のX, Y位置を代入する。そして、主制御装置20は、図27(B)に示されるように、Zヘッド76₄の計測値が予想値と一致する(Zヘッド76₄が、計測値として予想値を出力する)ように、Zヘッド76₄内部の駆動部(不図示)を介してセンサ本体ZHをZ変位させ、プローブビームLBの焦点の予想面位置Sに一致させる。

【0222】

上述の復帰処理が終了した状態では、プローブビームLBの焦点の位置がYスケール39Y₁の予想面位置Sに一致している。なお、ウエハステージWSTの3自由度(Z, y, x)方向の動きとともに、Yスケール39Y₁の予想面位置Sも変位する。その変位に追従して、Zヘッド76₄のセンサ本体ZHもZ変位する。すなわち、Zヘッド76₄はYスケール39Y₁の予想面位置Sに対して追従サーボ(スケールサーボ)している。このような状態で、Zヘッド76₄を待機させる。

【0223】

ここで、本実施形態では、前述の如く、隣接するZヘッド74_i、76_jの相互のX軸方向の間隔は、Yスケール39Y₂、39Y₁のX軸方向の有効幅(走査領域の幅)よりも狭く設定されている。そのため、図26(B)に示されるように、Zヘッド76₃、76₄がYスケール39Y₁の走査領域に同時に対向する状態がある。そこで、主制御装置20は、図26(B)に示されるように、作動中のZヘッド76₃とともに待機(スケールサーボ)中のZヘッド76₄が走査領域に対向したのを確認した後に、図27(C)に示されるように、Zヘッド76₄のYスケール39Y₁の実際の面位置に対するフォーカスサーボを開始する。

【0224】

ただし、待機中(予想面位置に対するスケールサーボ中)、フォーカスセンサFSの出力であるフォーカスエラー(以下、適宜、単に、出力とも呼ぶ)Iを監視する。出力Iがゼロになれば、Yスケール39Y₁の予想面位置(すなわち、Zヘッドのプローブビームの焦点のZ位置)が実際の面位置に一致したと判断できる。そこで、主制御装置20は、上述のように、Zヘッド76₃、76₄がYスケール39Y₁の走査領域に対向し、それと

10

20

30

40

50

同時にフォーカスセンサ $F S$ の出力 I がゼロ又はほぼゼロ（所定値以下の値で実質的にゼロとみなせる値）になるのを確認してから、フォーカスサーボを開始する。このような手順の処理により、Zヘッドを、スケールサーボからフォーカスサーボへスムーズに移行させることができる。ただし、この時点では、Zヘッド 76_4 の計測値は監視するが、ウエハテーブル $W T B$ （ウエハステージ $W S T$ ）の位置算出（位置制御）には使用しない。

【0225】

次に、図26(C)に示されるように、後に停止されるZヘッド 76_3 が走査領域に対向している間に、主制御装置20は、ウエハステージ $W S T$ の2自由度（Z, y）方向の位置を算出するために使用するZヘッドを、Zヘッド 76_3 から 76_4 へ切り換える。ただし、この処理において、切り換え前後で算出されるウエハステージ $W S T$ の2自由度（Z, y）方向の位置は、一般に、不連続になる。そこで、必要に応じて、後述する計測値のつなぎ処理を実行する。つなぎ処理の終了後、使用するZヘッドを、Zヘッド 76_3 から 76_4 へ切り換える。切り換え終了後、図26(D)に示されるように、Zヘッド 76_3 を、走査領域から外れる前に待機（スケールサーボ）状態に移行させ、走査領域から十分離れたら停止する。以上でZヘッドの切り換えの全作業が終了し、以降、図26(E)に示されるように、Zヘッド 76_4 を使用する。

10

【0226】

本実施形態では、隣接するZヘッド 74_i （ $i = 1 \sim 5$ ）相互の間隔は例えば70mm（一部例外あり）と、Yスケール $39 Y_2$ の走査領域のX軸方向の有効幅、例えば76mmよりも狭く設定されている。また、同様に、隣接するZヘッド 76_j （ $j = 1 \sim 5$ ）相互の間隔は70mm（一部例外あり）と、Yスケール $39 Y_1$ の走査領域のX軸方向の有効幅76mmよりも狭く設定されている。これにより、上述のように、Zヘッド 74_i , 76_j （ $i, j = 1 \sim 5$ ）の切り換えを円滑に実行することができる。

20

【0227】

なお、隣接する2つのZヘッドの両方がスケールに対向する範囲、すなわち、図26(B)に示される状態から図26(D)に示される状態までのウエハステージ $W S T$ （ウエハテーブル $W T B$ ）の移動距離が6mmある。その中央、すなわち、図26(C)で示されるウエハステージ $W S T$ の位置で、計測値を監視するZヘッドが切り換えられる。この切り換え作業は、停止されるZヘッドが走査領域から外れるまでに、すなわち、ウエハステージ $W S T$ が図26(C)に示される状態から図26(D)に示される状態までの距離3mmの領域を移動する間に、完了する。なお、ステージの移動速度1m/secの場合、3msecの時間内に、Zヘッドの切り換え作業が完了することになる。

30

【0228】

次に、Zヘッド $72a \sim 72d$, $74_1 \sim 74_5$, $76_1 \sim 76_5$ の切り換え時におけるつなぎ処理、すなわちZヘッドの計測結果より算出されるウエハステージ $W S T$ の2自由度（Z, y）方向の位置の連続性を保つための計測値の再設定について、主制御装置20の動作を中心として説明する。

【0229】

本実施形態では、前述の如く、露光時のウエハステージ $W S T$ の移動ストローク範囲では、常に少なくとも2つのZヘッド $Z s L$ （ $74_1 \sim 74_5$ のうちの1つ）、 $Z s R$ （ $76_1 \sim 76_5$ のうちの1つ）が、ウエハステージ $W S T$ の動きを観測している。従って、Zヘッドを切り換える際には、図28(A)に示されるように、2つのZヘッド $Z s L$, $Z s R$ に3つめのZヘッド $Z s R'$ を加えた3つのZヘッドでウエハステージ $W S T$ を観測していることとなる。ここで、Zヘッド $Z s L$ 、 $Z s R$ 、及び $Z s R'$ は、それぞれYスケール $39 Y_2$, $39 Y_1$, $39 Y_1$ の上に位置し、それらの面位置を追従サーボ（フォーカスサーボ）している。

40

【0230】

本実施形態では、主制御装置20は、図28(A)に示されるように、2つのZヘッド $Z s L$ 及び $Z s R$ によるウエハステージ $W S T$ の位置（Z, y）計測から、2つのZヘッド $Z s L$ 及び $Z s R'$ によるウエハステージ $W S T$ の位置（Z, y）計測に、切り換

50

える。その際、主制御装置 20 は、まず、Z ヘッド Z_{sL} 及び Z_{sR} のオフセット補正（後述する）済みの計測値 Z_L、Z_R を式（11）及び式（12）に代入して、基準点 O（ウエハステージ WST の移動基準面と投影光学系 PL の光軸 AX との交点）におけるウエハステージ WST の Z₀、y 位置を算出する。次に、ここで算出された Z₀、y 位置と、干渉計システム 118 によって計測される x 位置を用いて、理論式（10）より、3 つめの Z ヘッド Z_{sR'} の計測値の予想値 Z_{R'} を求める。ここで、p_R、q_R には、Z ヘッド Z_{sR'} の計測点の X 位置（p_R）、Y 位置（q_R）を代入する。そして、オフセット O_{R'} = Z_{R'} - Z_{R0'} を設定する。ここで、Z_{R0'} は Z ヘッド Z_{sR'} の実の計測値、すなわち対向する Y スケール 39 Y₁ の面位置の実測結果である。Z ヘッド Z_{sR'} の計測値 Z_{R'} は、実の計測値 Z_{R0'} をオフセット O_{R'} 補正することにより、すなわち次式（21）で与えられる。

10

【0231】

$$Z_{R'} = Z_{R0'} + O_{R'} \quad \dots \dots (21)$$

このオフセット O_{R'} を用いた取り扱いにより、予想値 Z_{R'} が Z ヘッド Z_{sR'} の計測値 Z_{R'} として設定される。

【0232】

以上のつなぎ処理により、ウエハステージ WST の位置（Z₀、y）を維持したまま、Z ヘッドの切り換え作業が完了する。それ以降は、切り換え後に使用する Z ヘッド Z_{sL} 及び Z_{sR'} の計測値 Z_L、Z_{R'} を用いて、式（11）、式（12）より、ウエハステージ WST の位置座標（Z₀、y）を算出する。ただし、式（11）、式（12）において、Z_R、p_R、q_R には Z_{R'}、p_{R'}、q_{R'} を代入する。

20

【0233】

また、主制御装置 20 は、図 28（B）に示されるように、2 つの Z ヘッド Z_{sL} 及び Z_{sR} によるウエハステージ WST の位置（Z、y）計測から、2 つの Z ヘッド Z_{sL'} 及び Z_{sR} による位置（Z、y）計測に切り換える場合においても、前述と同様の手順により、Z ヘッド Z_{sL} 及び Z_{sR} の計測値 Z_L、Z_R を式（11）及び式（12）に代入して、基準点 O（ウエハステージ WST の移動基準面と投影光学系 PL の光軸 AX との交点）におけるウエハステージ WST の Z₀、y 位置を算出する。次に、ここで算出された Z₀、y と、干渉計システム 118 の計測結果より算出される x を用いて、理論式（9）より、3 つめの Z ヘッド Z_{sL'} の計測値の予想値 Z_{L'} を求める。ここで、p_L、q_L には、Z ヘッド Z_{sL'} の計測点の X 位置（p_L）、Y 位置（q_L）を代入する。そして、オフセット O_{L'} = Z_{L'} - Z_{L0'} を設定する。ここで、Z_{L0'} は Z ヘッド Z_{sL'} の実の計測値、すなわち対向する Y スケール 39 Y₂ の面位置の実測結果である。Z ヘッド Z_{sL'} の計測値 Z_{L'} は、実の計測値 Z_{L0'} をオフセット O_{L'} 補正することにより、すなわち次式（22）で与えられる。

30

【0234】

$$Z_{L'} = Z_{L0'} + O_{L'} \quad \dots \dots (22)$$

このオフセット O_{L'} を用いた取り扱いにより、予想値 Z_{L'} が Z ヘッド Z_{sL'} の計測値 Z_{L'} として設定される。

【0235】

以上のつなぎ処理により、ウエハステージ WST の位置（Z₀、y）を維持したまま、Z ヘッドの切り換え作業が完了する。それ以降は、切り換え後に使用する Z ヘッド Z_{sL'} 及び Z_{sR} の計測値 Z_{L'}、Z_R を用いて、式（11）、式（12）より、ウエハステージ WST の位置座標（Z₀、y）を算出する。ただし、式（11）、式（12）において、Z_L、p_L、q_L には Z_{L'}、p_{L'}、q_{L'} を代入する。

40

【0236】

ただし、実際の Z ヘッド Z_{sR'} または Z_{sL'} の計測値（生計測値）には、各種の計測誤差が含まれている。そこで、誤差補正した値が計測値として提示される。従って、上述のつなぎ処理において、主制御装置 20 は、スケール凹凸誤差補正情報、Z ヘッド設置誤差の補正情報等を用いて、理論式（9）、（10）から求まる理論値を逆補正し、補正

50

前の生値を算出し、その生値をZヘッドZsR'またはZsL'の計測値として設定する。なお、これらの誤差補正情報を上述のオフセット $O_{R'}$ 、 $O_{L'}$ に含め、オフセット補正(式(21)、(22))と同時に誤差補正すると便利である。

【0237】

なお、座標つなぎ法を適用することにより、Zヘッドの切り換え前後で、算出されるウエハステージWSTの位置(Z, y)は必ず連続となる。しかし、新たに使用するZヘッドの計測値の予測計算、オフセットの算出等により、誤差(つなぎ誤差)が発生し得る。ここで、実際にウエハ上の全ショット領域の露光を行うと、Zヘッドの切り換えを、およそ100回実行することになる。従って、1回のつなぎ処理で発生する誤差が無視できるほど小さくても、切り換えを何度も繰り返すことにより、誤差が累積され、許容範囲を超えてしまう恐れがある。なお、誤差はランダムに発生するとして、100回の切り換えによって発生する累積誤差は、1回当たりに発生する誤差の約10倍である。従って、つなぎ処理の精度を最大限向上するとともに、つなぎ精度の影響を受けないステージ制御方式を採用しなければならない。

10

【0238】

そこで、例えば、座標つなぎ法を適用して得られるウエハステージWSTの位置座標(Z, y)を用いてウエハステージWSTを駆動制御し、座標つなぎ法を適用せず、実のZヘッドの出力より得られるウエハステージWSTの位置座標(Z, y)を用いてフォーカスキャリブレーションとフォーカスマッピングを行うと良い。また、ウエハステージWSTが停止する際には、オフセットをクリアし、累積したつなぎ誤差を解消すると良い。

20

【0239】

ウエハテーブルWTB(ウエハステージWST)の位置座標は、例えば96 μ secの時間間隔で制御されている。この制御サンプリング間隔毎に、主制御装置20が、ウエハステージWSTの現在位置を更新し、目標位置に位置決めするための推力指令値などを演算し、出力している。前述のように、ウエハステージWSTの現在位置は、干渉計システム118、エンコーダシステム150(エンコーダ70A~70F)、及び面位置計測システム180(Zヘッド72a~72d, 74₁~74₅, 76₁~76₅)の計測結果より、算出される。従って、干渉計、エンコーダ、及びZヘッドの計測結果は、制御サンプリング間隔よりはるかに短い時間間隔(計測サンプリング間隔)で監視されている。

30

【0240】

そこで、本実施形態では、主制御装置20は、ウエハステージWSTが有効ストローク範囲にいる間は常に、スケールの走査領域(Zヘッドからのプローブビームが走査される領域)に対向しているすべてのZヘッド(2つとは限らない)から、計測値を受け取り続ける。そして、主制御装置20は、上述したZヘッドの切り換え動作(複数のZヘッド間のつなぎ動作)を、制御サンプリング間隔毎に行われるウエハステージWSTの位置制御と同期して行っている。このようにすることで、電氣的に高速なZヘッドの切り換え動作が不要となり、また、そのような高速な切り換え動作を実現するための高価なハードウェアを必ずしも設けなくても良いことになる。

40

【0241】

図29には、本実施形態における、ウエハステージWSTの位置制御、Zヘッドの計測値の取り込み、及びZヘッド切り換えのタイミングが概念的に示されている。図29中の符号CCLKは、ウエハステージWSTの位置制御のサンプリングクロック(制御クロック)の発生タイミングを示し、符号MCLKは、Zヘッド(及び干渉計、エンコーダ)の計測のサンプリングクロック(計測クロック)の発生タイミングを示す。また、符号CHは、図26で詳細に説明したZヘッドの切り換えにおけるつなぎ処理を模式的に示す。

【0242】

主制御装置20は、Zヘッドの切り換え手順を、Zヘッドの復帰処理と切り換え処理(及びつなぎ処理)の2段階に分けて実行している。図29の例に従って説明すると、まず、第1制御クロック時に作動しているZヘッドは、第1の組み合わせZsL, ZsRの2

50

つとする。主制御装置 20 は、これらの Z ヘッドの計測値を監視し、ウエハステージ W S T の位置座標 (Z , y) を算出している。次に、主制御装置 20 は、ウエハステージ W S T の位置座標より、Y スケールの走査領域上及びその近傍にあるすべての Z ヘッドを求め、その中から、復帰を要する Z ヘッド Z s R ' を特定し、第 2 制御クロック時に復帰させる。ここで、復帰した Z ヘッド Z s R ' は前述の待機状態 (スケールサーボ状態) にあり、主制御装置 20 により、Y スケールの走査領域に対向したのを確認後、作動状態 (フォーカスサーボ状態) に切り換えられる。この時点で、作動している Z ヘッドは、Z s L , Z s R , 及び Z s R ' の 3 つとなる。そして、主制御装置 20 は、作動している Z ヘッドの中から、次の制御クロック時にウエハステージ W S T の位置座標を算出するために計測値を監視する Z ヘッドを、ウエハステージ W S T の位置座標に従って特定する。ここで、第 2 の組み合わせ Z s L , Z s R ' が特定されたとする。主制御装置 20 は、その特定された組み合わせが、前制御クロック時にウエハステージ W S T の位置座標を算出するために使用された組み合わせと一致しているか確認する。この例では、第 1 の組み合わせの中の Z ヘッド Z s R と第 2 の組み合わせの中の Z ヘッド Z s R ' が異なる。そこで、主制御装置 20 は、第 3 制御クロック時に第 2 の組み合わせへのつなぎ処理 C H を実行する。以降、主制御装置 20 は、第 2 の組み合わせ Z s L , Z s R ' の計測値を監視し、ウエハステージ W S T の位置座標 (Z , y) を算出する。もちろん、組み合わせの変更がなければ、切り換え処理及びつなぎ処理 C H は実行しない。監視対象から外れた Z ヘッド Z s R は、Y スケール上の走査領域から外れる第 4 制御クロック時に、待機状態に切り換えられる。

10

20

【 0 2 4 3 】

なお、これまで、本実施形態におけるウエハステージ W S T の位置制御に用いる Z ヘッドの切り換え原理を説明するために、4 つの Z ヘッド Z s L , Z s L ' , Z s R , 及び Z s R ' を取り上げたが、Z s L , Z s L ' は Z ヘッド 7 4_i (i = 1 ~ 5) , 7 2 a , 7 2 b のいずれかを、Z s R , Z s R ' は Z ヘッド 7 6_j (j = 1 ~ 5) , 7 2 c , 7 2 d のいずれかを、代表的に示したものである。従って、上述の切り換え及びつなぎ処理は、Z ヘッド 7 4_i (i = 1 ~ 5) , 7 6_j (j = 1 ~ 5) 間の切り換えと同様に、Z ヘッド 7 2 a ~ 7 2 d 間の切り換え、Z ヘッド 7 2 a ~ 7 2 d と Z ヘッド 7 4_i (i = 1 ~ 5) , 7 6_j (j = 1 ~ 5) の間の切り換えにも適用することができる。

30

【 0 2 4 4 】

なお、これまでは、説明を簡略化するために、主制御装置 20 が、ステージ系 (レチクルステージ R S T 及びウエハステージ W S T 等) の制御、干渉計システム 1 1 8、エンコーダシステム 1 5 0、及び面位置計測システム 1 8 0 などを含め、露光装置の構成各部の制御を行うものとしたが、これに限らず、上記の主制御装置 20 が行う制御の少なくとも一部を、複数の制御装置で分担して行っても良いことは勿論である。例えば、ステージ系の制御、エンコーダシステム 1 5 0、面位置計測システム 1 8 0 のヘッドの切り換えなどを行なうステージ制御装置を、主制御装置 20 の配下に設けても良い。また、上記主制御装置 20 が行う制御は必ずしもハードウェアによって実現する必要はなく、主制御装置 20、または前述のように分担して制御を行ういくつかの制御装置それぞれの動作を規定するコンピュータ・プログラムによりソフトウェア的に実現しても良い。

40

【 0 2 4 5 】

以上詳細に説明したように、本実施形態の露光装置によると、主制御装置 20 により、面位置計測システム 1 8 0 を用いて、ウエハステージ W S T の X Y 平面と垂直な方向 (Z 軸方向の位置) 及び X Y 平面に対する傾斜 (y 回転) が計測されるとともに、ウエハステージ W S T の x 回転は、Y 干渉計 1 6 を用いて計測される。そして、主制御装置 20 により、ウエハステージ W S T の Z 軸方向の位置及び X Y 平面に対する傾斜 (y 回転及び x 回転) が切り換えの前後で連続になるように、ウエハステージ W S T の Z 軸方向の位置及び X Y 平面に対する傾斜 (y 回転) の制御に用いる Z ヘッド組が、この Z ヘッド組とは少なくとも 1 つが異なる Z ヘッドを含む別の Z ヘッド組に切り換えられる。これにより、ウエハテーブルの X Y 平面内の位置に応じて使用する Z ヘッドが逐次切り換えられ

50

るにもかかわらず、切り換えの前後でウエハテーブルのZ軸方向の位置及びXY平面に対する傾斜（y回転及びx回転）が保存され、ウエハステージWSTを高精度で駆動することが可能となる。

【0246】

また、本実施形態に係る露光装置100によると、上述のようにして精度良く駆動されるウエハステージWST上に載置されたウエハW上の各ショット領域にレチクルRのパターンを転写形成することで、ウエハW上に各ショット領域に精度良くパターンを形成することが可能になる。また、本実施形態に係る露光装置100によると、事前に行なわれた前述のフォーカスマッピングの結果に基づいて、露光中にウエハW表面の面位置情報を計測することなく、Zヘッドを用いて走査露光中にウエハのフォーカス・レベリング制御を高精度に行うことで、ウエハW上に精度良くパターンを形成することが可能になる。さらに、本実施形態では、液浸露光により高解像度の露光を実現できるので、この点においても微細パターンを精度良くウエハW上に転写することが可能になる。

10

【0247】

なお、上記実施形態では、各ZヘッドのフォーカスセンサFSは、前述のフォーカサーボを行なうに際し、スケール Y_1 、 Y_2 上に形成された回折格子面を保護するカバーガラス表面に焦点を合わせても良いが、カバーガラス表面より遠くの面、例えば回折格子面などに焦点を合わせることが望ましい。このようにすると、カバーガラス表面にパーティクル等の異物（ゴミ）が存在している場合などに、そのカバーガラス表面がカバーガラスの厚み分デフォーカスした面となるので、その異物の影響をZヘッドが受け難くなるからである。

20

【0248】

なお、上記実施形態では、ウエハステージWSTの動作範囲（移動範囲のうち、装置の実際のシーケンス上移動する範囲）のウエハステージWSTの外部（上方）に複数のZヘッドを配置し、各ZヘッドでウエハステージWST（Yスケール $39Y_1$ 、 $39Y_2$ ）表面のZ位置を検出する構成の面位置計測システムを採用するものとしたが、本発明がこれに限定されるものではない。例えば、移動体上面にZヘッドを複数配置し、これに対向して移動体の外部にZヘッドからのプローブビームを反射する反射面が設けられた検出装置を、面位置計測システム180に代えて採用しても良い。また、上記実施形態では、ウエハテーブル（ウエハステージ）上に格子部（Xスケール、Yスケール）を設け、これに対向してXヘッド、Yヘッドをウエハステージの外部に配置する構成のエンコーダシステムを採用した場合について例示したが、これに限らず、移動体にエンコーダヘッドを設け、これに対向して移動体の外部に2次元格子（又は2次元配置された1次元の格子部）を配置する構成のエンコーダシステムを採用しても良い。この場合、移動体上面にZヘッドをも配置する場合には、その2次元格子（又は2次元配置された1次元の格子部）を、Zヘッドからのプローブビームを反射する反射面として兼用しても良い。

30

【0249】

また、上記実施形態では、各Zヘッドが、図7に示されるように、駆動部（不図示）によってZ軸方向に駆動される、フォーカスセンサFSを収納したセンサ本体ZH（第1センサ）と、第1センサ（センサ本体ZH）のZ軸方向の変位を計測する計測部ZE（第2センサ）等を備える場合について説明したが、本発明がこれに限定されるものではない。すなわち、Zヘッド（センサヘッド）は、必ずしも第1センサそのものが、Z軸方向に可動である必要はなく、第1センサ（例えば前述のフォーカスセンサなど）を構成する部材の一部が移動可能で、第1センサとその計測対象物表面との光学的な位置関係（例えば第1センサ内の受光素子の受光面（検出面）と共役関係）が保たれるように、移動体のZ軸方向の移動に応じて、その部材が移動するようになっていれば良い。その場合、第2センサは、その移動部材の基準位置からの移動方向の変位を計測する。勿論、移動体上にセンサヘッドが設けられる場合には、二次元平面に垂直な方向での前記移動体の前記二次元平面に垂直な方向での位置変化に応じて、第1センサの計測対象物、例えば上述の2次元格子（又は2次元配置された1次元の格子部）などと第1センサとの光学的な位置関係を維

40

50

持するように移動部材が移動すれば良い。

【0250】

また、上記実施形態では、エンコーダヘッドとZヘッドとが、別々に設けられる場合について説明したが、これに限らず、例えばエンコーダヘッドとZヘッドとの機能を併せ持つヘッドを採用しても良いし、あるいは光学系の一部を共通とするエンコーダヘッドとZヘッドとを採用しても良いし、あるいはエンコーダヘッドとZヘッドとを同一筐体内に設けることで一体化した複合ヘッドを採用しても良い。

【0251】

なお、上記実施形態ではノズルユニット32の下面と投影光学系PLの先端光学素子の下端面とがほぼ同一面であるものとしたが、これに限らず、例えばノズルユニット32の下面を、先端光学素子の射出面よりも投影光学系PLの像面（すなわちウエハ）の近くに配置しても良い。すなわち、局所液浸装置8は上述の構造に限られず、例えば、欧州特許出願公開第1420298号明細書、国際公開第2004/055803号、国際公開第2004/057590号、国際公開第2005/029559号（対応米国特許出願公開第2006/0231206号明細書）、国際公開第2004/086468号（対応米国特許出願公開第2005/0280791号明細書）、米国特許第6,952,253号明細書などに記載されているものを用いることができる。また、例えば国際公開第2004/019128号（対応米国出願特許公開第2005/0248856号明細書）に開示されているように、先端光学素子の像面側の光路に加えて、先端光学素子の物体面側の光路も液体で満たすようにしても良い。さらに、先端光学素子の表面の一部（少なくとも液体との接触面を含む）又は全部に、親液性及び/又は溶解防止機能を有する薄膜を形成しても良い。なお、石英は液体との親和性が高く、かつ溶解防止膜も不要であるが、蛍石は少なくとも溶解防止膜を形成することが好ましい。

【0252】

なお、上記実施形態では、液体として純水（水）を用いるものとしたが、本発明がこれに限定されないことは勿論である。液体としては、化学的に安定で、照明光ILの透過率が高く安全な液体、例えばフッ素系不活性液体を使用しても良い。このフッ素系不活性液体としては、例えばフロリナート（米国スリーエム社の商品名）が使用できる。このフッ素系不活性液体は冷却効果の点でも優れている。また、液体として、照明光ILに対する屈折率が、純水（屈折率は1.44程度）よりも高い、例えば1.5以上の液体を用いても良い。この液体としては、例えば、屈折率が約1.50のイソプロパノール、屈折率が約1.61のグリセロール（グリセリン）といったC-H結合あるいはO-H結合を持つ所定液体、ヘキサン、ヘプタン、デカン等の所定液体（有機溶剤）、あるいは屈折率が約1.60のデカリン(Decalin: Decahydronaphthalene)などが挙げられる。あるいは、これら液体のうち任意の2種類以上の液体が混合されたものであっても良いし、純水にこれら液体の少なくとも1つが添加（混合）されたものであっても良い。あるいは、液体としては、純水に、 H^+ 、 CS^+ 、 K^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 PO_4^{2-} 等の塩基又は酸を添加（混合）したものであっても良い。更には、純水にAl酸化物等の微粒子を添加（混合）したものであっても良い。これら液体は、ArFエキシマレーザ光を透過可能である。また、液体としては、光の吸収係数が小さく、温度依存性が少なく、投影光学系（先端の光学部材）、及び/又はウエハの表面に塗布されている感光材（又は保護膜（トップコート膜）あるいは反射防止膜など）に対して安定なものであることが好ましい。また、F₂レーザを光源とする場合は、フロンブリンオイルを選択すれば良い。さらに、液体としては、純水よりも照明光ILに対する屈折率が高い液体、例えば屈折率が1.6～1.8程度のものであっても良い。液体として、超臨界流体を用いることも可能である。また、投影光学系PLの先端光学素子を、例えば石英（シリカ）、あるいは、フッ化カルシウム（蛍石）、フッ化バリウム、フッ化ストロンチウム、フッ化リチウム、及びフッ化ナトリウム等のフッ素化合物の単結晶材料で形成しても良いし、石英や蛍石よりも屈折率が高い（例えば1.6以上）材料で形成しても良い。屈折率が1.6以上の材料としては、例えば、国際公開第2005/059617号に開示される、サファイア、二酸化ゲルマニ

10

20

30

40

50

ウム等、あるいは、国際公開第2005/059618号に開示される、塩化カリウム（屈折率は約1.75）等を用いることができる。

【0253】

また、上記実施形態で、回収された液体を再利用するようにしても良く、この場合は回収された液体から不純物を除去するフィルタを液体回収装置、又は回収管等に設けておくことが望ましい。

【0254】

なお、上記実施形態では、露光装置が液浸型の露光装置である場合について説明したが、これに限られるものではなく、液体（水）を介さずにウエハWの露光を行うドライタイプの露光装置にも採用することができる。

10

【0255】

また、上記実施形態では、ステップ・アンド・スキャン方式等の走査型露光装置に本発明が適用された場合について説明したが、これに限らず、ステップなどの静止型露光装置に本発明を適用しても良い。また、ショット領域とショット領域とを合成するステップ・アンド・スティッチ方式の縮小投影露光装置、プロキシミティー方式の露光装置、又はミラプロジェクション・アライナーなどにも本発明は適用することができる。さらに、例えば米国特許第6,590,634号明細書、米国特許第5,969,441号明細書、米国特許第6,208,407号明細書などに開示されているように、複数のウエハステージWSTを備えたマルチステージ型の露光装置にも本発明を適用できる。

【0256】

また、上記実施形態の露光装置における投影光学系は縮小系のみならず等倍および拡大系のいずれでも良いし、投影光学系PLは屈折系のみならず、反射系及び反射屈折系のいずれでも良いし、その投影像は倒立像及び正立像のいずれでも良い。さらに、投影光学系PLを介して照明光ILが照射される露光領域IAは、投影光学系PLの視野内で光軸AXを含むオンアクシス領域であるが、例えば国際公開第2004/107011号に開示されるように、複数の反射面を有しかつ中間像を少なくとも1回形成する光学系（反射系又は反屈系）がその一部に設けられ、かつ単一の光軸を有する、いわゆるインライン型の反射屈折系と同様に、その露光領域は光軸AXを含まないオフアクシス領域でも良い。また、前述の照明領域及び露光領域はその形状が矩形であるものとしたが、これに限らず、例えば円弧、台形、あるいは平行四辺形などでも良い。

20

30

【0257】

なお、上記実施形態の露光装置の光源は、ArFエキシマレーザに限らず、KrFエキシマレーザ（出力波長248nm）、F₂レーザ（出力波長157nm）、Ar₂レーザ（出力波長126nm）、Kr₂レーザ（出力波長146nm）などのパルスレーザ光源、あるいはg線（波長436nm）、i線（波長365nm）などの輝線を発する超高压水銀ランプなどを用いることも可能である。また、YAGレーザの高調波発生装置などを用いることもできる。この他、例えば国際公開第99/46835号（対応米国特許第7,023,610号）に開示されているように、真空紫外光としてDFB半導体レーザ又はファイバーレーザから発振される赤外域、又は可視域の単一波長レーザ光を、例えばエルビウム（又はエルビウムとイッテルビウムの両方）がドープされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いても良い。

40

【0258】

また、上記実施形態では、露光装置の照明光ILとしては波長100nm以上の光に限らず、波長100nm未満の光を用いても良いことはいうまでもない。例えば、近年、70nm以下のパターンを露光するために、SOR又はプラズマレーザを光源として、軟X線領域（例えば5~15nmの波長域）のEUV（Extreme Ultraviolet）光を発生させるとともに、その露光波長（例えば13.5nm）の下で設計されたオール反射縮小光学系、及び反射型マスクを用いたEUV露光装置の開発が行われている。この装置においては、円弧照明を用いてマスクとウエハを同期走査してスキャン露光する構成が考えられるので、かかる装置にも本発明を好適に適用することができる。この他、電子線又はイオン

50

ビームなどの荷電粒子線を用いる露光装置にも、本発明は適用できる。

【0259】

また、上述の実施形態においては、光透過性の基板上に所定の遮光パターン（又は位相パターン・減光パターン）を形成した光透過型マスク（レチクル）を用いたが、このレチクルに代えて、例えば米国特許第6,778,257号公報に開示されているように、露光すべきパターンの電子データに基づいて、透過パターン又は反射パターン、あるいは発光パターンを形成する電子マスク（可変成形マスク、アクティブマスク、あるいはイメージジェネレータとも呼ばれ、例えば非発光型画像表示素子（空間光変調器）の一種であるDMD（Digital Micro-mirror Device）などを含む）を用いても良い。

【0260】

また、例えば国際公開第2001/035168号に開示されているように、干渉縞をウエハ上に形成することによって、ウエハ上にライン・アンド・スペースパターンを形成する露光装置（リソグラフィシステム）にも本発明を適用することができる。

【0261】

さらに、例えば特表2004-519850号公報（対応米国特許第6,611,316号）に開示されているように、2つのレチクルパターンを投影光学系を介してウエハ上で合成し、1回のスキャン露光によってウエハ上の1つのショット領域をほぼ同時に二重露光する露光装置にも本発明を適用することができる。

【0262】

また、物体上にパターンを形成する装置は前述の露光装置（リソグラフィシステム）に限られず、例えばインクジェット方式にて物体上にパターンを形成する装置にも本発明を適用することができる。

【0263】

なお、上記実施形態でパターンを形成すべき物体（エネルギービームが照射される露光対象の物体）はウエハに限られるものではなく、ガラスプレート、セラミック基板、フィルム部材、あるいはマスクブランクスなど、他の物体でも良い。

【0264】

露光装置の用途としては半導体製造用の露光装置に限定されることなく、例えば、角型のガラスプレートに液晶表示素子パターンを転写する液晶用の露光装置、有機EL、薄膜磁気ヘッド、撮像素子（CCD等）、マイクロマシン及びDNAチップなどを製造するための露光装置にも広く適用できる。また、半導体素子などのマイクロデバイスだけでなく、光露光装置、EUV露光装置、X線露光装置、及び電子線露光装置などで使用されるレチクル又はマスクを製造するために、ガラス基板又はシリコンウエハなどに回路パターンを転写する露光装置にも本発明を適用できる。

【0265】

なお、本発明の移動体駆動システム、移動体駆動方法は、露光装置に限らず、その他の基板の処理装置（例えば、レーザーピア装置、基板検査装置その他）、あるいはその他の精密機械における試料の位置決め装置、ワイヤーボンディング装置等の2次元面内で移動するステージ等の移動体を備えた装置にも広く適用できる。

【0266】

半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、シリコン材料からウエハを形成するステップ、前述した実施形態の露光装置（パターン形成装置）によりレチクル（マスク）に形成されたパターンをウエハに転写するリソグラフィステップ、露光されたウエハを現像する現像ステップ、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エッチングステップ、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除くレジスト除去ステップ、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）、及び検査ステップ等を経て製造される。

【0267】

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、露光工程において上記実施形態の露光装置（パターン形成装置）及びその露光方法（パターン形成方法）が用いられる

10

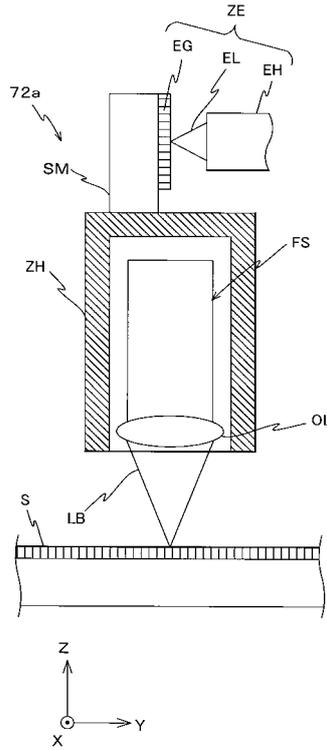
20

30

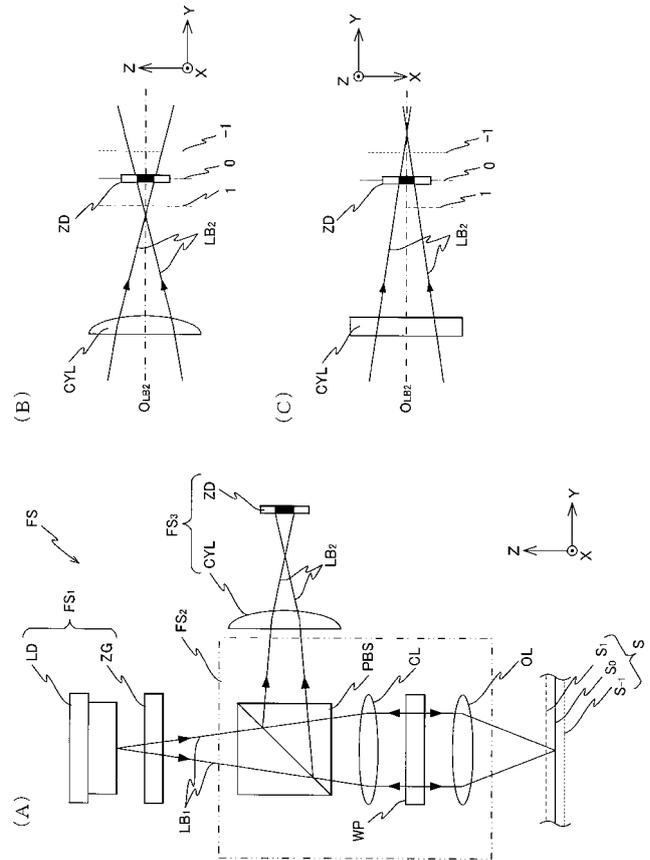
40

50

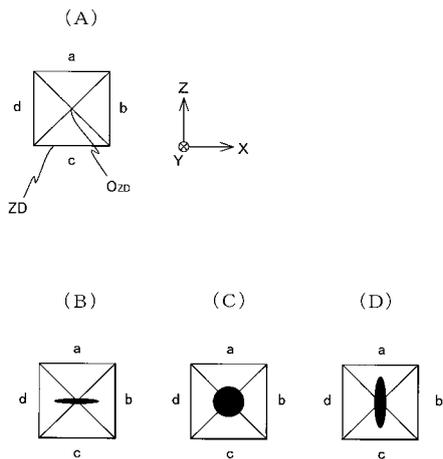
【 図 7 】



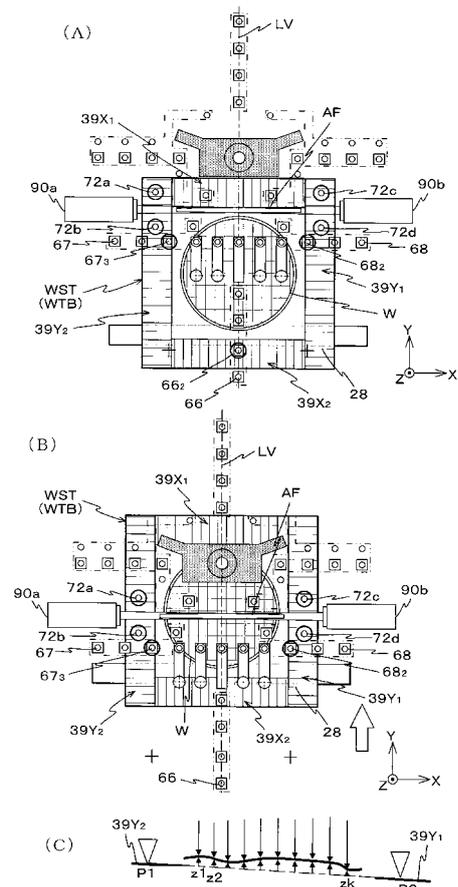
【 図 8 】



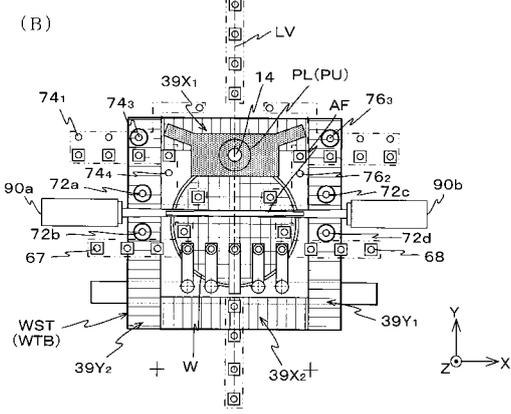
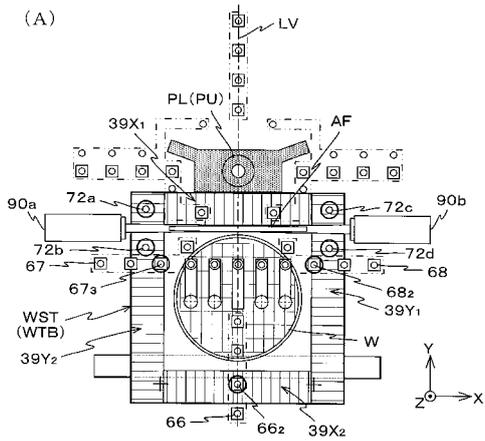
【 図 9 】



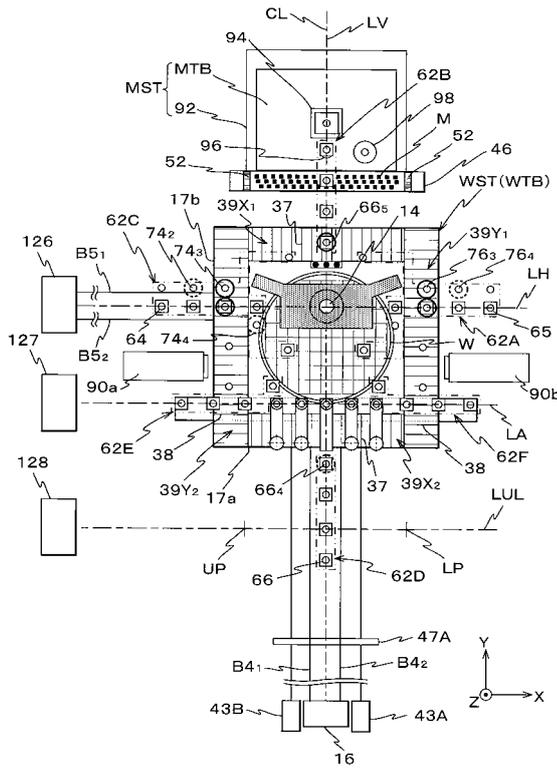
【 図 10 】



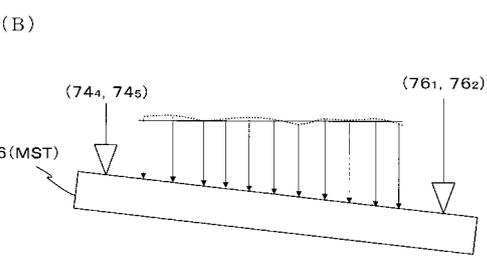
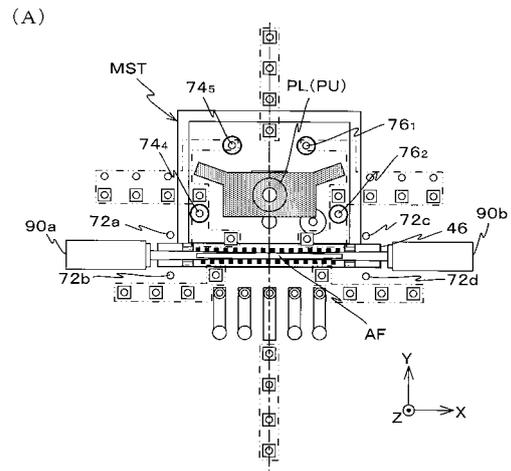
【図 1 1】



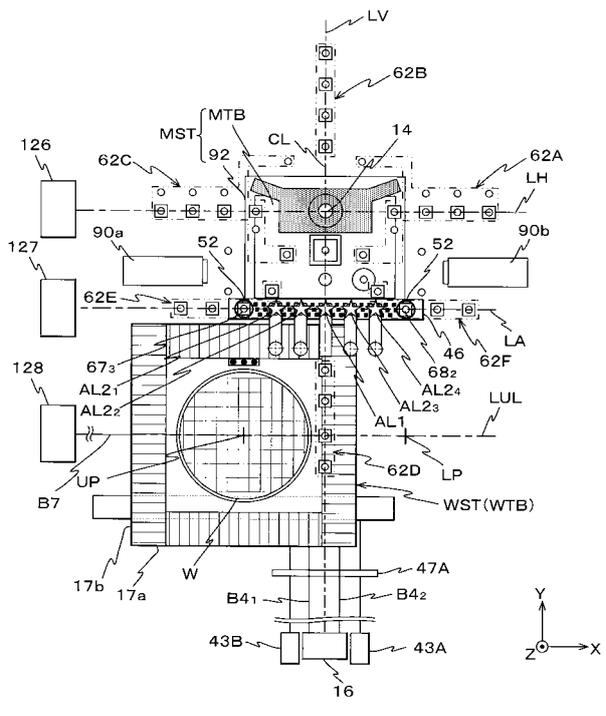
【図 1 3】



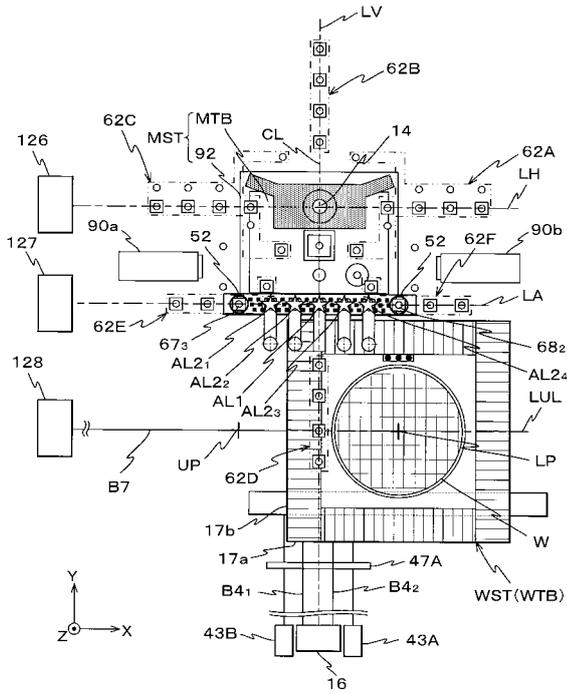
【図 1 2】



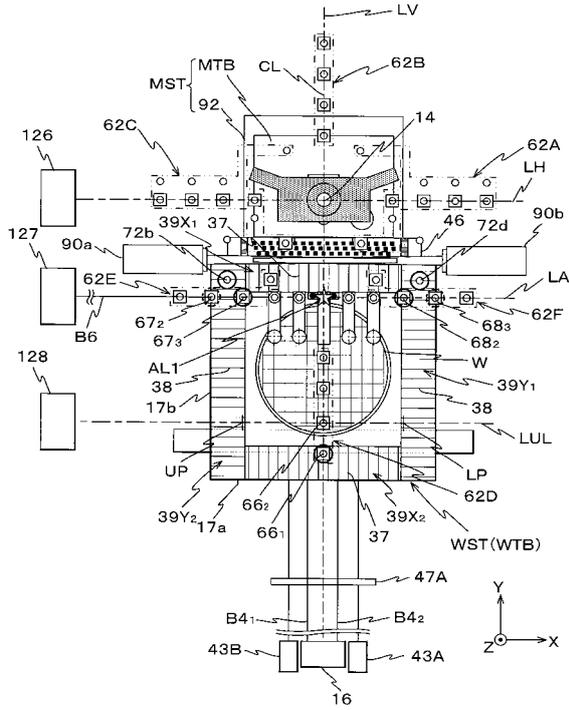
【図 1 4】



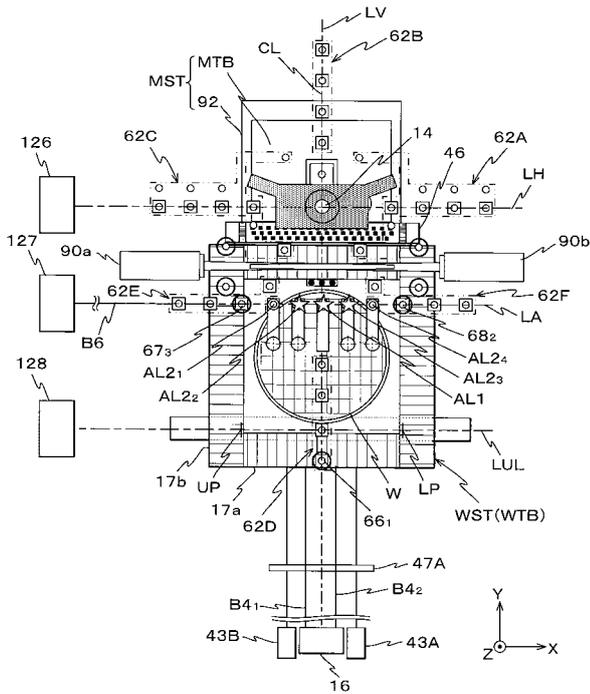
【 図 1 5 】



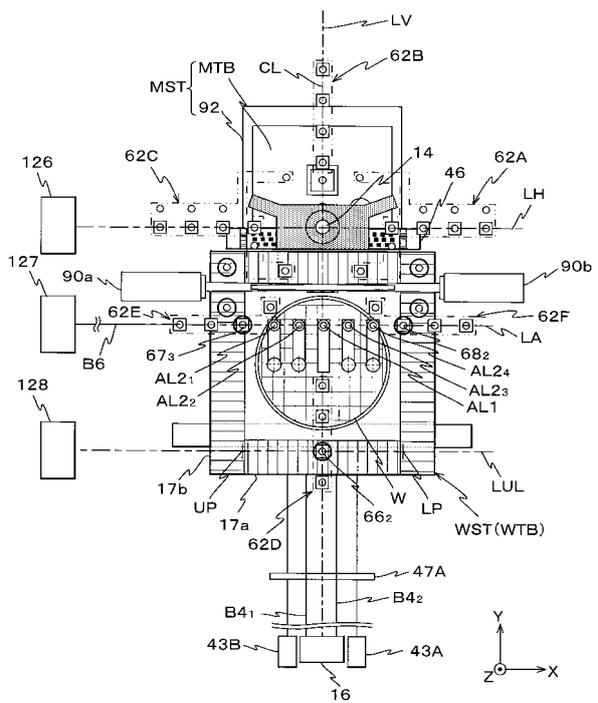
【 図 1 6 】



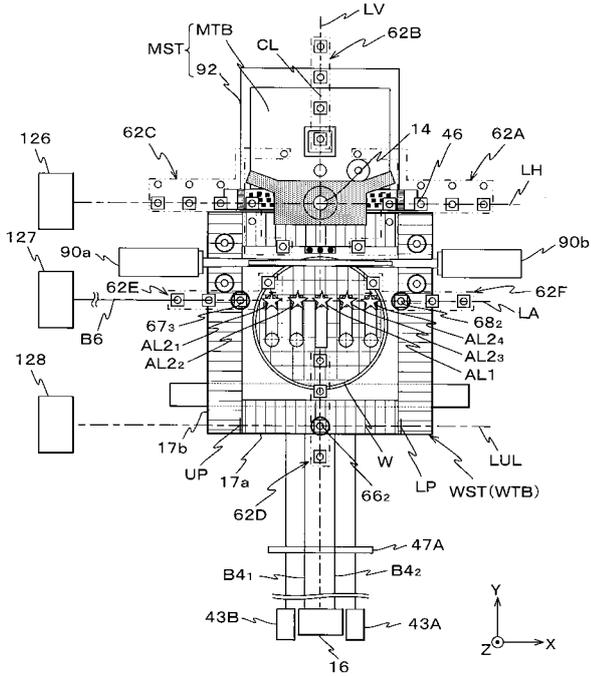
【 図 1 7 】



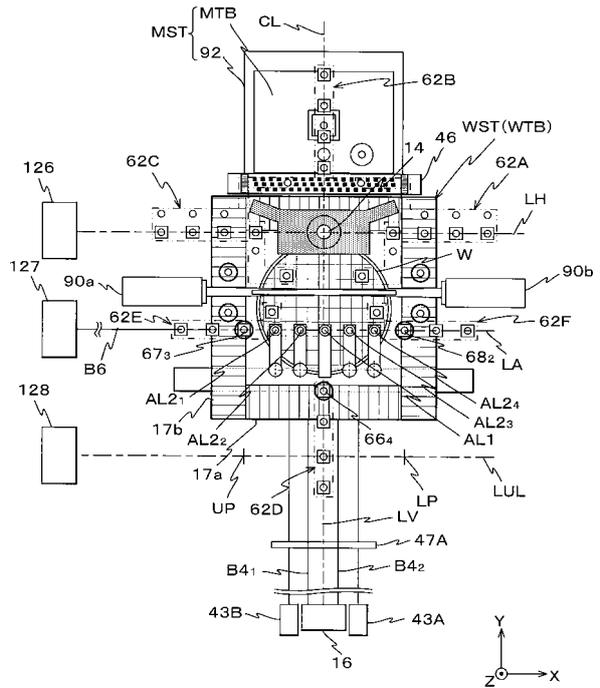
【 図 1 8 】



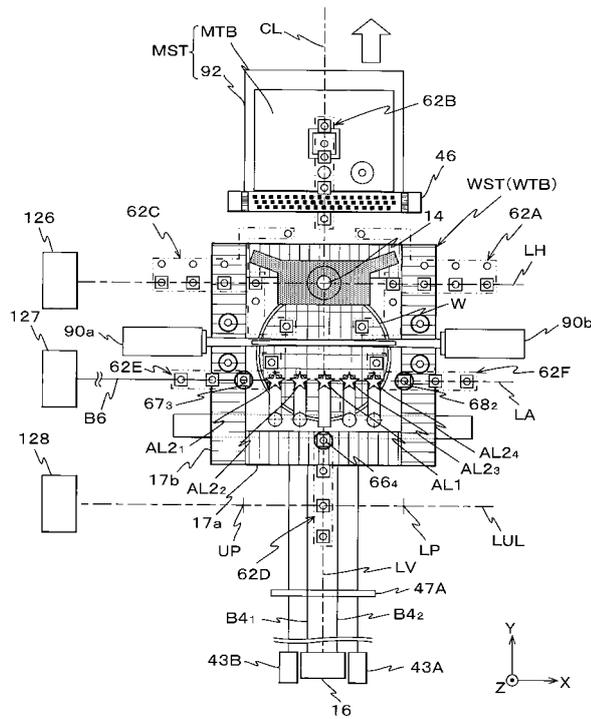
【図 19】



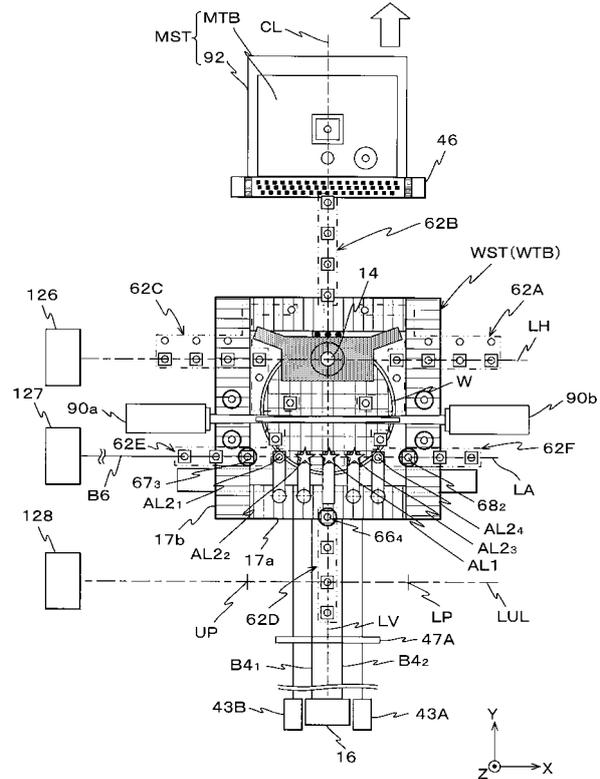
【図 20】



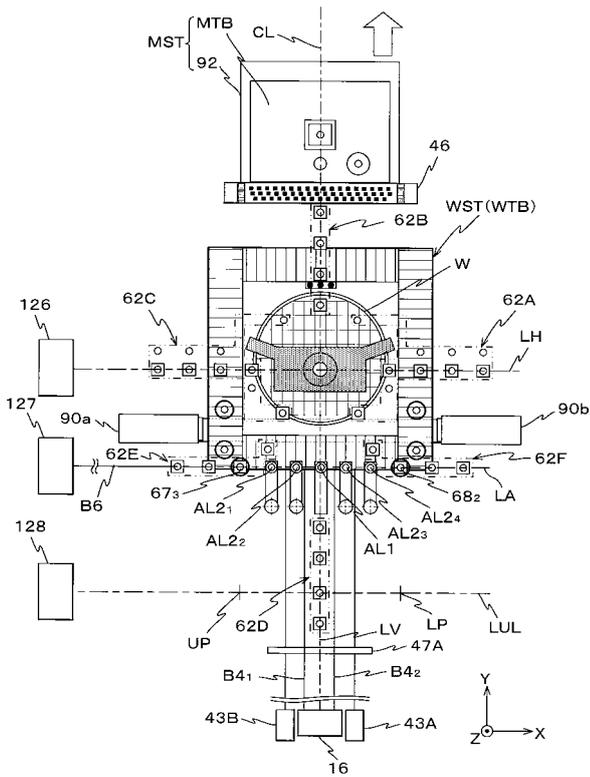
【図 21】



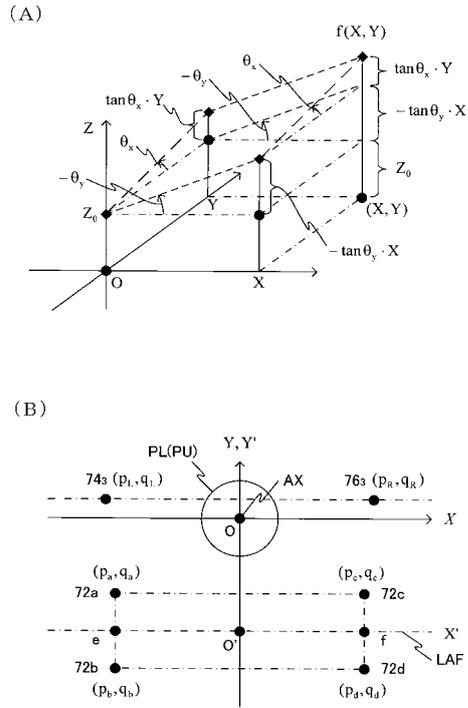
【図 22】



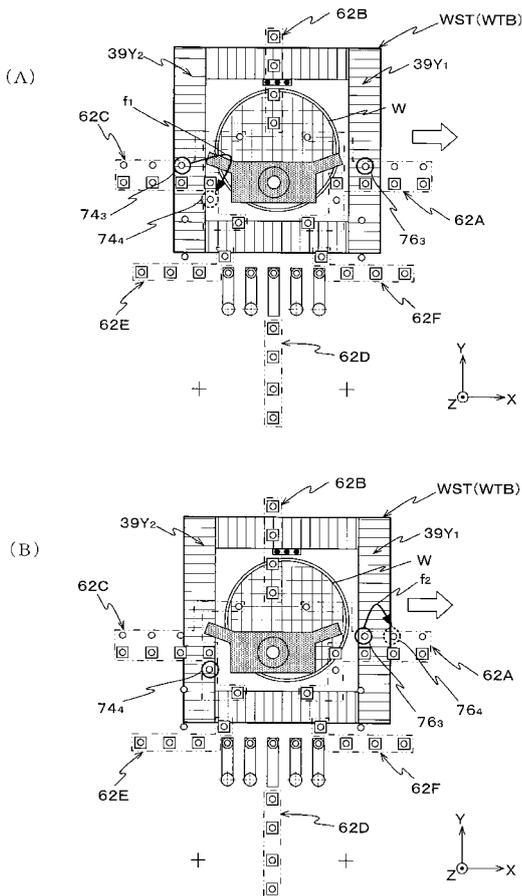
【 図 2 3 】



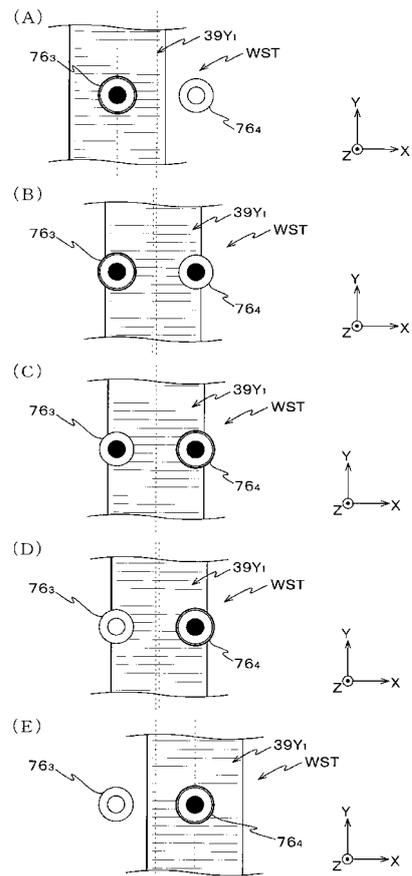
【 図 2 4 】



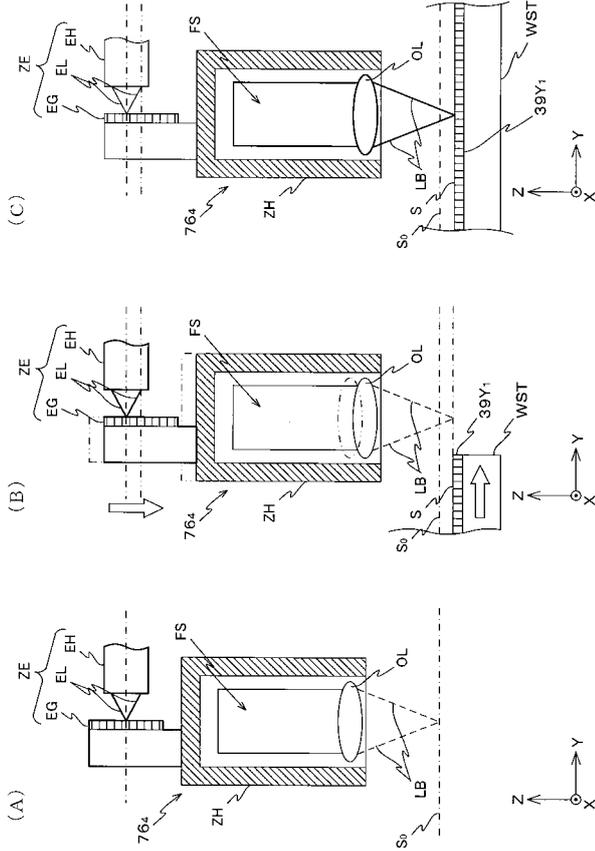
【 図 2 5 】



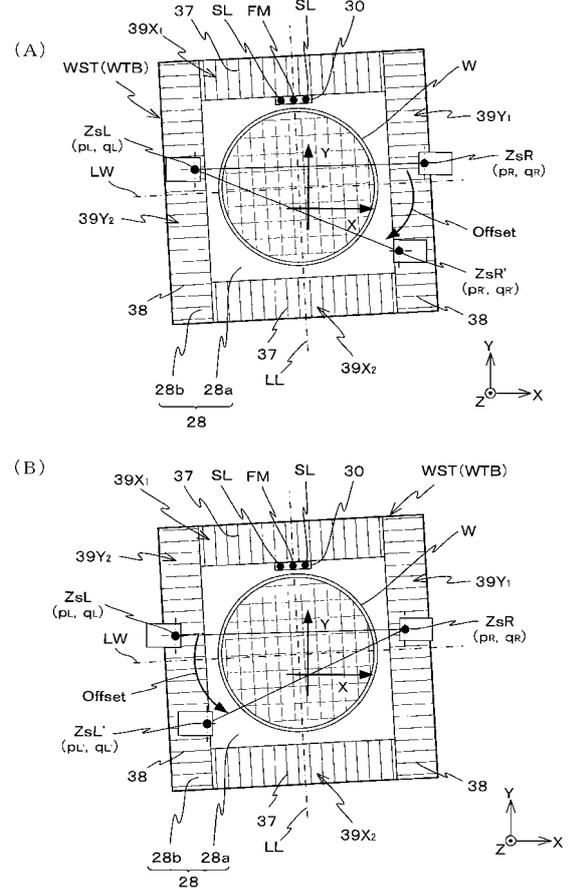
【 図 2 6 】



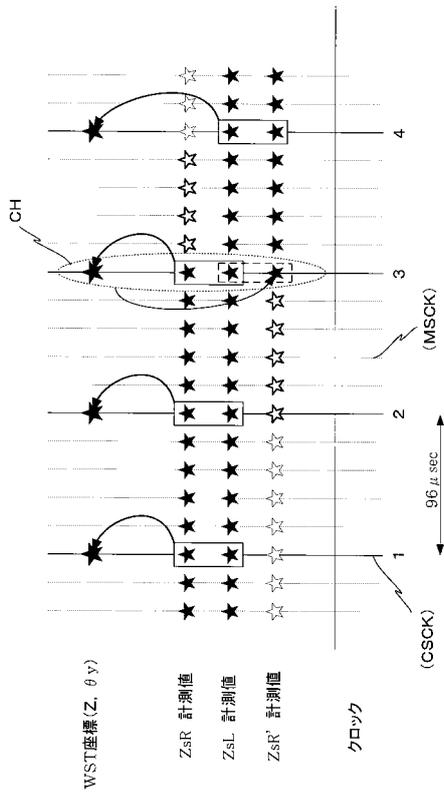
【 図 27 】



【 図 28 】



【 図 29 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
	G 0 1 B 11/26	Z
	G 0 1 B 11/00	G

Fターム(参考) 5F131 AA02 BA13 CA06 CA18 DA09 DA33 DA42 EA02 EA03 EA22
EA23 EA24 FA17 FA32 FA33 KA12 KA16 KA44 KA47 KA73
KB07 KB12 KB22 KB54 KB55 KB56
5F146 BA03 BA11 CC01 CC03 CC05 CC13 CC16 CC18 CC20 DA05
DB05 DC12