

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-34004  
(P2013-34004A)

(43) 公開日 平成25年2月14日(2013.2.14)

(5) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/027 (2006.01)	HO 1 L 21/30 5 2 6 A	2 F 0 6 5
GO 1 B 11/00 (2006.01)	GO 1 B 11/00 A	5 F 1 4 6

審査請求 有 請求項の数 24 O L (全 54 頁)

(21) 出願番号 特願2012-237750 (P2012-237750)  
 (22) 出願日 平成24年10月29日(2012.10.29)  
 (62) 分割の表示 特願2008-214735 (P2008-214735)の分割  
 原出願日 平成20年8月23日(2008.8.23)  
 (31) 優先権主張番号 60/935,667  
 (32) 優先日 平成19年8月24日(2007.8.24)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)  
 (31) 優先権主張番号 12/195,923  
 (32) 優先日 平成20年8月21日(2008.8.21)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 000004112  
 株式会社ニコン  
 東京都千代田区有楽町1丁目12番1号  
 (74) 代理人 100102901  
 弁理士 立石 篤司  
 (72) 発明者 柴崎 祐一  
 東京都千代田区有楽町一丁目12番1号  
 株式会社ニコン内  
 (72) 発明者 金谷 有歩  
 東京都千代田区有楽町一丁目12番1号  
 株式会社ニコン内

最終頁に続く

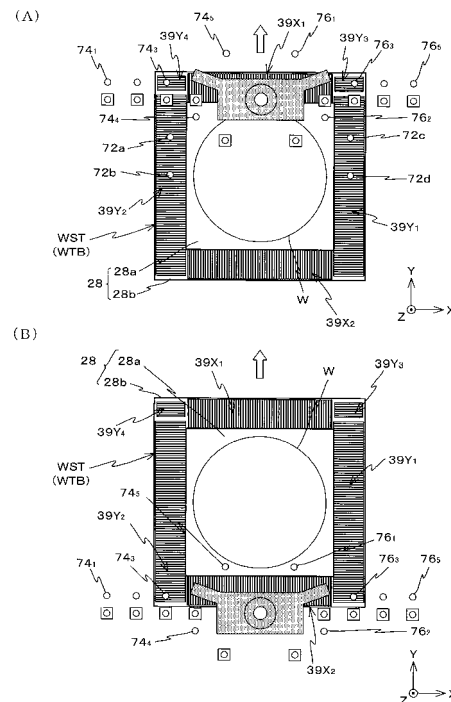
(54) 【発明の名称】 移動体駆動方法及び移動体駆動システム、パターン形成方法及び装置、露光方法及び装置、デバイス製造方法、計測方法、並びに位置計測システム

(57) 【要約】

【課題】 面位置センサの設置位置を計測し、該計測された設置位置に基づいて面位置センサを用いて移動体の2次元移動面の垂直方向と傾斜方向の位置座標を計測することにより、移動体を安定かつ高精度に駆動する。

【解決手段】 干渉計システムを用いてウエハステージ W S T の X Y 位置を監視しながらウエハステージを移動させて、面位置センサ 7 2 k , 7 4 i , 7 6 j を用いて Y スケール 3 9 Y 3 , 3 9 Y 4 を、X 軸方向及び Y 軸方向に走査することにより、面位置センサの X Y 設置位置を計測する。得られた設置位置情報に基づいて、面位置センサを用いて、ウエハステージの X Y 平面(移動面)に対する垂直方向と傾斜方向の位置座標を計測することにより、ウエハステージを安定かつ高精度に駆動する。

【選択図】 図 2 5



**【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直交する方向の位置情報を計測する位置計測システムの複数のセンサヘッドに対応するセンサによる検出領域を通過するように前記移動体を前記二次元平面内の第 1 方向に移動し、その移動中に得られる、前記移動体の前記第 1 方向の位置情報を計測する第 1 計測装置の計測値と、該計測値に対応する前記センサの検出信号とに基づいて、前記センサヘッドの前記第 1 方向の位置を算出する第 1 のヘッド位置計測工程の処理により、前記センサヘッドの前記面内の位置情報を計測する工程と、

前記二次元平面に平行な所定方向に沿って前記移動体を移動させ、該移動体の移動中に、前記移動体の前記二次元平面に直交する方向の位置情報を前記位置計測システムの前記複数のセンサヘッドを用いて計測し、該計測情報と該情報の計測に用いられた少なくとも 1 つのセンサヘッドの前記二次元平面に平行な面内における位置情報に基づいて、少なくとも前記二次元平面に対する傾斜方向に前記移動体を駆動する工程、を含む移動体駆動方法。

10

**【請求項 2】**

請求項 1 に記載の移動体駆動方法において、

前記計測する工程は、前記移動体が、前記センサによる検出領域を通過するように、前記移動体を前記二次元平面内で前記第 1 方向に直交する第 2 方向に移動し、その移動中に得られる、前記移動体の前記第 2 方向の位置情報を計測する第 2 計測装置の計測値と、該計測値に対応する前記センサの検出信号とに基づいて、前記センサヘッドの前記第 2 方向の位置を算出する第 2 のヘッド位置計測工程を、さらに含む移動体駆動方法。

20

**【請求項 3】**

請求項 2 に記載の移動体駆動方法において、

前記センサヘッドは、前記移動体の外部に設けられ、

前記センサによる検出領域は、前記移動体上の第 1 計測領域と第 2 計測領域とを含む移動体駆動方法。

**【請求項 4】**

請求項 3 に記載の移動体駆動方法において、

前記第 2 計測領域は、第 2 方向位置出しパターンを含む移動体駆動方法。

30

**【請求項 5】**

請求項 3 又は 4 に記載の移動体駆動方法において、

前記第 1 計測領域は、前記第 2 計測領域と少なくとも一部が共通であり、その共通部分には第 1 及び第 2 方向位置出しパターンが含まれる移動体駆動方法。

**【請求項 6】**

請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の移動体駆動方法において、

前記センサヘッドは、前記移動体の外部に設けられ、

前記センサによる検出領域は、第 1 方向位置出しパターンを含む移動体駆動方法。

**【請求項 7】**

請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の移動体駆動方法において、

前記駆動する工程では、前記計測情報の計測に用いられた各センサヘッド固有の誤差成分の情報に基づいて、前記移動体を前記二次元平面に対する傾斜方向に駆動する移動体駆動方法。

40

**【請求項 8】**

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 ~ 7 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 9】**

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、請求項 8 に記載のパターン形成方法を用いて基板上にパタ

50

ーンを形成するデバイス製造方法。

【請求項 10】

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 1～7 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 11】

実質的に二次元平面に沿って移動する移動体の前記二次元平面に対する傾斜方向の位置情報を計測する位置計測システムが備える、前記移動体の前記二次元平面に直交する方向の位置情報の計測に用いられるセンサヘッドの前記二次元平面に平行な面内の位置情報を計測する計測方法であって、

10

前記移動体が、前記位置計測システムの前記センサヘッドに対応するセンサによる検出領域を通過するように前記移動体を前記二次元平面内の第 1 方向に移動し、その移動中に得られる、前記位置計測システムと別設されて前記移動体の前記第 1 方向の位置情報を計測する第 1 計測装置の計測値と、該計測値に対応する前記センサの検出信号とに基づいて、前記センサヘッドの前記第 1 方向の位置を算出する第 1 のヘッド位置計測工程を含む計測方法。

【請求項 12】

請求項 11 に記載の計測方法において、

前記移動体が、前記センサによる検出領域を通過するように、前記移動体を前記二次元平面内で前記第 1 方向に直交する第 2 方向に移動し、その移動中に得られる、前記移動体の前記第 2 方向の位置情報を計測する第 2 計測装置の計測値と、該計測値に対応する前記センサの検出信号とに基づいて、前記センサヘッドの前記第 2 方向の位置を算出する第 2 のヘッド位置計測工程を、さらに含む計測方法。

20

【請求項 13】

請求項 12 に記載の計測方法において、

前記センサヘッドは、前記移動体の外部に設けられ、  
前記センサによる検出領域は、前記移動体上の第 1 計測領域と第 2 計測領域とを含む計測方法。

【請求項 14】

請求項 13 に記載の計測方法において、

30

前記第 2 計測領域は、第 2 方向位置出しパターンを含む計測方法。

【請求項 15】

請求項 13 又は 14 に記載の計測方法において、

前記第 1 計測領域は、前記第 2 計測領域と少なくとも一部が共通であり、その共通部分には第 1 及び第 2 方向位置出しパターンが含まれる計測方法。

【請求項 16】

請求項 11～15 のいずれか一項に記載の計測方法において、

前記センサヘッドは、前記移動体の外部に設けられ、

前記センサによる検出領域は、第 1 方向位置出しパターンを含む計測方法。

【請求項 17】

40

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、

前記二次元平面に平行な面内で 2 次元配置され、前記移動体の前記二次元平面に直交する方向の位置情報を計測する複数のセンサヘッドを有する位置計測システムと、

前記二次元平面に平行な所定方向に沿って前記移動体を移動させ、該移動体の移動中に、前記移動体の前記二次元平面に直交する方向の位置情報を前記位置計測システムの複数のセンサヘッドを用いて計測し、該計測情報と該情報の計測に用いられた少なくとも 1 つのセンサヘッドの前記二次元平面に平行な面内における位置情報とに基づいて、前記移動体を前記二次元平面に対する傾斜方向に駆動する駆動装置と、を備える移動体駆動システム。

【請求項 18】

50

請求項 17 に記載の移動体駆動システムにおいて、

前記駆動装置は、前記計測情報の計測に用いられた各センサヘッド固有の誤差成分の情報にさらに基づいて、前記移動体を前記二次元平面に直交する方向及び前記二次元平面に対する傾斜方向に駆動する移動体駆動システム。

【請求項 19】

物体が載置され、該物体を保持して移動面に沿って移動可能な移動体と、

前記物体に対するパターン形成のため、前記移動体を駆動する請求項 17 又は 18 に記載の移動体駆動システムと、を備えるパターン形成装置。

【請求項 20】

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 17 又は 18 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 21】

実質的に二次元平面に沿って移動する移動体の位置情報を計測する位置計測システムであって、

前記二次元平面と対向可能な複数位置に設置され、実質的に前記二次元平面に沿って移動する前記移動体と対向して、前記二次元平面と直交する方向での前記移動体の位置に応じた出力を発生する複数のセンサヘッドを備え、

前記複数のセンサヘッドの少なくとも 1 つからの出力と、前記二次元平面と実質的に平行な面上での前記少なくとも 1 つのセンサヘッドの設置位置に関する情報とを用いて、前記移動体の少なくとも前記二次元平面に対する傾き情報を検出する位置計測システム。

【請求項 22】

請求項 21 に記載の位置計測システムにおいて、

前記移動体の前記二次元平面内の第 1 方向に関する第 1 位置情報を計測する第 1 計測装置を備え、

前記センサヘッドの設置位置に関する情報は、前記センサヘッドが出力を発生したときの前記移動体の前記第 1 位置情報を用いて求められる位置計測システム。

【請求項 23】

請求項 22 に記載の位置計測システムにおいて、

前記センサヘッドと別設され、前記移動体の前記二次元平面内で前記第 1 方向に垂直な第 2 方向に関する第 2 位置情報を計測する第 2 計測装置をさらに備え、

前記センサヘッドの設置位置に関する情報は、前記センサヘッドが出力を発生したときの前記移動体の前記第 2 位置情報を用いて求められる位置計測システム。

【請求項 24】

請求項 21 ~ 23 のいずれか一項に記載の位置計測システムにおいて、

前記複数のセンサヘッドは、前記所定二次元平面と平行な面内で 2 次的に設置される位置計測システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

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、デバイス製造方法、計測方法、並びに位置計測システムに係り、特に、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、前記パターン形成方法を利用したデバイス製造方法、面位置計測システムが備える前記移動体の二次元平面に直交する方向の位置情報を計測する複数のセンサヘッドの位置情報を計測する計測方法、並びに前記移動体の位置情報を計測する位置計測シ

10

20

30

40

50

テムに関する。

【背景技術】

【0002】

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。

【0003】

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（フォーカス情報）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）。

10

【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、かつ空気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）。

20

【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。

30

【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、一般的であった。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とから、今や、レーザ干渉計のビーム路上の雰囲気温度変化や温度勾配の影響で発生する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】

従って、干渉計に代えて、テーブルの表面の光軸方向に関する位置情報（面位置情報）を直接計測するセンサシステムを用いることが考えられるが、かかるセンサシステムには干渉計とは異なる種々の誤差要因がある。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】米国特許第5,448,332号明細書

【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】

50

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直交する方向の位置情報を計測する位置計測システムの複数のセンサヘッドに対応するセンサによる検出領域を通過するように前記移動体を前記二次元平面内の第1方向に移動し、その移動中に得られる、前記移動体の前記第1方向の位置情報を計測する第1計測装置の計測値と、該計測値に対応する前記センサの検出信号とに基づいて、前記センサヘッドの前記第1方向の位置を算出する第1のヘッド位置計測工程の処理により、前記センサヘッドの前記面内の位置情報を計測する工程と、前記二次元平面に平行な所定方向に沿って前記移動体を移動させ、該移動体の移動中に、前記移動体の前記二次元平面に直交する方向の位置情報を前記位置計測システムの前記複数のセンサヘッドを用いて計測し、該計測情報と該情報の計測に用いられた少なくとも1つのセンサヘッドの前記二次元平面に平行な面内における位置情報に基づいて、少なくとも前記二次元平面に対する傾斜方向に前記移動体を駆動する工程、を含む移動体駆動方法が提供される。

【0010】

これによれば、二次元平面（移動体の移動面）に平行な面内におけるセンサヘッドの位置誤差（設計値からの誤差）に起因する移動体の少なくとも傾斜方向の位置計測誤差がキャンセルされるように移動体を少なくとも二次元平面に対する傾斜方向に駆動することが可能になる。

【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、物体に対してパターンを形成するため、物体が載置された移動体が移動体駆動方法により、精度良く駆動されるので、物体上にパターンを精度良く形成することが可能になる。

【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基板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、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。

【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する移動体の前記二次元平面に対する傾斜方向の位置情報を計測する位置計測システムが備える、前記移動体の前記二次元平面に直交する方向の位置情報の計測に用いられるセンサヘッドの前記二次元平面に平行な面内の位置情報を計測する計測方法であって、前記移動体が、前記位置計測システムの前記センサヘッドに対応するセンサによる検出領域を通過するように前記移動体を前記二次元平面内の第1方向に移動し、その移動中に得られる、前記位置計測システムと別設されて前記移動体の前記第1方向の位置情報を計測する第1計測装置の計測値と、該計測値に対応する前記センサの検出信号とに基づいて、前記センサヘッドの前記第1方向の位置を算出する第1のヘッド位置計測工程を含む計測方法が提供される。

【0017】

これによれば、移動体が、前記位置計測システムの前記センサヘッドに対応するセンサ

による検出領域を通過するように前記移動体を二次元平面内の第1方向に移動させるだけで、そのセンサヘッドの第1方向の位置を求めることが可能となる。

【0018】

本発明の第6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、前記二次元平面に平行な面内で2次元配置され、前記移動体の前記二次元平面に直交する方向の位置情報を計測する複数のセンサヘッドを有する位置計測システムと、前記二次元平面に平行な所定方向に沿って前記移動体を移動させ、該移動体の移動中に、前記移動体の前記二次元平面に直交する方向の位置情報を前記位置計測システムの複数のセンサヘッドを用いて計測し、該計測情報と該情報の計測に用いられた少なくとも1つのセンサヘッドの前記二次元平面に平行な面内における位置情報とに基づいて、前記移動体を前記二次元平面に対する傾斜方向に駆動する駆動装置と、を備える移動体駆動システムが提供される。

10

【0019】

これによれば、二次元平面（移動体の移動面）に平行な面内におけるセンサヘッドの位置誤差（設計値からの誤差）に起因する移動体の少なくとも傾斜方向の位置誤差がキャンセルされるように移動体を少なくとも二次元平面に対する傾斜方向に駆動することが可能になる。

【0020】

本発明の第7の態様によれば、物体が載置され、該物体を保持して移動面に沿って移動可能な移動体と、前記物体に対するパターン形成のため、前記移動体を駆動する本発明の移動体駆動システムと、を備えるパターン形成装置が提供される。

20

【0021】

これによれば、物体に対するパターン形成のため、物体が保持する移動体が移動体駆動システムにより、精度良く駆動されるので、物体上にパターンを精度良く形成することが可能になる。

【0022】

本発明の第8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。

30

【0023】

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システムによる、物体を載置する移動体の高精度な駆動が行われる。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。

【0024】

本発明の第9の態様によれば、実質的に二次元平面に沿って移動する移動体の位置情報を計測する位置計測システムであって、前記二次元平面と対向可能な複数位置に設置され、実質的に前記二次元平面に沿って移動する前記移動体と対向して、前記二次元平面と直交する方向での前記移動体の位置に応じた出力を発生する複数のセンサヘッドを備え、前記複数のセンサヘッドの少なくとも1つからの出力と、前記二次元平面と実質的に平行な面上での前記少なくとも1つのセンサヘッドの設置位置に関する情報とを用いて、前記移動体の少なくとも前記二次元平面に対する傾き情報を検出する位置計測システムが提供される。

40

【0025】

これによれば、二次元平面（移動体の移動面）に実質的に平行な面上でのセンサヘッドの設置位置に関する情報から、センサヘッドの設置位置の誤差（設計値からの誤差）に起因する移動体の少なくとも傾斜誤差が求められ、この傾斜誤差を差し引くことで、移動体の少なくとも二次元平面に対する傾き情報を精度良く求めることができる。

【図面の簡単な説明】

50

【 0 0 2 6 】

【 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 A F 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 W S T を示す平面図、図 4 ( B ) はウエハステージ W S T 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 M S T を示す平面図、図 5 ( B ) は、計測ステージ M S T 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。 10

【 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  $L B_2$  の検出面上での断面形状を示す図である。

【 図 1 0 】 図 1 0 ( A ) ~ 図 1 0 ( 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 1 1 】 図 1 1 ( A ) 及び図 1 1 ( 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。 20

【 図 1 2 】 図 1 2 ( A ) 及び図 1 2 ( B ) は、一実施形態に係る露光装置で行われる A F 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 1 3 】 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 1 4 】 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 1 5 】、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 1 6 】 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。 30

【 図 1 7 】 アライメント系  $A L_1$  ,  $A L_2_2$  ,  $A L_2_3$  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 1 8 】 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 1 9 】 アライメント系  $A L_1$  ,  $A L_2_1$  ~  $A L_2_4$  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 0 】 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。 40

【 図 2 1 】 アライメント系  $A L_1$  ,  $A L_2_1$  ~  $A L_2_4$  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  $A L_1$  ,  $A L_2_2$  ,  $A L_2_3$  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 W S T 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。 50



【図 25】図 25 (A) 及び図 25 (B) は、Z ヘッドの設置位置を計測するために設けられた回折格子板の位置出しパターンを示す図である。

【図 26】図 26 (A) ~ 図 26 (C) は、回折格子板の位置出しパターンを用いた Z ヘッドの設置位置の計測を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0027】

以下、本発明の一実施形態を図 1 ~ 図 26 に基づいて説明する。

【0028】

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・スキャン方式の走査型露光装置、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。

10

【0029】

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。

20

【0030】

照明系 10 は、例えば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、及び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 193 nm）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。

30

【0031】

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。

【0032】

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 軸に直交する反射面を有する Y 移動鏡（あるいは、レトリフレクタ）と X 軸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 0.25 nm 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

40

50

び y 方向の少なくとも 1 つに関するレチクルステージ R S T の位置情報も計測可能として良い。

#### 【0033】

投影ユニット P U は、レチクルステージ R S T の図 1 における下方に配置されている。投影ユニット P U は、鏡筒 4 0 と、鏡筒 4 0 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 P L とを含む。投影光学系 P L としては、例えば Z 軸方向と平行な光軸 A X 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 P L 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 1 0 からの照明光 I L によって照明領域 I A R が照明されると、投影光学系 P L 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 I L により、投影光学系 P L（投影ユニット P U）を介してその照明領域 I A R 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（感応剤）が塗布されたウエハ W 上の前記照明領域 I A R に共役な領域（以下、露光領域とも呼ぶ）I A に形成される。そして、レチクルステージ R S T とウエハステージ W S T との同期駆動によって、照明領域 I A R（照明光 I L）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（照明光 I L）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。すなわち、本実施形態では照明系 1 0、レチクル及び投影光学系 P L によってウエハ W 上にパターンが生成され、照明光 I L 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。

10

20

#### 【0034】

なお、不図示ではあるが、投影ユニット P U 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 2 0 0 6 / 0 3 8 9 5 2 号に開示されているように、投影ユニット P U 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 R S T が配置されるベース部材などに対して投影ユニット P U を吊り下げ支持しても良い。

#### 【0035】

なお、本実施形態の露光装置 1 0 0 では、液浸法を適用した露光が行われるため、投影光学系 P L の開口数 N A 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・オブトリック系）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、例えばウエハ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。

30

#### 【0036】

また、本実施形態の露光装置 1 0 0 では、液浸法を適用した露光を行うため、投影光学系 P L 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）1 9 1 を保持する鏡筒 4 0 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 3 2 が設けられている。本実施形態では、ノズルユニット 3 2 は、図 1 に示されるように、その下端面が先端レンズ 1 9 1 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 3 2 は、液体 L q 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 3 1 A 及び液体回収管 3 1 B 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 3 1 A と液体回収管 3 1 B 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 軸方向に対しておよそ 4 5 ° 傾斜し、投影ユニット P U の中心（投影光学系 P L の光軸 A X、本実施形態では前述の露光領域 I A の中心とも一致）を通りかつ Y 軸と平行な直線（基準軸）L V に関して対称な配置となっている。

40

#### 【0037】

液体供給管 3 1 A 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

50

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 3 1 B 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。

【 0 0 3 8 】

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 3 1 A 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 1 0 0 で備えている必要はなく、少なくとも一部を露光装置 1 0 0 が設置される工場などの設備で代替することもできる。

10

【 0 0 3 9 】

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 3 1 B 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 1 0 0 で備えている必要はなく、少なくとも一部を露光装置 1 0 0 が設置される工場などの設備で代替することもできる。

【 0 0 4 0 】

本実施形態では、上記の液体  $Lq$  として、ArFエキシマレーザー光 ( 波長 193 nm 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。

20

【 0 0 4 1 】

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。

【 0 0 4 2 】

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 2 0 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 2 0 からの指示に応じ、液体供給管 3 1 A に接続されたバルブを所定開度で開き、液体供給管 3 1 A、供給流路、及び供給口を介して先端レンズ 1 9 1 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 2 0 からの指示に応じ、液体回収管 3 1 B 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 3 1 B を介して、先端レンズ 1 9 1 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 2 0 は、先端レンズ 1 9 1 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 1 9 1 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 1 9 1 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。

30

40

【 0 0 4 3 】

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 3 2、液体供給装置 5、液体回収装置 6、液体供給管 3 1 A 及び液体回収管 3 1 B 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 3 2 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 3 2 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 3 2 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。

50

## 【 0 0 4 4 】

なお、投影ユニット P U 下方に計測ステージ M S T 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 1 9 1 との間に水を満たすことが可能である。

## 【 0 0 4 5 】

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 9 9 / 4 9 5 0 4 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 P L を構成する最下端の光学部材（先端レンズ）1 9 1 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 2 0 0 4 / 0 5 3 9 5 5 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 1 4 2 0 2 9 8 号明細書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。

10

## 【 0 0 4 6 】

図 1 に戻り、ステージ装置 5 0 は、ベース盤 1 2 の上方に配置されたウエハステージ W S T 及び計測ステージ M S T、これらのステージ W S T, M S T の位置情報を計測する計測システム 2 0 0（図 6 参照）、及びステージ W S T, M S T を駆動するステージ駆動系 1 2 4（図 6 参照）などを備えている。計測システム 2 0 0 は、図 6 に示されるように、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 などを含む。なお、干渉計システム 1 1 8 及びエンコーダシステム 1 5 0 等については、後に詳述する。

20

## 【 0 0 4 7 】

図 1 に戻り、ウエハステージ W S T, 計測ステージ M S T 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 1 2 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 1 2 の上方にウエハステージ W S T, 計測ステージ M S T が数  $\mu\text{m}$  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 W S T, M S T は、リニアモータ等を含むステージ駆動系 1 2 4（図 6 参照）によって、独立して X Y 平面内で駆動可能である。

30

## 【 0 0 4 8 】

ウエハステージ W S T は、ステージ本体 9 1 と、該ステージ本体 9 1 上に搭載されたウエハテーブル W T B とを含む。このウエハテーブル W T B 及びステージ本体 9 1 は、リニアモータ及び Z・レベリング機構（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 1 2 に対し、6 自由度方向（X、Y、Z、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ ）に駆動可能に構成されている。

30

## 【 0 0 4 9 】

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 の上面には、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）2 8 が設けられている。プレート 2 8 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）、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  あるいは T i C 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 2 8 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 2 8 a と、第 1 撥液領域 2 8 a の周

40

50

囲に配置される矩形棒状（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（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て構成する。本実施形態では、前述の如く液体Lq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。

#### 【0050】

この場合、内側の第1撥水板28aには、露光光ILが照射されるのに対し、外側の第2撥水板28bには、露光光IL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IL（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IL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IL（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IL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。

#### 【0051】

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WTBのセンターラインLL上）には、基準マークFMが形成されるとともに、基準マークFM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）SLが形成されている。各空間像計測スリットパターンSL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。

#### 【0052】

そして、上記各空間像計測スリットパターンSL下方のウエハステージWST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36が、ウエハテーブルWTBからステージ本体91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36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SLに対応して一对設けられている。

#### 【0053】

筐体36内部の光学系は、空間像計測スリットパターンSLを透過した照明光IL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、筐体36内部の光学系を筐体36と同一の符号を用いて送光系36と記述する。

#### 【0054】

さらに、第2撥水板28b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28bのX軸方向一侧と他側（図4(A)における左右両側）の領域には、Yスケール39Y<sub>1</sub>、39Y<sub>2</sub>がそれぞれ形成され、Yスケール39Y<sub>1</sub>、39Y<sub>2</sub>はそれぞれ、例えばX軸方向を長手方向とする格子線38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

10

20

30

40

50

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。

【0055】

同様に、第2撥水板28b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39Y<sub>1</sub>及び39Y<sub>2</sub>に挟まれた状態でXスケール39X<sub>1</sub>、39X<sub>2</sub>がそれぞれ形成され、Xスケール39X<sub>1</sub>、39X<sub>2</sub>はそれぞれ、例えばY軸方向を長手方向とする格子線37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28b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138nm～4μmの間のピッチ、例えば1μm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。

10

【0056】

このように、本実施形態では、第2撥水板28bそのものがスケールを構成するので、第2撥水板28b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WTB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28に代えて用いても良い。あるいは、ウエハテーブルWTB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WTBの上面に直接形成しても良い。

20

【0057】

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1mm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（同一面）になるよう、ウエハテーブルWTB上面に設置される。

30

【0058】

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。

また、ウエハテーブルWTB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。

40

【0059】

計測ステージMSTは、図1に示されるように、不図示のリニアモータ等によってXY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MTBとを含んでいる。計測ステージMST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。

【0060】

なお、図6では、ウエハステージWSTの駆動系と計測ステージMST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。

【0061】

50

計測テーブルM T B（及びステージ本体9 2）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9 4、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9 6、及び例えば国際公開第2 0 0 3 / 0 6 5 4 2 8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9 8などが採用されている。波面収差計測器9 8としては、例えば国際公開第9 9 / 6 0 3 6 1号（対応欧州特許第1, 0 7 9, 2 2 3号明細書）に開示されるものも用いることができる。

#### 【0 0 6 2】

照度むらセンサ9 4としては、例えば米国特許第4, 4 6 5, 3 6 8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9 6としては、例えば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（9 4、9 6、9 8）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3 2（あるいは先端レンズ1 9 1）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3 2、先端レンズ1 9 1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。

#### 【0 0 6 3】

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9 4及び空間像計測器9 6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。

#### 【0 0 6 4】

上記各センサに加え、例えば米国特許出願公開第2 0 0 2 / 0 0 6 1 4 6 9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。

#### 【0 0 6 5】

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。

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）。

#### 【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

10

20

30

40

50

6で案内され、各受光系44の受光素子で受光される。すなわち、計測プレート30、送光系36及び受光系44によって、前述した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、空間像計測装置45(図6参照)が構成される。

【0067】

取付部材42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、「FDバー」と略述する)46がX軸方向に延設されている。このFDバー46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MST上にキネマティックに支持されている。

【0068】

FDバー46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。FDバー46の上面(表面)は、いわゆる基準平面板と同程度にその平坦度が高く設定されている。また、FDバー46の長手方向の一侧と他側の端部近傍には、図5A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)52がそれぞれ形成されている。この一对の基準格子52は、所定距離Lを隔ててFDバー46のX軸方向の中心、すなわち前述のセンターラインCLに関して対称な配置で形成されている。

【0069】

また、FDバー46の上面には、図5A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アライメント系、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FM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FM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FDバー46の表面、及び計測テーブルMTB(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。

【0070】

本実施形態の露光装置100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LV上で、投影光学系PLの光軸AX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AL1が配置されている。このプライマリアライメント系AL1は、支持部材54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AL1を挟んで、X軸方向の一侧と他側には、直線LV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AL2<sub>1</sub>、AL2<sub>2</sub>と、AL2<sub>3</sub>、AL2<sub>4</sub>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AL1、AL2<sub>1</sub>~AL2<sub>4</sub>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AL2<sub>n</sub>(n=1~4)は、セカンダリアライメント系AL2<sub>4</sub>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56<sub>n</sub>(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AL2<sub>n</sub>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56<sub>n</sub>に固定され、残りの一部は投影ユニットPU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AL2<sub>1</sub>、AL2<sub>2</sub>、AL2<sub>3</sub>、AL2<sub>4</sub>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AL2<sub>1</sub>、AL2<sub>2</sub>、AL2<sub>3</sub>、AL2<sub>4</sub>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AL1及びセカンダリアライメント系AL2<sub>1</sub>、AL2<sub>2</sub>、AL

10

20

30

40

50



2<sub>3</sub>, AL2<sub>4</sub> 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、アームの回転によりセカンダリアライメント系AL2<sub>1</sub>, AL2<sub>2</sub>, AL2<sub>3</sub>, AL2<sub>4</sub>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AL2<sub>1</sub>, AL2<sub>2</sub>, AL2<sub>3</sub>, AL2<sub>4</sub>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AL2<sub>1</sub>, AL2<sub>2</sub>, AL2<sub>3</sub>, AL2<sub>4</sub>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AL2<sub>n</sub>はその一部がアーム56<sub>n</sub>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56<sub>n</sub>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AL2<sub>n</sub>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良い。

10

20

30

40

50

#### 【0072】

各アーム56<sub>n</sub>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58<sub>n</sub>(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56<sub>n</sub>は、例えばモータ等を含む回転駆動機構60<sub>n</sub>(n=1~4、図3では不図示、図6参照)によって、主制御装置20の指示に応じて回転可能である。主制御装置20は、アーム56<sub>n</sub>の回転調整後に、各バキュームパッド58<sub>n</sub>を作動させて各アーム56<sub>n</sub>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56<sub>n</sub>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AL1及び4つのセカンダリアライメント系AL2<sub>1</sub>~AL2<sub>4</sub>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56<sub>n</sub>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58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AL1及び4つのセカンダリアライメント系AL2<sub>1</sub>~AL2<sub>4</sub>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(CCD等)を用いて撮像し、それらの撮像信号を出力する画像処理方式のFIA(Field Image Alignment)系が用いられている。プライマリアライメント系AL1及び4つのセカンダリアライメント系AL2<sub>1</sub>~AL2<sub>4</sub>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20に供給される。

#### 【0075】

なお、上記各アライメント系としては、FIA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AL1、AL2<sub>1</sub>~AL2<sub>4</sub>は、支持部材54又はアーム56<sub>n</sub>を介して投影ユニットPU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。

#### 【0076】

次に、ウエハステージWST及び計測ステージMSTの位置情報を計測する干渉計システム118(図6参照)の構成等について説明する。

#### 【0077】

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  $PU$  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。

10

## 【0078】

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  $2 \cdot \lambda / K$  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  $2 \cdot \lambda / K$  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。

20

## 【0079】

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  $\lambda$  が  $\pm \Delta \lambda$  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  $K = 2 \cdot \pi / \lambda$  なので、 $2 \cdot \pi \cdot L \cdot \Delta \lambda / \lambda^2$  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  $2 \cdot \pi \times 100$  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。

30

## 【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。

40

## 【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。

50

## 【 0 0 8 2 】

移動鏡 4 1 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 4 1 b、4 1 a、4 1 c が形成されている。反射面 4 1 a は、移動鏡 4 1 の - Y 側の端面の一部を構成し、X Z 平面と平行に且つ X 軸方向に延びている。反射面 4 1 b は、反射面 4 1 a の + Z 側に隣接する面を構成し、反射面 4 1 a に対して鈍角を成し、X 軸方向に延びている。反射面 4 1 c は、反射面 4 1 a の - Z 側に隣接する面を構成し、反射面 4 1 a を挟んで反射面 4 1 b と対称に設けられている。

## 【 0 0 8 3 】

移動鏡 4 1 に対向して、該移動鏡 4 1 に測長ビームを照射する、一对の Z 干渉計 4 3 A、4 3 B が設けられている ( 図 1 及び図 2 参照 ) 。

10

## 【 0 0 8 4 】

Z 干渉計 4 3 A、4 3 B は、図 1 及び図 2 を総合するとわかるように、Y 干渉計 1 6 の X 軸方向の一侧と他側にほぼ同一距離離れて、且つ Y 干渉計 1 6 より幾分低い位置にそれぞれ配置されている。

## 【 0 0 8 5 】

Z 干渉計 4 3 A、4 3 B 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 B 1 が反射面 4 1 b 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 B 2 が反射面 4 1 c ( 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 4 1 b 及び反射面 4 1 c で順次反射された測長ビーム B 1 と直交する反射面を有する固定鏡 4 7 B、及び反射面 4 1 c 及び反射面 4 1 b で順次反射された測長ビーム B 2 と直交する反射面を有する固定鏡 4 7 A が、移動鏡 4 1 から - Y 方向に所定距離離れた位置に測長ビーム B 1、B 2 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。

20

## 【 0 0 8 6 】

固定鏡 4 7 A、4 7 B は、例えば投影ユニット P U 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。

## 【 0 0 8 7 】

Y 干渉計 1 6 は、図 2 ( 及び図 1 3 ) に示されるように、前述の基準軸 L V 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 B 4<sub>1</sub>、B 4<sub>2</sub> をウエハテーブル W T B の反射面 1 7 a に照射し、それぞれの反射光を受光することで、ウエハテーブル W T B の測長ビーム B 4<sub>1</sub>、B 4<sub>2</sub> 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<sub>1</sub>、B 4<sub>2</sub> が代表的に測長ビーム B 4 として示されている。

30

## 【 0 0 8 8 】

また、Y 干渉計 1 6 は、測長ビーム B 4<sub>1</sub>、B 4<sub>2</sub> 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 4 1 a に向けて照射し、反射面 4 1 a 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 4 1 の反射面 4 1 a ( 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。

## 【 0 0 8 9 】

主制御装置 2 0 は、Y 干渉計 1 6 の測長ビーム B 4<sub>1</sub>、B 4<sub>2</sub> に対応する測長軸の計測値の平均値に基づいて反射面 1 7 a、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 2 0 は、測長ビーム B 4<sub>1</sub>、B 4<sub>2</sub> 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 2 0 は、反射面 1 7 a 及び反射面 4 1 a 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。

40

## 【 0 0 9 0 】

また、X 干渉計 1 2 6 は、図 2 及び図 1 3 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<sub>1</sub>、B 5<sub>2</sub> をウエハテーブル W T B に照射する。主制御装置 2 0 は、測長ビーム B

50

5<sub>1</sub>, B 5<sub>2</sub>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<sub>1</sub>, B 5<sub>2</sub>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<sup>(X)</sup>を算出する。なお、X干渉計126から得られる z<sup>(X)</sup>とY干渉計16から得られる z<sup>(Y)</sup>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。

【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B7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B6が、プライマリライメント系A L 1の検出中心を通るX軸に平行な直線(基準軸)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。

10

【0092】

主制御装置20は、X干渉計127の測長ビームB6の計測値、及びX干渉計128の測長ビームB7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。

20

【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B1、B2が、移動鏡41に向けて照射される。これらの測長ビームB1、B2は、移動鏡41の反射面41b, 41cのそれぞれに所定の入射角(θ/2とする)で入射する。そして、測長ビームB1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B2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B2、B1は、再度反射面41b, 41cで順次反射され、あるいは再度反射面41c, 41b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43A、43Bで受光される。

30

【0094】

ここで、移動鏡41(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<sub>0</sub>、Y軸方向への変位を Y<sub>0</sub>とすると、測長ビームB1, B2の光路長変化 L1, L2は、それぞれ以下の式(1)、(2)で表される。

【0095】

$$L1 = Y_0 \times (1 + \cos \theta) + Z_0 \times \sin \theta \quad \dots (1)$$

$$L2 = Y_0 \times (1 + \cos \theta) - Z_0 \times \sin \theta \quad \dots (2)$$

従って、式(1)、(2)から Z<sub>0</sub>及び Y<sub>0</sub>は次式(3)、(4)で求められる。

$$Z_0 = (L1 - L2) / 2 \sin \theta \quad \dots (3)$$

$$Y_0 = (L1 + L2) / \{2(1 + \cos \theta)\} \quad \dots (4)$$

40

【0096】

上記の変位 Z<sub>0</sub>、Y<sub>0</sub>は、Z干渉計43A、43Bのそれぞれで求められる。そこで、Z干渉計43Aで求められる変位を Z<sub>0R</sub>、Y<sub>0R</sub>とし、Z干渉計43Bで求められる変位を Z<sub>0L</sub>、Y<sub>0L</sub>とする。そして、Z干渉計43A、43Bそれぞれが照射する測長ビームB1、B2がX軸方向に離間する距離をDとする(図2参照)。かかる前提の下で、移動鏡41(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。

【0097】

50

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

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

従って、主制御装置20は、上記式(3)~式(6)を用いることで、Z干渉計43A、43Bの計測結果に基づいて、ウエハステージWSTの4自由度の変位 $Z_o$ 、 $Y_o$ 、 $z$ 、 $y$ を算出することができる。

#### 【0098】

このように、主制御装置20は、干渉計システム118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WSTの変位を求めることができる。

#### 【0099】

なお、本実施形態では、ウエハステージWST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91と、該ステージ本体91上に搭載され、ステージ本体91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WTBとを含んで構成しても良いし、あるいは、ウエハテーブルWTBを、ステージ本体91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WSTを採用しても良い。ただし、この場合は、ウエハテーブルWTBの6自由度方向の位置情報を干渉計システム118で計測可能な構成とする必要がある。計測ステージMSTについても、同様に、ステージ本体92と、ステージ本体91上に搭載された3自由度、又は6自由度の計測テーブルMTBとによって構成しても良い。また、反射面17a、反射面17bの代わりに、ウエハテーブルWTBに平面ミラーから成る移動鏡を設けても良い。

#### 【0100】

但し、本実施形態では、ウエハステージWST(ウエハテーブルWTB)の位置制御のための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16、126、127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。

#### 【0101】

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PU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PU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PU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WST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PU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WST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WST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WST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WST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

10

20

30

40

50

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WST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MTBの2次元位置座標を計測するためのY干渉計18、X干渉計130も含まれている。Y干渉計18、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MTBの反射面19a、19b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

10

【0105】

なお、計測テーブルMTB用のY干渉計として、ウエハステージWST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MTBのX干渉計として、ウエハステージWST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MST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WST用のZ干渉計43A、43Bと同様の干渉計を導入することも可能である。

20

【0106】

次に、ウエハステージWSTのXY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62A~62Dが配置されている。これらのヘッドユニット62A~62D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で固定されている。

【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<sub>j</sub>、64<sub>i</sub>（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（64<sub>1</sub>~64<sub>4</sub>、又は65<sub>2</sub>~65<sub>5</sub>）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（64<sub>5</sub>、又は65<sub>1</sub>）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<sub>j</sub>、64<sub>i</sub>を、それぞれ、Yヘッド65、64とも記述する。

30

40

【0109】

ヘッドユニット62Aは、前述のYスケール39Y<sub>1</sub>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39Y<sub>2</sub>を用いて、ウエハステージWST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<sub>i</sub>又は65<sub>j</sub>）（すなわち、計測ビーム）のX軸方向の間隔WDは、Yスケール39Y<sub>1</sub>、39Y<sub>2</sub>のX軸方向の幅（より正確には、格子線38

50

の長さ)より僅かに狭く設定されている。

【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66<sub>5</sub>~66<sub>8</sub>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アライメント系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66<sub>1</sub>~66<sub>4</sub>を備えている。以下では、必要に応じて、Xヘッド66<sub>1</sub>~66<sub>8</sub>を、Xヘッド66とも記述する。

【0111】

ヘッドユニット62Bは、前述のXスケール39X<sub>1</sub>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39X<sub>2</sub>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39X<sub>1</sub>,39X<sub>2</sub>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66<sub>5</sub>とヘッドユニット62Dの最も+Y側のXヘッド66<sub>4</sub>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。

【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67<sub>1</sub>~67<sub>4</sub>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AL2<sub>1</sub>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67<sub>1</sub>~67<sub>3</sub>と、最も内側(+X側)のYヘッド67<sub>3</sub>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AL2<sub>1</sub>の+Y側の位置に配置された1つのYヘッド67<sub>4</sub>とを備えている。

【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67<sub>1</sub>~67<sub>4</sub>と基準軸LVに関して対称に配置された4つのYヘッド68<sub>1</sub>~68<sub>4</sub>を備えている。以下では、必要に応じて、Yヘッド67<sub>1</sub>~67<sub>4</sub>、68<sub>1</sub>~68<sub>4</sub>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39Y<sub>2</sub>,39Y<sub>1</sub>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70E,70F)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】

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(Se

10

20

30

40

50

c BCHK (インターバル) ) などに、セカンダリアライメント系  $AL2_1$ 、 $AL2_4$  に X 軸方向で隣接する Y ヘッド  $67_3$ 、 $68_2$  が、FD バー 46 の一対の基準格子 52 とそれぞれ対向し、その一対の基準格子 52 と対向する Y ヘッド  $67_3$ 、 $68_2$  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、一対の基準格子 52 にそれぞれ対向する Y ヘッド  $67_3$ 、 $68_2$  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)  $70E_2$ 、 $70F_2$  と呼ぶ。また、識別のため、上述した Y スケール  $39Y_2$ 、 $39Y_1$  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  $70E_1$ 、 $70F_1$  と呼ぶ。

#### 【0117】

上述したエンコーダ  $70A \sim 70F$  は、例えば  $0.1 \text{ nm}$  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  $70A \sim 70D$  のうちの 3 つ、又は  $70B$ 、 $70D$ 、 $70E_1$ 、 $70F_1$  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  $70E_2$ 、 $70F_2$  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。なお、リニアエンコーダの構成等については、さらに後述する。

#### 【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、例えば米国特許第 5,448,332 号明細書等に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。

#### 【0119】

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が、個別に図示されず、照射系 90a 及び受光系 90b の間で X 軸方向に伸びる細長い検出領域 (ビーム領域) AF として示されている。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 ( $AL1$ 、 $AL2_1 \sim AL2_4$ ) 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、各一対の Z 位置

10

20

30

40

50



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（光学ピックアップ方式のセンサヘッド）が用いられている。

10

【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<sub>j</sub>, 64<sub>i</sub> (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<sub>j</sub>, 74<sub>i</sub> (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76<sub>3</sub>~76<sub>5</sub>, 74<sub>1</sub>~74<sub>3</sub>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76<sub>1</sub>, 74<sub>5</sub>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76<sub>2</sub>, 74<sub>4</sub>は、Yヘッド65<sub>2</sub>, 64<sub>4</sub>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<sub>j</sub>, 74<sub>i</sub> (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。

20

【0124】

ここで、Zヘッド74<sub>3</sub>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76<sub>3</sub>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】

また、Zヘッド74<sub>3</sub>とZヘッド74<sub>4</sub>とのY軸に平行な方向の距離、及びZヘッド76<sub>3</sub>とZヘッド76<sub>2</sub>とのY軸に平行な方向の距離は、Zヘッド72a, 72bのY軸に平行な方向の間隔（Zヘッド72c, 72dのY軸に平行な方向の間隔と一致）とほぼ同一である。また、Zヘッド74<sub>3</sub>とZヘッド74<sub>5</sub>とのY軸に平行な方向の距離、及びZヘッド76<sub>3</sub>とZヘッド76<sub>1</sub>とのY軸に平行な方向の距離は、Zヘッド72a, 72bのY軸に平行な方向の間隔より僅かに短い。

30

【0126】

上述したZヘッド72a~72d、Zヘッド74<sub>1</sub>~74<sub>5</sub>、及びZヘッド76<sub>1</sub>~76<sub>5</sub>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72a~72d、Zヘッド74<sub>1</sub>~74<sub>5</sub>、及びZヘッド76<sub>1</sub>~76<sub>5</sub>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72a~72d、Zヘッド74<sub>1</sub>~74<sub>5</sub>、及びZヘッド76<sub>1</sub>~76<sub>5</sub>と、信号処理・選択装置170とを含んで、ウエハステージWSTのZ軸方向及びXY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。

40

【0127】

なお、図3では、計測ステージMSTの図示が省略されるとともに、その計測ステージMSTと先端レンズ191との間に保持される水Lq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UPは、ウエハテーブルWTB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LPはウエハテーブルWTB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

50

ンローディングポジションUPと、ローディングポジションLPとは、基準軸LV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UPとローディングポジションLPとを同一位置としても良い。

【0128】

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70A～70F）、Zヘッド72a～72d、74<sub>1</sub>～74<sub>5</sub>、76<sub>1</sub>～76<sub>5</sub>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MST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。

10

【0129】

次に、Zヘッド72a～72d、74<sub>1</sub>～74<sub>5</sub>、及び76<sub>1</sub>～76<sub>5</sub>の構成等について、図7に示されるZヘッド72aを代表的に採り上げて説明する。

【0130】

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

【0131】

フォーカスセンサFSとしては、プローブビームLB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、CD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FSの出力信号は、不図示の駆動部に送られる。

20

【0132】

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ZHに、他方はセンサ本体ZH及び計測部ZE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FSからの出力信号に従って、センサ本体ZH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FS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ZHをZ軸方向に駆動する。これにより、センサ本体ZH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。

30

【0133】

計測部ZE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れている。計測部ZEは、センサ本体ZHの上面に固定されたZ軸方向に延びる支持部材SM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EGと、該回折格子EG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EHとを含む。エンコーダヘッドEHは、プローブビームELを回折格子EGに照射し、回折格子EG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EL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ZHのZ軸方向の変位を読み取る。

40

【0134】

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ZH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ZEのエンコーダヘッドEHが、センサ本体ZH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。エンコーダヘッドEHの計測値が、Zヘッド72aの計測値として前述の信号処理・選択装置170を介して主制御装置20に供給される。

【0135】

50

フォーカスセンサ  $FS$  は、一例として、図 8 (A) に示されるように、照射系  $FS_1$ 、光学系  $FS_2$ 、及び受光系  $FS_3$  の 3 つの部分を含む。

【0136】

照射系  $FS_1$  は、例えばレーザダイオードから成る光源  $LD$  と、該光源  $LD$  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） $ZG$  とを含む。

【0137】

光学系  $FS_2$  は、一例として回折格子板  $ZG$  で発生するレーザ光の回折光、すなわちプローブビーム  $LB_1$  の光路上に順次配置された偏光ビームスプリッタ  $PBS$ 、コリメータレンズ  $CL$ 、四分の一波長板（ $\lambda/4$  板） $WP$  及び対物レンズ  $OL$  等を含む。

【0138】

受光系  $FS_3$  は、一例として、プローブビーム  $LB_1$  の計測対象面  $S$  での反射ビーム  $LB_2$  の戻り光路上に順次配置された円筒レンズ  $CYL$  及び四分割受光素子  $ZD$  を含む。

【0139】

フォーカスセンサ  $FS$  によると、照射系  $FS_1$  の光源  $LD$  で発生した直線偏光のレーザ光が回折格子板  $ZG$  に照射され、該回折格子板  $ZG$  で回折光（プローブビーム） $LB_1$  が発生する。このプローブビーム  $LB_1$  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。

【0140】

そして、プローブビーム  $LB_1$ 、すなわち偏光ビームスプリッタ  $PBS$  の分離面に対して  $P$  偏光となる偏光成分の光が、光学系  $FS_2$  に入射する。光学系  $FS_2$  内では、このプローブビーム  $LB_1$  は偏光ビームスプリッタ  $PBS$  を透過し、コリメータレンズ  $CL$  で平行ビームに変換され、 $\lambda/4$  板  $WP$  を透過して、円偏光となって対物レンズ  $OL$  で集光され、計測対象面  $S$  に照射される。これにより、その計測対象面  $S$  でプローブビーム  $LB_1$  の入射光とは逆向きの円偏光である反射光（反射ビーム） $LB_2$  が発生する。そして、反射ビーム  $LB_2$  は、入射光（プローブビーム  $LB_1$ ）の光路を逆に辿って、対物レンズ  $OL$ 、 $\lambda/4$  板  $WP$ 、コリメータレンズ  $CL$  を透過し、偏光ビームスプリッタ  $PBS$  に向かう。この場合、 $\lambda/4$  板  $WP$  を 2 回透過することにより、反射ビーム  $LB_2$  は  $S$  偏光に変換されている。このため、反射ビーム  $LB_2$  は、偏光ビームスプリッタ  $PBS$  の分離面で進行方向を折り曲げられ、受光系  $FS_3$  へ送られる。

【0141】

受光系  $FS_3$  では、反射ビーム  $LB_2$  は円筒レンズ  $CYL$  を透過して、四分割受光素子  $ZD$  の検出面に照射される。ここで、円筒レンズ  $CYL$  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、 $YZ$  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、 $XY$  断面は矩形状を有する。このため、円筒レンズ  $CYL$  を透過する反射ビーム  $LB_2$  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。

【0142】

四分割受光素子  $ZD$  は、その検出面で反射ビーム  $LB_2$  を受光する。四分割受光素子  $ZD$  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  $O_Z$  とする。

【0143】

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  $LB_1$  が計測対象面  $S_0$  上に焦点を結ぶ状態では、反射ビーム  $LB_2$  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  $O_Z$  を中心とする円形となる。

【0144】

また、図 8 (A) において、プローブビーム  $LB_1$  が計測対象面  $S_1$  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  $S_0$  にあり、四分割受光素子  $ZD$  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、

10

20

30

40

50

反射ビーム  $L B_2$  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  $O_{ZD}$  を中心とする横長の長円形となる。

【 0 1 4 5 】

また、図 8 ( A ) において、プローブビーム  $L B_1$  が計測対象面  $S_{-1}$  上に焦点を結び、いわゆる後ピン状態、(すなわち計測対象面  $S$  が理想位置  $S_0$  にあり、四分割受光素子  $ZD$  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  $L B_2$  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  $O_{ZD}$  を中心とする縦長の長円形となる。

【 0 1 4 6 】

四分割受光素子  $ZD$  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。

10

【 0 1 4 7 】

$$I = ( I_a + I_c ) - ( I_b + I_d ) \quad \dots ( 7 )$$

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。

【 0 1 4 8 】

不図示の駆動部は、フォーカスセンサ  $FS$  内の検出部  $FS_3$  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  $FS$  を格納したセンサ本体  $ZH$  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  $ZH$  も変位するため、プローブビームは必ず計測対象面  $S$  上で焦点を結び、すなわちセンサ本体  $ZH$  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)。

20

【 0 1 4 9 】

一方、不図示の駆動部は、計測部  $ZE$  の計測結果が  $Z$  ヘッド  $72a$  外部からの入力信号に一致するように、センサ本体  $ZH$  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  $LB$  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。

30

【 0 1 5 0 】

本実施形態では、前述のように、計測部  $ZE$  としてエンコーダを採用し、センサ本体  $ZH$  に設置された回折格子  $EG$  の  $Z$  変位を、エンコーダヘッド  $EH$  を用いて読み取る。エンコーダヘッド  $EH$  は、基準点からの計測対象 (回折格子  $EG$ ) の変位を計測する相対位置センサであるから、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、 $Z$  ヘッドの起動時および復帰時には、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。そこで、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。また、計測部  $ZE$  は、基準位置 (例えば原点) に、センサ本体  $ZH$  が位置するとき原点検出信号を発生するようになっている。

40

【 0 1 5 1 】

50

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LB<sub>1</sub>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、例えばレーザー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。

#### 【0152】

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39Y<sub>1</sub>、39Y<sub>2</sub>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、露光の際に、ウエハテーブルWTB上のYスケール39Y<sub>1</sub>、39Y<sub>2</sub>にZヘッドが各1つ対向する構成になっていることに鑑み、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ている。

10

#### 【0153】

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。

#### 【0154】

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39X<sub>2</sub>に対向するXヘッド66<sub>3</sub>（Xリニアエンコーダ70D）と、Yスケール39Y<sub>1</sub>、Y<sub>2</sub>にそれぞれ対向する2つのYヘッド68<sub>2</sub>、67<sub>3</sub>（Yリニアエンコーダ70F<sub>1</sub>、70E<sub>1</sub>）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）。

20

#### 【0155】

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）。

30

#### 【0156】

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WTB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AF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70F<sub>1</sub>、70E<sub>1</sub>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。

40

#### 【0157】

そして、多点AF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AF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。

#### 【0158】

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39Y<sub>2</sub>が形成された領域）上の所定の点

50

(例えば、Zヘッド72a, 72bそれぞれの計測点の中心、すなわち多点AF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39Y<sub>1</sub>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中心、すなわち多点AF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AF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z<sub>1</sub>~z<sub>k</sub>に換算する。このような換算を、主制御装置20は、

10

#### 【0159】

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<sub>i</sub>、76<sub>j</sub>でウエハテーブルW T B表面(Yスケール39Y<sub>2</sub>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39Y<sub>1</sub>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 $\gamma$ 回転(ローリング)量 $\gamma$ を算出する。そして、これらのZ位置とローリング量 $\gamma$ とY干渉計16で計測されるウエハステージW S Tの $\alpha$ 回転(ピッチング)量 $\alpha$ 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(Z<sub>0</sub>)、ローリング量 $\gamma$ 及びピッチング量 $\alpha$ 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z<sub>1</sub>~z<sub>k</sub>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AF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。

20

#### 【0160】

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AF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<sub>i</sub>及び76<sub>j</sub>でウエハテーブルW T B表面を計測してウエハステージW S TのZ位置と $\gamma$ 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W S Tのピッチング量 $\alpha$ と、前述の面位置データz<sub>1</sub>~z<sub>k</sub>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。

30

40

#### 【0161】

ただし、以上の説明は、ウエハテーブルW T B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。以下では、ウエハテーブルW T B表面にX軸方向に関して凹凸が存在しないものとする。

#### 【0162】

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W T BのX軸方向の一端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

50

いて検出した投影光学系 P L のベストフォーカス位置に対応する、ウエハテーブル W T B 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 A F 系（90 a , 90 b）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 P L のベストフォーカス位置と多点 A F 系の検出原点との偏差を求めるなどの処理を意味する。

【0163】

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 39 X<sub>2</sub> に対向する X ヘッド 66<sub>2</sub>（X リニアエンコーダ 70 D）と、Y スケール 39 Y<sub>1</sub> , 39 Y<sub>2</sub> にそれぞれ対向する 2 つの Y ヘッド 68<sub>2</sub> , 67<sub>3</sub>（Y リニアエンコーダ 70 F<sub>1</sub> , 70 E<sub>1</sub>）とに基づいて、ウエハステージ W S T の X Y 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、ウエハステージ W S T は、Y 軸方向に関しては、前述した計測プレート 30 に多点 A F 系（90 a , 90 b）からの検出ビームが照射される位置にある。

【0164】

（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、前述した Z ヘッド 72 a , 72 b , 72 c , 72 d によって検出されるウエハテーブル W T B 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 A F 系（90 a , 90 b）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 L V にウエハテーブル W T B のセンターラインが一致した状態における Z ヘッド 72 a , 72 b , 72 c , 72 d の計測値（ウエハテーブル W T B 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 A F 系（90 a , 90 b）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。

【0165】

（b） 次に、主制御装置 20 は、ウエハステージ W S T 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 P L の直下に配置される位置でウエハステージ W S T 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 72 a , 72 b , 72 c , 72 d 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 W S T）の投影光学系 P L 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 R S T 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、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 P L 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 W T B の X 軸方向の一侧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 74<sub>3</sub>、76<sub>3</sub> の計測値を取り込む。そして、投影光学系 P L のベストフォーカス位置に対応する Z ヘッド 74<sub>3</sub>、76<sub>3</sub> 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 72 a , 72 b , 72 c , 72 d 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 W S T）の投影光学系 P L 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。

【0166】

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 P L と計測プレート 30（ウエハステージ W S T）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 P L 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 W S T に搭載され、

10

20

30

40

50

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）。

【0167】

(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, 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74<sub>3</sub>、76<sub>3</sub>の計測値（すなわち、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。

10

20

【0168】

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。

【0169】

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。

30

【0170】

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、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90b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。

40

【0171】

しかるに、本実施形態では、多点AF系（90a, 90b）の受光系90b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74<sub>4</sub>, 74<sub>5</sub>, 76<sub>1</sub>, 76<sub>2</sub>を用いて計測ステージMST（FDバー46と一体）の表面の傾きを検出しているので、必ずしもFDバー46表面をXY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るれば、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。

50



## 【 0 1 7 2 】

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。

10

## 【 0 1 7 3 】

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。

20

## 【 0 1 7 4 】

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 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 X<sub>1</sub> , 39 X<sub>2</sub> 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 Y<sub>1</sub> , 39 Y<sub>2</sub> 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<sub>i</sub> , 76<sub>j</sub> 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<sub>i</sub> , 76<sub>j</sub> 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<sub>i</sub> , 76<sub>j</sub> 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 W S T 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。

30

## 【 0 1 7 5 】

図 13 に示される、ウエハステージ W S T の位置では、X スケール 39 X<sub>1</sub> には X ヘッド 66<sub>5</sub> ( 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<sub>2</sub> 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 70 B と 2 つの Y エンコーダ 70 A , 70 C を用いて、ウエハステージ W S T 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 W S T が - Y 方向に移動すると、X ヘッド 66<sub>5</sub> は X スケール 39 X<sub>1</sub> から外れ ( 対向しなくなり ) 、代わりに X ヘッド 66<sub>4</sub> ( 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<sub>2</sub> に対向する。そこで、主制御装置 20 は、1つの X エンコーダ 70 D と 2 つの Y エンコーダ 70 A , 70 C を用いるウエハステージ W S T の位置 ( X , Y , z ) 制御に切り換える。

40

50

## 【 0 1 7 6 】

また、図 1 3 に示される位置にウエハステージ W S T があるとき、Z ヘッド 7 4<sub>3</sub>、7 6<sub>3</sub> ( 図 1 3 中に丸で囲んで示されている ) がそれぞれ Y スケール 3 9 Y<sub>2</sub>、3 9 Y<sub>1</sub> に対向している。そのため、主制御装置 2 0 は、Z ヘッド 7 4<sub>3</sub>、7 6<sub>3</sub> を用いて、ウエハステージ W S T の位置 ( Z, y ) 制御を実行している。ここで、図 1 3 に示される位置からウエハステージ W S T が + X 方向に移動すると、Z ヘッド 7 4<sub>3</sub>、7 6<sub>3</sub> は対応する Y スケールから外れ、代わりに Z ヘッド 7 4<sub>4</sub>、7 6<sub>4</sub> ( 図 1 3 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 3 9 Y<sub>2</sub>、3 9 Y<sub>1</sub> に対向する。そこで、主制御装置 2 0 は、Z ヘッド 7 4<sub>4</sub>、7 6<sub>4</sub> を用いるステージ制御に切り換える。

## 【 0 1 7 7 】

このように、主制御装置 2 0 は、ウエハステージ W S T 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 W S T の位置制御を実行している。

## 【 0 1 7 8 】

なお、上述の計測器系を用いたウエハステージ W S T の位置計測と独立に、干渉計システム 1 1 8 を用いたウエハステージ W S T 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 1 1 8 を構成する X 干渉計 1 2 6, 1 2 7, 又は 1 2 8 を用いてウエハステージ W S T の X 位置及び z 回転 ( ヨーイング )、又は X 位置が、Y 干渉計 1 6 を用いて Y 位置、x 回転、及び z 回転が、Z 干渉計 4 3 A, 4 3 B ( 図 1 3 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 1 2 6, 1 2 7, 及び 1 2 8 は、ウエハステージ W S T 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 1 3 に示されるように、X 干渉計 1 2 6 が使用される。干渉計システム 1 1 8 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 1 5 0 による計測が出来ないときなどにウエハステージ W S T の位置制御に利用される。

## 【 0 1 7 9 】

ウエハ W の露光が終了すると、主制御装置 2 0 は、ウエハステージ W S T をアンローディングポジション U P 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 W S T と計測ステージ M S T とが、接触或いは 3 0 0 μ m 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 M T B 上の F D バー 4 6 の - Y 側面とウエハテーブル W T B 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 W S T, M S T が - Y 方向に移動することにより、投影ユニット P U の下に形成される液浸領域 1 4 は、計測ステージ M S T 上に移動する。例えば図 1 4、図 1 5 には、移動後の状態が示されている。

## 【 0 1 8 0 】

ウエハステージ W S T が、アンローディングポジション U P 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 W S T 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 7 0 A ~ 7 0 D 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 W T B 上の対応するスケールから外れる。そのため、エンコーダ 7 0 A ~ 7 0 D 及び Z ヘッドの計測結果に基づくウエハステージ W S T の位置制御が不可能になる。その直前に、主制御装置 2 0 は、干渉計システム 1 1 8 の計測結果に基づくウエハステージ W S T の位置制御に切り換える。ここで、3 つの X 干渉計 1 2 6, 1 2 7, 1 2 8 のうち X 干渉計 1 2 8 が使用される。

## 【 0 1 8 1 】

その後、ウエハステージ W S T は、計測ステージ M S T とのスクラム状態を解除し、図 1 4 に示されるように、アンローディングポジション U P に移動する。移動後、主制御装置 2 0 は、ウエハテーブル W T B 上のウエハ W をアンロードする。そして、主制御装置 2 0 は、ウエハステージ W S T を + X 方向に駆動してローディングポジション L P に移動させ、図 1 5 に示されるように、ウエハテーブル W T B 上に次のウエハ W をロードする。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 8 2 】

これらの動作と平行して、主制御装置 2 0 は、計測ステージ M S T に支持された F D バ  
ー 4 6 の X Y 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 A L 2<sub>1</sub> ~ A L 2<sub>4</sub>  
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、X Y 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 7 0 E<sub>2</sub>, 7 0 F<sub>2</sub> が使用される。

## 【 0 1 8 3 】

次に、主制御装置 2 0 は、図 1 6 に示されるように、ウエハステージ W S T を駆動し、  
計測プレート 3 0 上の基準マーク F M をプライマリアライメント系 A L 1 の検出視野内に  
位置決めし、アライメント系 A L 1, A L 2<sub>1</sub> ~ A L 2<sub>4</sub> 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。

10

## 【 0 1 8 4 】

このとき、図 1 6 に示されるように、2 つの Y ヘッド 6 8<sub>2</sub>, 6 7<sub>3</sub> と 1 つの X ヘッド 6  
6<sub>1</sub> ( 図中に丸で囲んで示されている) が、それぞれ Y スケール 3 9 Y<sub>1</sub>, 3 9 Y<sub>2</sub> と X ス  
ケール 3 9 X<sub>2</sub> に対向するようになる。そこで、主制御装置 2 0 は、干渉計システム 1 1  
8 からエンコーダシステム 1 5 0 (エンコーダ 7 0 F<sub>1</sub>, 7 0 E<sub>1</sub>, 7 0 D) を用いたス  
テージ制御へ切り換える。干渉計システム 1 1 8 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 1 2 6, 1 2 7, 1 2 8 のうち X 干渉計 1 2 7 が使  
用される。

20

## 【 0 1 8 5 】

次に、主制御装置 2 0 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 W S T 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 W S T の + Y 方向の移動を  
開始する。

## 【 0 1 8 6 】

そして、ウエハステージ W S T が図 1 7 に示される位置に到達すると、主制御装置 2 0  
は、ウエハステージ W S T を停止する。これに先立って、主制御装置 2 0 は、Z ヘッド 7  
2 a ~ 7 2 d の全部又は一部がウエハテーブル W T B と対向した時点又はその前の時点で  
、それら Z ヘッド 7 2 a ~ 7 2 d を作動させ (オンにし)、ウエハステージ W S T の Z 位  
置及び傾斜 ( y 回転) の計測を開始する。

30

## 【 0 1 8 7 】

ウエハステージ W S T の停止後、主制御装置 2 0 は、プライマリアライメント系 A L 1  
、セカンダリアライメント系 A L 2<sub>2</sub>, A L 2<sub>3</sub> を用いて、3 つのファーストアライメン  
トショット領域 A S 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 7 中の星マーク参照)、上記 3 つのアライメント系 A L 1, A L 2<sub>2</sub>, A L 2<sub>3</sub> 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。

## 【 0 1 8 8 】

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 M S T とウエハステージ W S T 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 2 0 によっ  
て、その接触状態 ( 又は近接状態) での両ステージ W S T, M S T の + Y 方向の移動 ( 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 W S T, M S T の + Y 方向の移  
動開始に先立って、主制御装置 2 0 は、図 1 7 に示されるように、多点 A F 系 ( 9 0 a,  
9 0 b) の検出ビームのウエハテーブル W T B への照射を開始する。これにより、ウエハ  
テーブル W T B 上に多点 A F 系の検出領域が形成される。

40

## 【 0 1 8 9 】

そして、上記の両ステージ W S T, M S T の + Y 方向の移動中に、図 1 8 に示される位  
置に両ステージ W S T, M S T が到達すると、主制御装置 2 0 は、前述したフォーカスキ

50

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。このとき、液浸領域14は、FDバー46上面に形成されている。

【0190】

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AL1, AL2<sub>1</sub>~AL2<sub>4</sub>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AL1, AL2<sub>1</sub>~AL2<sub>4</sub>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に格納する。このとき、主制御装置20は、Xスケール39X<sub>2</sub>に対向するXヘッド66<sub>2</sub>(Xリニアエンコーダ70D)及びYリニアエンコーダ70F<sub>1</sub>, 70E<sub>1</sub>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。

10

【0191】

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。

20

【0192】

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)の制御に用いるZヘッドを、Zヘッド74<sub>i</sub>, 76<sub>j</sub>に切り換えることなく、Zヘッド72a, 72b, 72c, 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位置を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。

30

【0193】

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、そのオフセットが零になるように前述の光学的手法により多点AF系の検出原点を調整する。

【0194】

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。

【0195】

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, AL2<sub>1</sub>~AL2<sub>4</sub>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, AL2<sub>1</sub>~AL2<sub>4</sub>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内部メモリに格納する。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。

40

【0196】

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

50

への移行後、主制御装置 20 は、計測ステージ M S T 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。

【 0 1 9 7 】

次に、主制御装置 20 は、3つのフォーサ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 W S T 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 M S T は、上記露光開始待機位置で待機している。

【 0 1 9 8 】

そして、ウエハステージ W S T が図 2 2 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 W S T を停止させ、プライマリアライメント系 A L 1 , セカンダリアライメント系 A L 2<sub>2</sub> , A L 2<sub>3</sub> を用いて、ウエハ W 上の 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ほぼ同時にかつ個別に検出し ( 図 2 2 中の星マーク参照 )、上記 3 つのアライメント系 A L 1 , A L 2<sub>2</sub> , A L 2<sub>3</sub> 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 M S T 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、例えば米国特許第 4 , 7 8 0 , 6 1 7 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 1 5 0 のエンコーダ 7 0 B , 7 0 D , 7 0 E<sub>1</sub> , 7 0 F<sub>1</sub> の計測軸で規定される、アライメント座標系 ( プライマリアライメント系 A L 1 の検出中心を原点とする X Y 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。

【 0 1 9 9 】

次に、主制御装置 20 は、ウエハステージ W S T 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 A F 系 ( 9 0 a , 9 0 b ) からの検出ビームがウエハ W 表面から外れると、図 2 3 に示されるように、フォーカスマッピングを終了する。

【 0 2 0 0 】

その後、主制御装置 20 は、ウエハステージ W S T 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 W S T 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 W S T の Z 位置、 y 回転の制御に用いる Z ヘッドを、Z ヘッド 7 2 a ~ 7 2 d から、Z ヘッド 7 4<sub>i</sub>、7 6<sub>j</sub> 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 ( E G A ) の結果及び最新の 5 つのアライメント系 A L 1 , A L 2<sub>1</sub> ~ A L 2<sub>4</sub> のベースラインの計測結果等に基づいて、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。

【 0 2 0 1 】

次に、Z ヘッドの計測結果を用いた、ウエハステージ W S T 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、フォーカスマッピング時には面位置計測システム 1 8 0 ( 図 6 参照 ) を構成する 4 つの Z ヘッド 7 0 a ~ 7 0 d を用いて、ウエハステージ W S T 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 7 4<sub>i</sub>、7 6<sub>j</sub> ( i , j は 1 ~ 5 のいずれか ) を用いて、ウエハステージ W S T 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 3 9 Y<sub>1</sub> 又は 3 9 Y<sub>2</sub> 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、反射型回折格子の面位置を計測する構成になっている。

【 0 2 0 2 】

図 2 4 ( A ) に、基準点 O において高さ Z<sub>0</sub>、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 次元平面を示す。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。

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

【0203】

図24(B)に示されるように、露光時には、2つのZヘッド74<sub>i</sub>, 76<sub>j</sub>(i, jは1~5のいずれか)を用いて、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(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<sub>3</sub>, 76<sub>3</sub>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<sub>0</sub>、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<sub>L</sub>, q<sub>L</sub>)に位置するZヘッド74<sub>3</sub>と座標(p<sub>R</sub>, q<sub>R</sub>)に位置するZヘッド76<sub>3</sub>のそれぞれが提示するYスケール39Y<sub>1</sub>, 39Y<sub>2</sub>(に形成された反射型回折格子)の面位置の計測値Z<sub>L</sub>, Z<sub>R</sub>は、式(8)と同様の理論式(9)、(10)に従う。

10

【0204】

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

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

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<sub>0</sub>とローリングyは、Zヘッド74<sub>3</sub>, 76<sub>3</sub>の計測値Z<sub>L</sub>, Z<sub>R</sub>を用いて、次式(11)、(12)のように表される。

【0205】

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

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

20

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<sub>0</sub>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。

【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~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~72dは、それぞれ位置(X, Y) = (p<sub>a</sub>, q<sub>a</sub>), (p<sub>b</sub>, q<sub>b</sub>), (p<sub>c</sub>, q<sub>c</sub>), (p<sub>d</sub>, q<sub>d</sub>)に設置されている。これらの位置は、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<sub>a</sub> = p<sub>b</sub>, p<sub>c</sub> = p<sub>d</sub>, q<sub>a</sub> = q<sub>c</sub>, q<sub>b</sub> = q<sub>d</sub>かつ(p<sub>a</sub> + p<sub>c</sub>) / 2 = (p<sub>b</sub> + p<sub>d</sub>) / 2 = Ox', (q<sub>a</sub> + q<sub>b</sub>) / 2 = (q<sub>c</sub> + q<sub>d</sub>) / 2 = Oy'と、設定されている。

30

【0207】

Zヘッド72a, 72bの計測値Z<sub>a</sub>, Z<sub>b</sub>の平均(Z<sub>a</sub> + Z<sub>b</sub>) / 2より、位置(p<sub>a</sub> = p<sub>b</sub>, Oy')の点eでのウエハテーブルWTBの高さZ<sub>e</sub>が、Zヘッド70c, 70dの計測値Z<sub>c</sub>, Z<sub>d</sub>の平均(Z<sub>c</sub> + Z<sub>d</sub>) / 2より、位置(p<sub>c</sub> = p<sub>d</sub>, Oy')の点fでのウエハテーブルWTBの高さZ<sub>f</sub>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Z<sub>0</sub>、Y軸周りの傾斜(ローリング)をyとすると、Z<sub>e</sub>とZ<sub>f</sub>はそれぞれ理論式(13)、(14)に従う。

40

【0208】

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

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

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

50

$Z_0$  とローリング  $y$  は、Zヘッド70a ~ 70dの計測値  $Z_a \sim Z_d$  を用いて、次式(15)、(16)で表される。

【0209】

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

$$\begin{aligned} \tan y &= -2(Z_e - Z_f) / (p_a + p_b - p_c - p_d) \\ &= -(Z_a + Z_b - Z_c - Z_d) / (p_a + p_b - p_c - p_d) \dots (16) \end{aligned}$$

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, 74<sub>1</sub> ~ 74<sub>5</sub>, 76<sub>1</sub> ~ 76<sub>5</sub>)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39Y<sub>1</sub>, 39Y<sub>2</sub>に対向しているため、式(15)、式(16)を用いて、中心点O'におけるウエハステージWST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。

【0211】

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

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

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39Y<sub>1</sub>, 39Y<sub>2</sub>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(より正確には対応するYスケール39Y<sub>1</sub>, 39Y<sub>2</sub>)の面位置を基準にして、多点AF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<sub>2</sub>の面位置Z<sub>a</sub>, Z<sub>b</sub>の平均より、点eにおけるウエハテーブルWTBの面位置Z<sub>e</sub>が、Zヘッド72c, 72dを用いて計測されるYスケール39Y<sub>1</sub>の面位置Z<sub>c</sub>, Z<sub>d</sub>の平均より、点fにおけるウエハテーブルWTBの面位置Z<sub>f</sub>が、求まる。ここで、点eと点fを結ぶX軸に平行な直線ef上に、多点AF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WTBの点e(図10(C)中のP1)における面位置Z<sub>e</sub>と点f(図10(C)中のP2)における面位置Z<sub>f</sub>を結ぶ、次式(19)で表される直線を基準にして、検出点X<sub>k</sub>におけるウエハWの表面の面位置Z<sub>0k</sub>を、多点AF系(90a, 90b)を用いて計測する。

【0214】

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

ただし、Z<sub>0</sub>とtan yは、Zヘッド72a ~ 72dの計測結果Z<sub>a</sub> ~ Z<sub>d</sub>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<sub>0k</sub>より、ウエハWの表面の凹凸データ(フォーカスマップ)Z<sub>k</sub>が、次式(20)のように求められる。

10

20

30

40

50

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

## 【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 $WST$ 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、ウエハ $W$ の面位置及び傾斜が調整される。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 $WTB$  (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。

10

## 【0216】

本実施形態では、ウエハステージ $WST$ の $Z$ ,  $y$ 位置は、 $Z$ ヘッド $72a \sim 72d$ ,  $74_1 \sim 74_5$ ,  $76_1 \sim 76_5$ を用いて $Y$ スケール $39Y_1$ ,  $39Y_2$  (に形成された反射型回折格子) の面位置を計測し、その計測結果を式(11)、式(12)に適用することによって、算出される。ここで、式(11)、式(12)のパラメータとして、 $Z$ ヘッドの設置位置 (より正確には計測点の $XY$ 位置) が必要になる。また、 $Z$ ヘッドの計測結果は、例えば $Y$ スケール $39Y_1$ ,  $39Y_2$ の凹凸に起因する誤差を含む。そこで、予め $Y$ スケール $39Y_1$ ,  $39Y_2$ の凹凸データを作成し、それを用いて計測結果を補正する。ここで、凹凸データは2次元座標( $X, Y$ )の関数として作成されるため、凹凸データから必要な補正データを読み出す際に、 $Z$ ヘッドの設置位置が必要になる。

20

## 【0217】

なお、 $Z$ ヘッド $72a \sim 72d$ ,  $74_1 \sim 74_5$ ,  $76_1 \sim 76_5$ の設計上の設置位置が正確にわかっていたとしても、露光装置100の長時間の使用等により、 $Z$ ヘッドの設置位置が変わることも起こり得る。従って、定期的に $Z$ ヘッドの設置位置を計測し、その最新結果を用いて $Z$ ヘッドの計測結果を補正し、またウエハステージ $WST$ の $Z$ ,  $y$ 位置を算出しなければならない。

## 【0218】

$Z$ ヘッド $72a \sim 72d$ ,  $74_1 \sim 74_5$ ,  $76_1 \sim 76_5$ の設置位置を計測するために、例えば図25(A)に示されるような $Y$ スケール $39Y_3$ ,  $39Y_4$ を、ウエハテーブル $WTB$ の上面に用意する。ただし、図25(A)、図25(B)では、図示の都合上、 $Y$ スケール $39Y_3$ ,  $39Y_4$ の $Y$ 軸方向の幅(後述する $L1$ )、及び $Y$ スケール $39Y_3$ ,  $39Y_4$ の $Y$ スケール $39Y_1$ ,  $39Y_2$ との離間距離(後述する $L2$ )を、実際より大きく描いている。

30

## 【0219】

$Y$ スケール $39Y_3$ ,  $39Y_4$ は、 $Z$ ヘッドの計測対象面である $Y$ スケール $39Y_1$ ,  $39Y_2$ と同様の反射型回折格子から構成され、図26(A)に示される概略よりわかるように、 $Y$ スケール $39Y_1$ ,  $39Y_2$ から所定の離間距離 $L2$ 隔てて、ウエハテーブル $WTB$ の $+Y$ 端部に設けられている。ここで、所定の離間距離 $L2$ と $Y$ スケール $39Y_3$ ,  $39Y_4$ の $Y$ 軸方向の幅 $L1$ は、 $Z$ ヘッドのプローブビーム $LB$ の断面の広がり、例えば数 $\mu m$ 、より大きく設定されている。なお、 $Y$ スケール $39Y_3$ ,  $39Y_4$ の $X$ 軸方向の幅は、 $Y$ スケール $39Y_1$ ,  $39Y_2$ の幅と等しく設定されている。

40

## 【0220】

主制御装置20は、以下のようにして、 $Y$ スケール $39Y_3$ ,  $39Y_4$ を用いて、 $Z$ ヘッド $72a \sim 72d$ ,  $74_1 \sim 74_5$ ,  $76_1 \sim 76_5$ の設置位置を計測する。ここで、 $Z$ ヘッド $72a$ ,  $72b$ ,  $74_1 \sim 74_5$ から1つ、 $72c$ ,  $72d$ ,  $76_1 \sim 76_5$ から1つ、代表ヘッドを2つ選択する。その2つの $Z$ ヘッドの設置位置を計測する。図25(A)では、代表ヘッドとして、 $Z$ ヘッド $74_3$ ,  $76_3$ が選択されている。

## 【0221】

なお、計測中、ウエハステージ $WST$ は基準姿勢を維持することとする。すなわち、ウエハステージ $WST$ を、4自由度( $Z$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $z$ )方向についての基準位置に位

50



置決めする。そして、Y干渉計16を用いて  $x$  ,  $z$  位置を監視し、Z干渉計43A , 43Bを用いて  $Z$  ,  $y$  位置を監視して、これら4自由度方向にウエハステージWSTが変位しないように制御する。そして、X干渉計127とY干渉計16を用いて、それぞれ  $X$  ,  $Y$  位置を監視して、ウエハステージWSTを2自由度 ( $X$  ,  $Y$ ) 方向に駆動制御する。

#### 【0222】

Zヘッド74<sub>3</sub> , 76<sub>3</sub>を用いて、Yスケール39Y<sub>4</sub> , 39Y<sub>3</sub>を走査する。この時、Zヘッド74<sub>3</sub> , 76<sub>3</sub>をスケールサーボ状態に移行させる。すなわち、干渉計システム118の計測結果より予想されるYスケール39Y<sub>4</sub> , 39Y<sub>3</sub>の面位置に、Zヘッド74<sub>3</sub> , 76<sub>3</sub>のプローブビームLBの焦点が一致するように、サーボ制御する。この状態において、Zヘッド内部のフォーカスセンサFSを用いて、プローブビームLBの反射光の強度、すなわち四分割受光素子ZDの4つの検出領域  $a$  ,  $b$  ,  $c$  ,  $d$  それぞれに受光される反射光の強度の和  $I'$  を、計測する。

$$I' = (I_a + I_c) + (I_b + I_d) \quad \dots \dots (21)$$

表記は式(7)と同様である。

#### 【0223】

ウエハステージWSTをY軸方向に移動させて、Zヘッド74<sub>3</sub> , 76<sub>3</sub>を用いて、Yスケール39Y<sub>4</sub> , 39Y<sub>3</sub>をY軸方向に走査する。ウエハステージWSTが+Y方向に移動するに従い、Zヘッド74<sub>3</sub> , 76<sub>3</sub>の走査点、すなわちプローブビームLBの照射断面が、Yスケール39Y<sub>4</sub> , 39Y<sub>3</sub>の+Y側からそれらの走査領域(反射型回折格子が形成された領域)に侵入する。図25(A)と図26(A)では、Zヘッド74<sub>3</sub> , 76<sub>3</sub>のプローブビームLBの照射断面が、Yスケール39Y<sub>4</sub> , 39Y<sub>3</sub>の走査領域内に位置している。さらにウエハステージWSTが+Y方向に移動すると、Zヘッド74<sub>3</sub> , 76<sub>3</sub>のプローブビームLBの照射断面は、それぞれYスケール39Y<sub>4</sub> , 39Y<sub>3</sub>とYスケール39Y<sub>2</sub> , 39Y<sub>1</sub>の間の離間領域に外れる。

#### 【0224】

上述のZヘッド74<sub>3</sub> , 76<sub>3</sub>のプローブビームLBの照射断面とYスケール39Y<sub>4</sub> , 39Y<sub>3</sub>とのY軸方向の相対変位に伴い、式(21)のフォーカスセンサFSの出力信号  $I'$  は、図26(B)に示される曲線S1のように変化する。ここで、プローブビームLBの照射断面が、Yスケール39Y<sub>4</sub> , 39Y<sub>3</sub>の走査領域に出入りするY領域では出力信号  $I'$  は変化し、完全に走査領域内に位置するY領域では一定になる。

#### 【0225】

従って、出力信号  $I'$  と予め定められたスライスレベル(閾値)SLとの2つの交点のY位置Y1 , Y2の中点Y0より、Zヘッド74<sub>3</sub> , 76<sub>3</sub>のY設置位置を定めることができる。

#### 【0226】

なお、フォーカスセンサFSの出力信号  $I'$  が、図26(B)に示される曲線S2のように弱い場合でも、出力信号  $I'$  がスライスレベル(閾値)SLに等しくなるY位置Y1' , Y2'は変わるが、それらの中点Y0は変わらない。従って、Zヘッド74<sub>3</sub> , 76<sub>3</sub>の設置位置を正確に定めることができる。また、スライスレベル(閾値)を、出力信号  $I'$  の最大出力  $I'_{max}$  の半値  $I'_{max}/2$  と設定しても良い。その場合、フォーカスセンサの最大出力  $I'_{max}$  が閾値SLに満たない場合でも、中点Y0を定めることができる。

#### 【0227】

同様に、Zヘッド74<sub>3</sub> , 76<sub>3</sub>を用いてYスケール39Y<sub>4</sub> , 39Y<sub>3</sub>をX軸方向に走査することにより、Zヘッド74<sub>3</sub> , 76<sub>3</sub>のX設置位置が定まる。

#### 【0228】

なお、Yスケール39Y<sub>4</sub> , 39Y<sub>3</sub>が使用できない場合、あるいは上述のYスケール39Y<sub>4</sub> , 39Y<sub>3</sub>を用いる計測が機能しない場合、Yスケール39Y<sub>2</sub> , 39Y<sub>1</sub>の回折格子の端部(Yスケール39Y<sub>4</sub> , 39Y<sub>3</sub>の回折格子の端部でも良い)を利用する。

## 【0229】

図25(B)に示されるように、代表ヘッドとして選択したZヘッド74<sub>3</sub>、76<sub>3</sub>を用いて、Yスケール39Y<sub>2</sub>、39Y<sub>1</sub>の-Y端部を走査する。ここで、ウエハステージWSTを+Y方向に移動させて、Yスケール39Y<sub>2</sub>、39Y<sub>1</sub>の-Y端部をY軸方向に走査する。この時、フォーカスセンサFSの出力信号I' (式(21))は、図26(C)に示される曲線Sのように変化する。そこで、閾値SLを最大出力I'maxの半値I'max/2に設定し、出力信号I' (式(21))とスライスレベル(閾値)SLをとの交点のY位置Y0'より、Zヘッド74<sub>3</sub>、76<sub>3</sub>のY設置位置を定める。

## 【0230】

同様に、Zヘッド74<sub>3</sub>、76<sub>3</sub>を用いてYスケール39Y<sub>2</sub>、39Y<sub>1</sub>(Yスケール39Y<sub>4</sub>、39Y<sub>3</sub>でも良い)の±X端部をX軸方向に走査することにより、Zヘッド74<sub>3</sub>、76<sub>3</sub>のX設置位置が定まる。

## 【0231】

残りのヘッドに対しても、代表ヘッド74<sub>3</sub>、76<sub>3</sub>と同様に、設置位置を計測する。ここで、代表ヘッドの設置位置を基準とする相対位置を計測することとしても良い。

## 【0232】

このようにして、主制御装置20は、定期的に、面位置計測システム180のZヘッド72a~72d、74<sub>1</sub>~74<sub>5</sub>、76<sub>1</sub>~76<sub>5</sub>の設置位置を計測し、その計測結果を、メモリ34又は内部メモリに保存する。そして、ウエハステージWSTを駆動する際に、その最新結果を用いて凹凸データから必要な補正データを読み出し、Zヘッドの計測結果を補正し、またウエハステージWSTの(Z, y)位置を算出しながら、ウエハステージWSTのZ軸方向及びy方向の位置を制御する。

## 【0233】

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RST及びウエハステージWST等)の制御、干渉計システム118、エンコーダシステム150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150、面位置計測システム180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、又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。

## 【0234】

以上詳細に説明したように、本実施形態に係る露光装置100によると、主制御装置20により、主制御装置20により、XY平面に沿ってウエハステージWSTを移動させ、該ウエハステージWSTの移動中に、ウエハステージWST表面のXY平面に直交するZ軸方向の位置情報が面位置計測システム180の複数のZヘッドを用いて計測され、該計測情報と該情報の計測に用いられた少なくとも1つのZヘッドのXY平面に平行な面内における位置情報(設置位置情報)とに基づいて、Z軸方向及びy方向に駆動される。これにより、XY平面に平行な面内におけるZヘッドの位置誤差(設計値からの誤差)に起因するウエハステージWSTのZ軸方向及びy方向の位置計測誤差がキャンセルされるようにウエハステージWSTをZ軸方向及びy方向に駆動することが可能になる。

## 【0235】

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Z軸方向(及びy方向)の位置が高精度に制御されたウエハステージWST(ウエハテーブルWTB)上に載置されたウエハW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上の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。

## 【0236】

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

10

20

30

40

50

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。

【0237】

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、Yスケール39Y<sub>1</sub>、39Y<sub>2</sub>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。

10

【0238】

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ヘッドでウエハテーブルWTB(Yスケール39Y<sub>1</sub>、39Y<sub>2</sub>)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(例えば上記実施形態の場合のウエハステージWST)の上面に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。

20

【0239】

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

【0240】

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)との共役関係)が保たれるように、移動体のZ軸方向の移動に応じて、その部材の移動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持するように移動部材が移動すれば良い。

40

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

50

けることで一体化した複合ヘッドを採用しても良い。

【0241】

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(対応米国特許出願公開第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。

10

【0242】

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、 $F_2$ レーザを光源とする場合は、フロンプ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化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。

20

30

40

【0243】

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。

50

## 【0244】

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。

## 【0245】

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、ステッパ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。

10

## 【0246】

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を含むオン軸領域であるが、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を含まないオフ軸領域でも良い。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

## 【0247】

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）、F<sub>2</sub>レーザ（出力波長157nm）、Ar<sub>2</sub>レーザ（出力波長126nm）、Kr<sub>2</sub>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圧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号明細書）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。

30

## 【0248】

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。

40

## 【0249】

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号明細書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

50

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。

【0250】

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。

【0251】

さらに、例えば米国特許第6,611,316号明細書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。

10

【0252】

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。

【0253】

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。

20

【0254】

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。

【0255】

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、レーザーリペア装置、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。

30

【0256】

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。

40

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）が用いられるので、重ね合せ精度を高く維持しつつ、高スループットな露光を行うことができる。従って、微細パターンが形成された高集積度のマイクロデバイスの生産性を向上することができる。

【産業上の利用可能性】

【0257】

以上説明したように、本発明の移動体駆動システム及び移動体駆動方法は、移動面内で移動体を駆動するのに適している。また、本発明のパターン形成装置及びパターン形成方

50

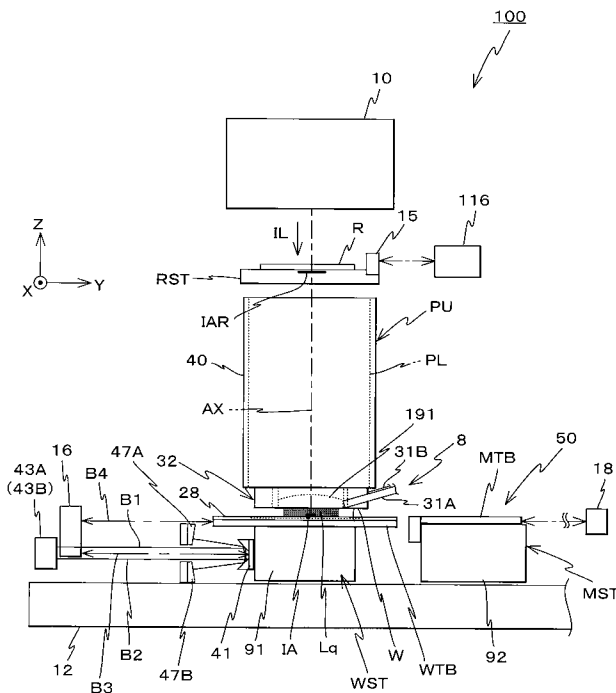
法は、物体上にパターンを形成するのに適している。また、本発明の露光方法及び露光装置、並びにデバイス製造方法は、マイクロデバイスの製造に適している。また、本発明の計測方法は、位置計測システムが備えるセンサヘッドの設置位置を計測するのに適している。また、本発明の位置計測システムは、実質的に二次元平面に沿って移動する移動体の位置情報を計測するのに適している。

【符号の説明】

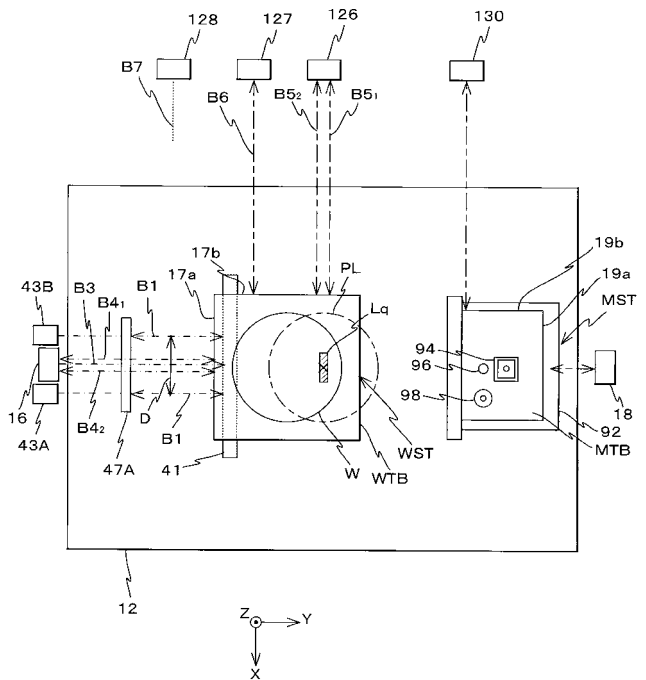
【0258】

20...主制御装置、34...メモリ、39Y<sub>1</sub>, 39Y<sub>2</sub>...Yスケール、50...ステージ装置、72a~72d...Zヘッド、74<sub>1</sub>~74<sub>5</sub>...Zヘッド、76<sub>1</sub>~76<sub>5</sub>...Zヘッド、100...露光装置、118...干渉計システム、150...エンコーダシステム、180...面位置計測システム、WST...ウエハステージ、WTB...ウエハテーブル、FS...フォーカスセンサ、ZH...センサ本体、ZE...計測部、RST...レチクルステージ、PL...投影光学系、W...ウエハ。

【図1】



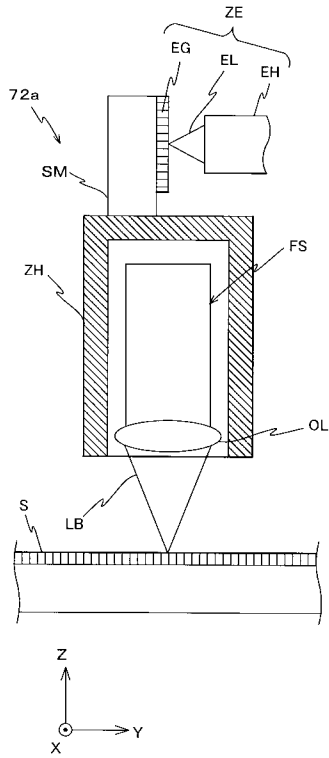
【図2】



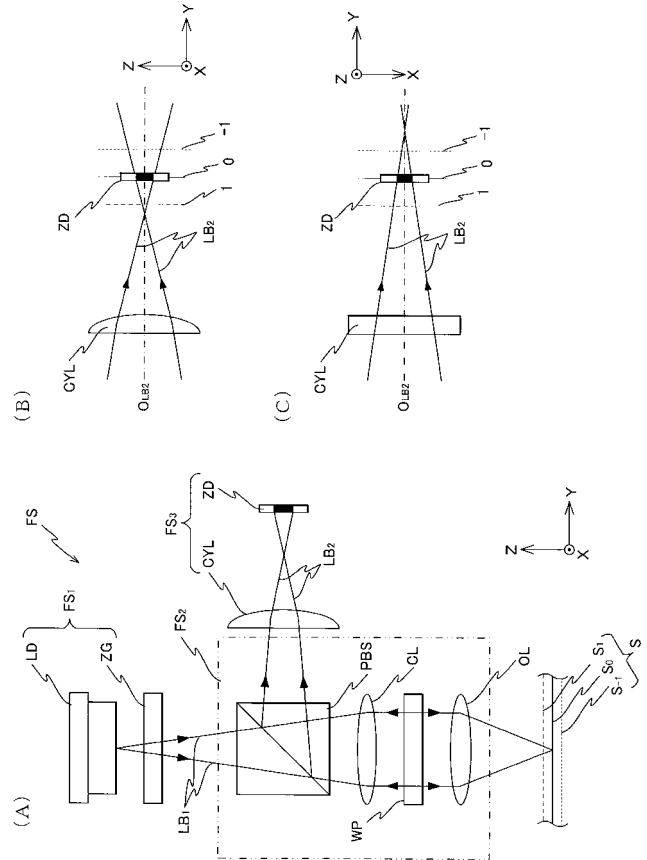




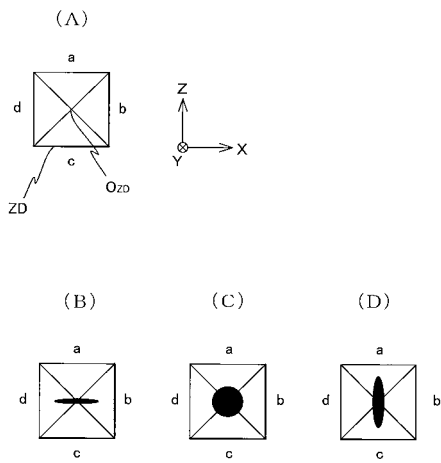
【 図 7 】



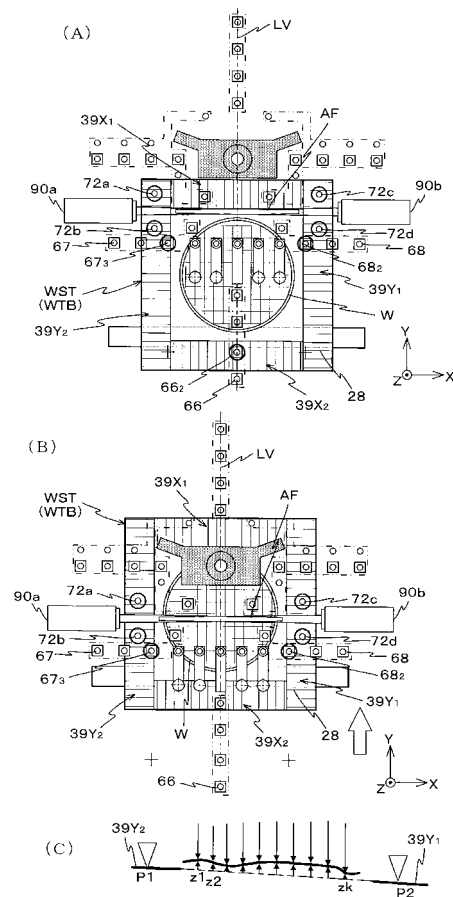
【 図 8 】



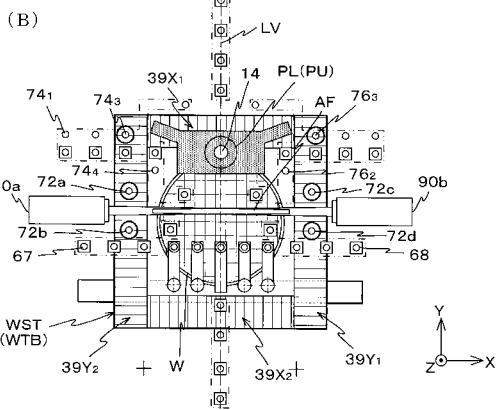
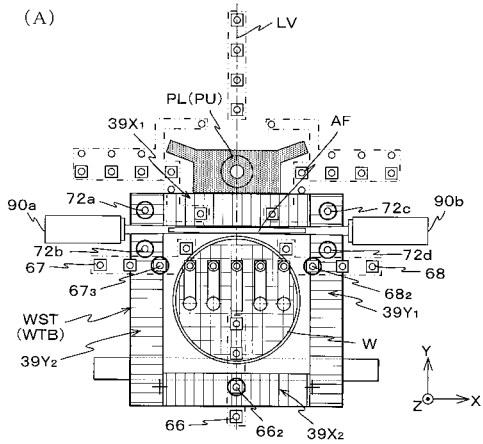
【 図 9 】



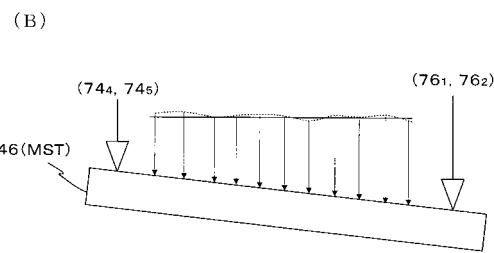
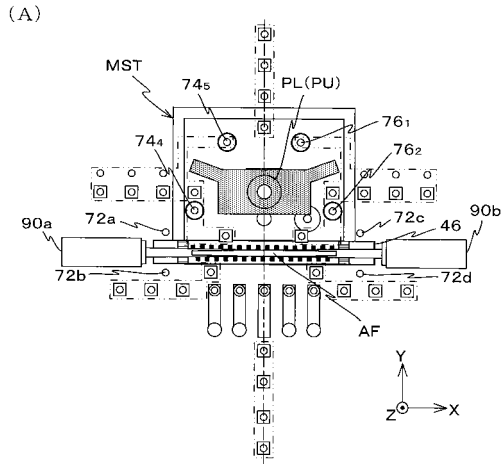
【 図 10 】



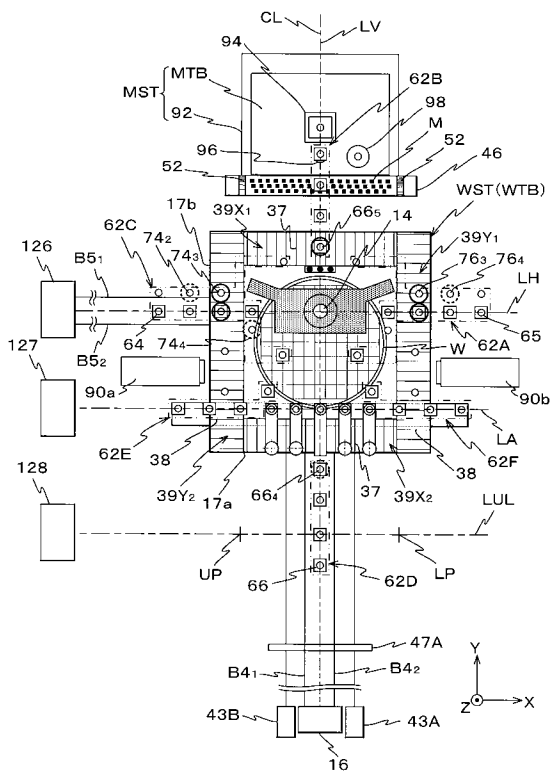
【 図 1 1 】



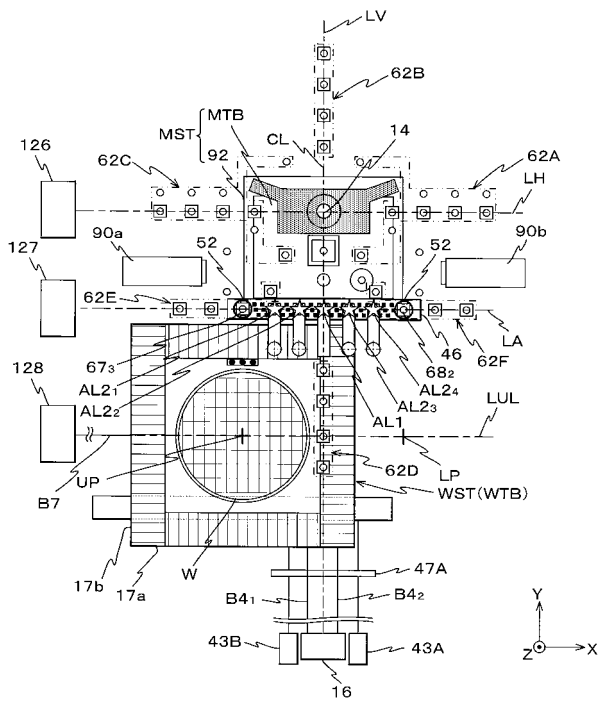
【 図 1 2 】



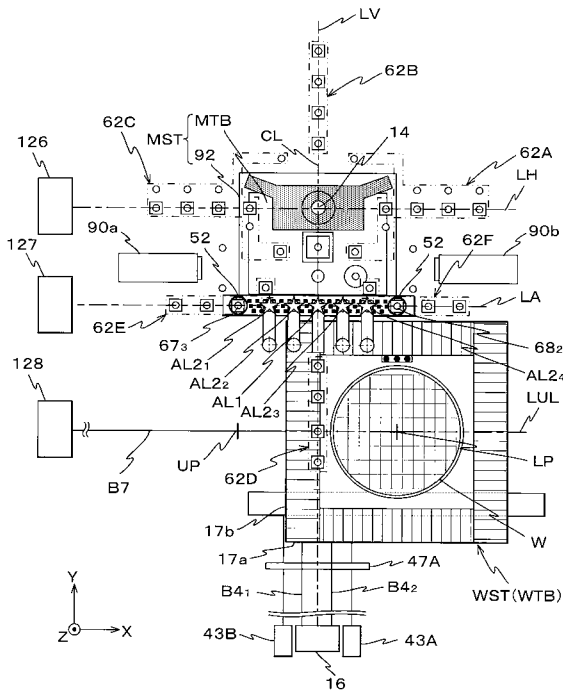
【 図 1 3 】



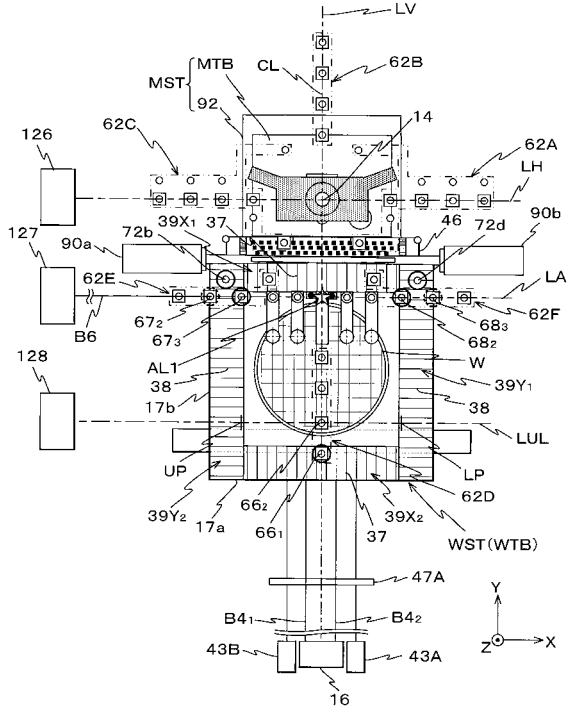
【 図 1 4 】



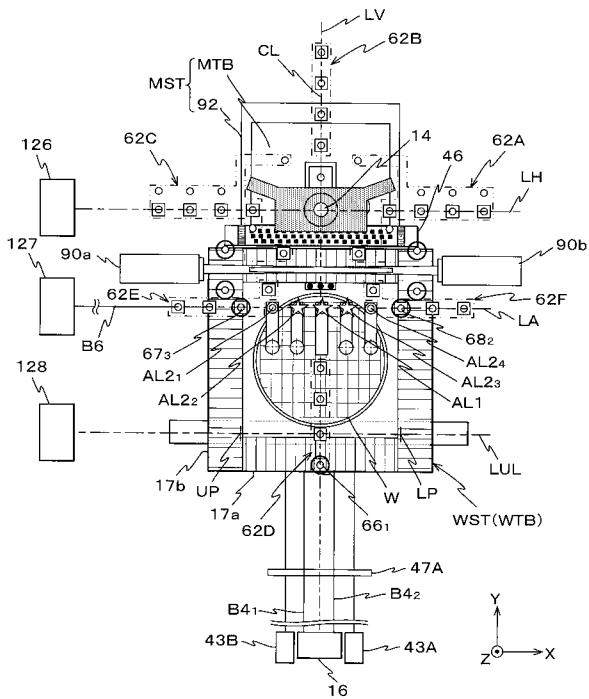
【 図 1 5 】



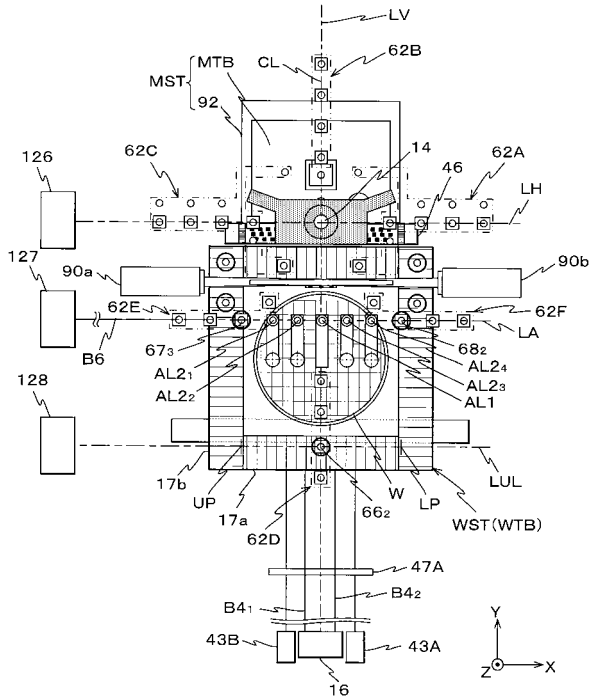
【 図 1 6 】



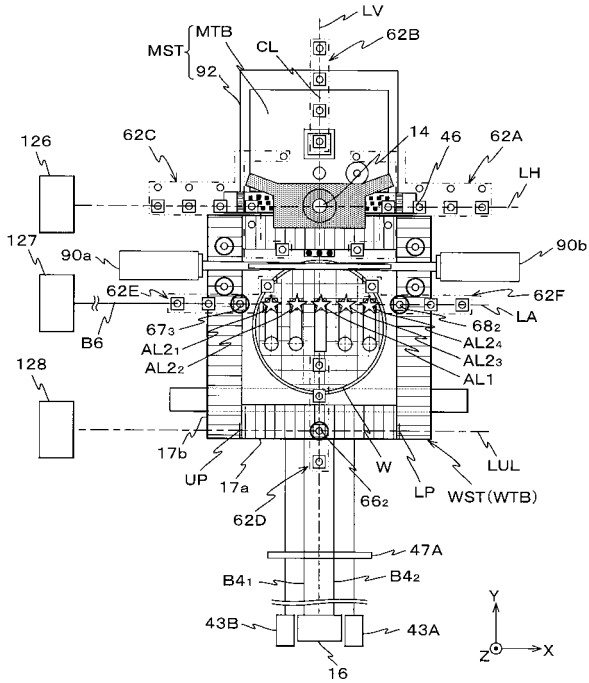
【 図 1 7 】



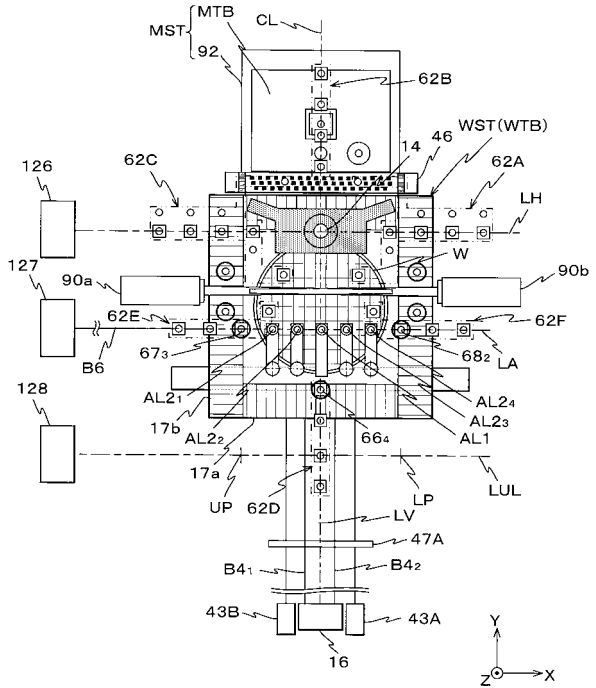
【 図 1 8 】



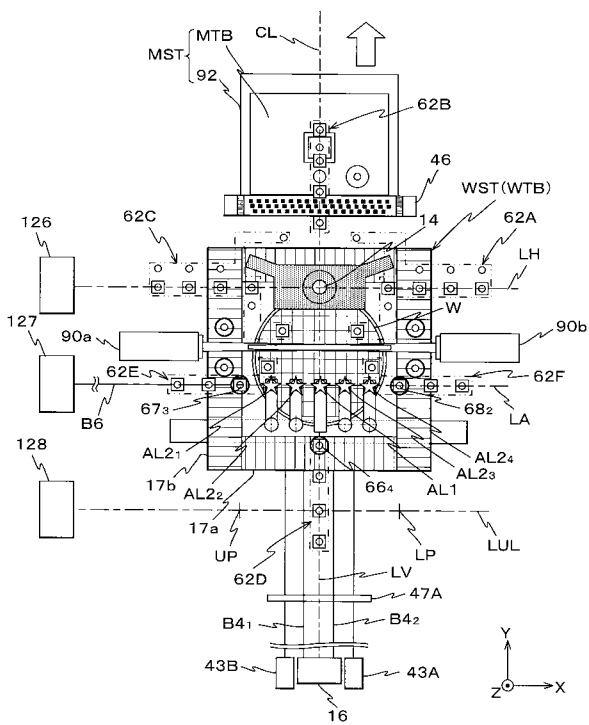
【 図 19 】



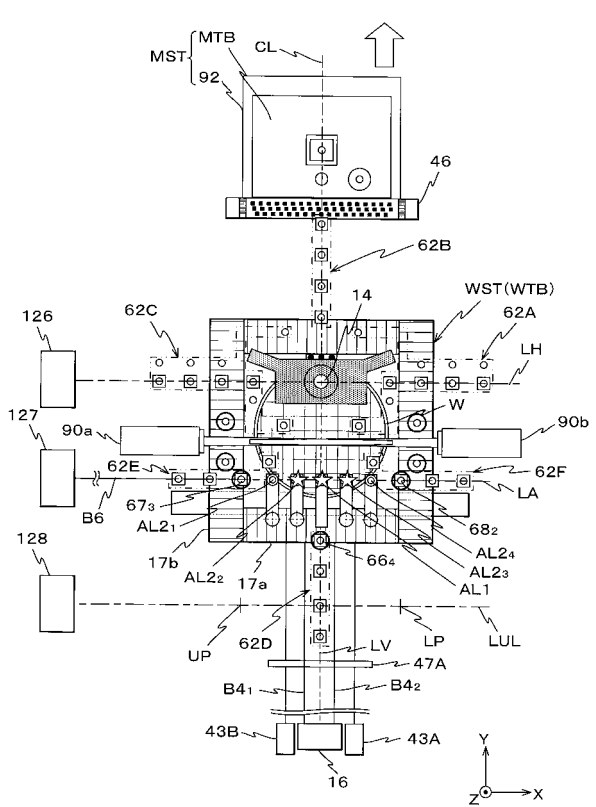
【 図 20 】



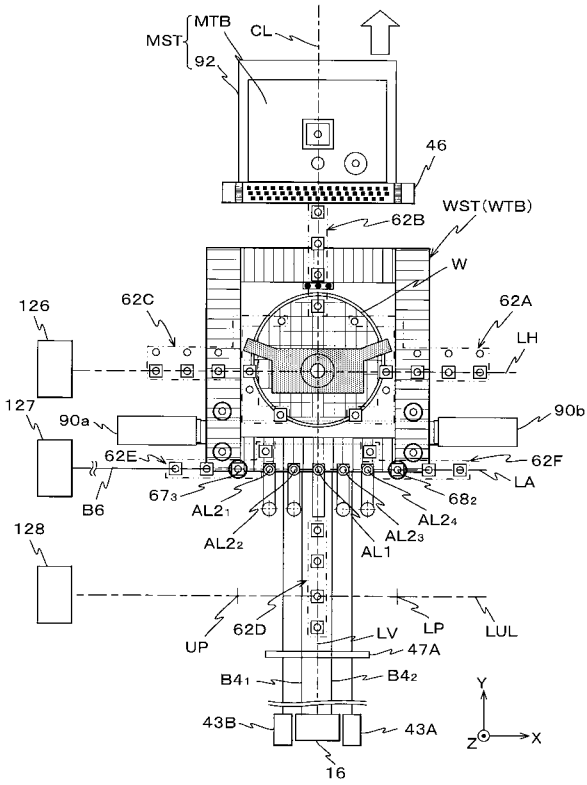
【 図 21 】



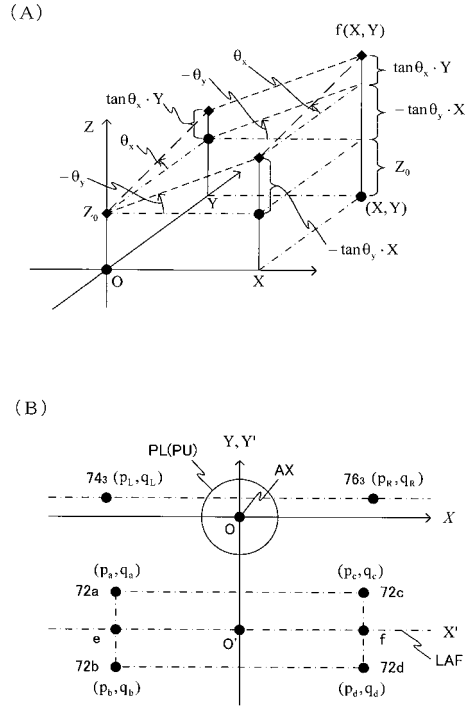
【 図 22 】



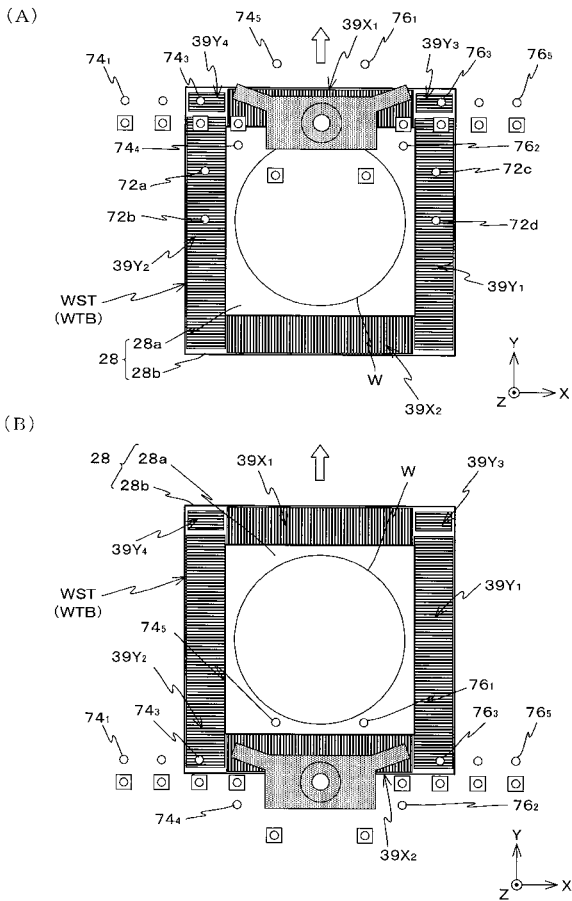
【 図 2 3 】



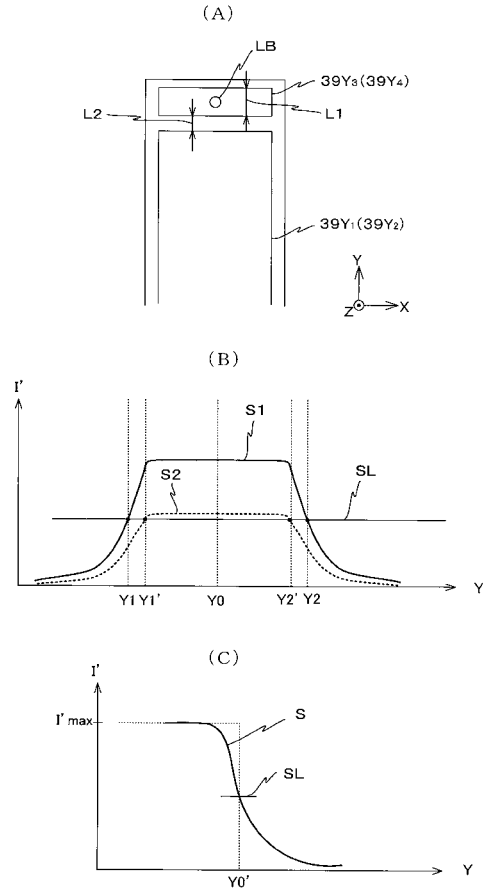
【 図 2 4 】



【 図 2 5 】



【 図 2 6 】



---

フロントページの続き

Fターム(参考) 2F065 AA03 AA04 AA06 AA09 AA20 AA24 AA37 BB15 CC17 DD11  
DD19 EE01 EE11 FF10 FF16 FF55 FF61 GG23 HH08 JJ05  
JJ22 LL12 LL42 NN20 QQ23 QQ25 TT02 TT08  
5F146 BA04 BA05 DA14 DB05 DB08