

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2012 年 6 月 7 日(07.06.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/073483 A1

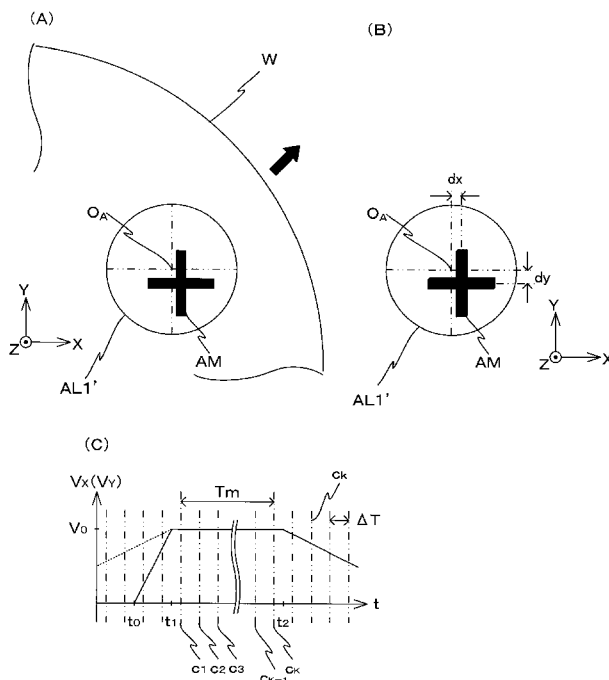
- (51) 国際特許分類:
H01L 21/027 (2006.01) *G03F 9/00* (2006.01)
G01B 11/00 (2006.01) *H01L 21/683* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/006646
- (22) 国際出願日: 2011 年 11 月 29 日(29.11.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2010-264935 2010 年 11 月 29 日(29.11.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン(NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目 1 2 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 金谷 有歩(KANAYA, Yuhō) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目 1 2 番 1 号株式会社ニコン内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 立石 篤司(TATEISHI, Atsuji); 〒2060035 東京都多摩市唐木田一丁目 5 3 番地 9 唐木田センタービル 立石国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),

[続葉有]

(54) Title: MARK DETECTION METHOD, LIGHT EXPOSURE METHOD AND LIGHT EXPOSURE DEVICE, AND METHOD FOR MANUFACTURING DEVICE

(54) 発明の名称: マーク検出方法、露光方法及び露光装置、並びにデバイス製造方法

[図13]



(57) Abstract: An alignment mark (AM) provided on a wafer (W) using an alignment system is imaged while a wafer stage is actuated on the basis of a measurement result of a position measuring system, and the position of the alignment mark (AM) is sought from an imaging position (dx, dy) of the alignment mark (AM) that is sought from the imaging result, and the position of the wafer stage at the time of imaging that is sought from the measurement result of the position measuring system. During imaging of the alignment mark, the wafer stage is actuated at a constant velocity over a movement distance that is an integral multiple of a measuring period of the position measuring system, and the position of the wafer stage at the time of imaging is sought from the average of the measurement results of the position measuring system. Precise alignment measurement is made possible thereby without being affected by periodic error of the position measuring system.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2012/073483 A1



OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

位置計測系の計測結果に基づいてウエハステージを駆動しつつ、アライメント系を用いてウエハ(W)上に設けられたアライメントマーク(AM)を撮像し、この撮像結果から求められるアライメントマーク(AM)の撮像位置(d_x 、 d_y)と、位置計測系の計測結果から求められる撮像時におけるウエハステージの位置と、からアライメントマーク(AM)の位置が求められる。アライメントマークの撮像中、ウエハステージを位置計測系の計測周期の整数倍の移動距離、等速駆動するとともに、位置計測系の計測結果の平均から撮像時におけるウエハステージの位置を求める。これにより、位置計測系の周期誤差の影響を受けることなく、精度良くアライメント計測を行うことが可能となる。

明 細 書

発明の名称：

マーク検出方法、露光方法及び露光装置、並びにデバイス製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、マーク検出方法、露光方法及び露光装置、並びにデバイス製造方法に係り、さらに詳しくは、物体上に形成されたマークを検出するマーク検出方法、該方法を利用する露光方法及び該露光方法を実施する露光装置、並びに前記露光方法を用いるデバイス製造方法に関する。

背景技術

[0002] 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、フォトマスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）のパターンを、投影光学系を介して、フォトレジスト等の感光剤が塗布されたウエハ、ガラスプレート等の被露光物体（以下、「ウエハ」と総称する）上に転写する、例えば、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）、あるいはステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置（いわゆるスキャナ）等が、主として用いられている。

[0003] 半導体素子等は、デバイスパターンを十数層以上重ね合わせて形成されるため、投影露光装置では、レチクルに形成されたパターンとウエハ上に既に形成されたパターンとを正確に位置合わせすることが要求される。そこで、近年では、ウエハの位置合わせ（ウエハアライメント）において、複数のショット領域のうちの一部に付設されたアライメントマークを検出し、この検出結果を統計処理することにより、全てのショット領域の配列、さらにショット領域内のパターンの歪み（ショット内誤差）を高精度に求めるエンハンスド・グローバル・アライメント（EGA）方式が、広く採用されている（例えば、特許文献1、特許文献2等参照）。

[0004] 上述のアライメントマークの検出では、ウエハを保持するウエハステージ

の位置をエンコーダ（あるいは干渉計）等の計測器により計測し、この計測結果に基づいてウエハステージを駆動し、検出対象のアライメントマークをアライメント系の検出視野内に位置させて検出する。ここで、デバイスルールの微細化に伴い、計測器の計測誤差、特に周期的な計測誤差（周期誤差）が、アライメントマークの検出精度、引いてはウエハの位置合わせ精度に対して無視できない程度の誤差要因となることが明らかになった。さらに、アライメントマークは、設計上、どのウエハにおいても同じ位置に形成されるが、ウエハを載置する度にウエハステージ上での載置状態が変わるため、ウエハステージの位置計測座標上でのアライメントマークの位置も検出の度に異なり得る。このため、計測器の周期誤差により、アライメントマークの検出再現性までも悪化する。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：米国特許第4，780，617号明細書

特許文献2：米国特許第6，876，946号明細書

発明の概要

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の第1の態様によれば、移動体上に存在するマークを検出するマーク検出方法であって、前記移動体の位置情報を原理上計測周期を有する位置計測系により計測しながら前記移動体を所定方向に駆動し、前記移動体の駆動中に前記マークを、前記移動体の外部に設けられたマーク検出系により撮像することと；前記マークの撮像結果から求められる前記マークの撮像位置と、前記位置計測系の計測結果から求められる前記マークの撮像時における前記移動体の位置と、を用いて、前記マークの位置を求めることと；を含むマーク検出方法が、提供される。

[0007] これによれば、位置計測系の周期的な計測誤差（周期誤差）を低減して、精度良くマーク検出を行うことが可能となる。

- [0008] 本発明の第2の態様によれば、エネルギービームを照射して物体上にパターンを形成する露光方法であって、第1の態様のマーク検出方法により前記物体を保持する前記移動体上のマーク及び前記物体上のマークの少なくとも一方を検出することと；前記マークの検出結果に基づいて前記物体を保持する移動体を駆動して前記物体を位置合わせし、該物体に前記エネルギービームを照射して前記物体上に前記パターンを形成することと；を含む露光方法が、提供される。
- [0009] これによれば、上記マーク検出方法により高精度なマーク検出を行うことができるので、このマーク検出の結果に基づいて物体を保持する移動体を駆動して物体を位置合わせすることにより、高精度な露光が可能となる。
- [0010] 本発明の第3の態様によれば、第2の態様の露光方法により物体を露光することと；露光された前記物体を現像することと；を含むデバイス製造方法が、提供される。
- [0011] 本発明の第4の態様によれば、エネルギービームを照射して物体上にパターンを形成する露光装置であって、前記物体を保持して移動する移動体と；原理上計測周期を有し、前記移動体の位置情報を計測する位置計測系と；前記移動体の外部に設けられ、前記物体上のマークを撮像するマーク検出系と；前記移動体の位置情報を前記位置計測系により計測しながら前記移動体を所定方向に駆動し、前記移動体の駆動中に前記マーク検出系を用いて前記移動体上に保持された前記物体上のマークを撮像し、前記マークの撮像結果から求められる前記マークの撮像位置と、前記位置計測系の計測結果から求められる前記マークの撮像時における前記移動体の位置と、を用いて前記マークの位置を求める制御装置と；を備える露光装置が、提供される。
- [0012] これによれば、位置計測系の周期的な計測誤差（周期誤差）を低減して、精度良くマーク検出を行うことが可能となる。また、このマーク検出の結果に基づいて物体を保持する移動体を駆動して物体を位置合わせすることにより、高精度な露光が可能となる。

図面の簡単な説明

[0013] [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]ウエハステージを示す平面図である。

[図3]図1の露光装置が備えるステージ装置及び干渉計の配置を示す平面図である。

[図4]図1の露光装置が備える干渉計システム以外の計測装置をウエハステージとともに示す平面図である。

[図5]エンコーダヘッド（Xヘッド、Yヘッド）とアライメント系の配置を示す平面図である。

[図6]一実施形態に係る露光装置の制御系を中心的に構成する主制御装置の入出力関係を示すブロック図である。

[図7]Pri-BCHKの前半の処理が行われている状態を示す図である。

[図8]アライメント系AL1, AL2₂, AL2₃を用いて、3つのファーストアライメントショット領域に付設されたアライメントマークを同時検出している状態を示す図である。

[図9]アライメント系AL1, AL2₁~AL2₄を用いて、5つのセカンドアライメントショット領域に付設されたアライメントマークを同時検出している状態を示す図である。

[図10]Pri-BCHK後半の処理が行われている状態を示す図である。

[図11]エンコーダの構成の一例を示す図である。

[図12]図12（A）及び図12（B）は、エンコーダの計測結果の解析方法を説明するための図である。

[図13]図13（A）及び図13（B）はアライメント系を用いてアライメントマークを検出するマーク検出方法を説明するための図、図13（C）はマーク検出時におけるウエハステージの駆動速度と計測クロックの発生タイミングを示す図である。

[図14]交互スキャン方式によるアライメントマークの検出方法を説明するための図（その1）である。

[図15]交互スキャン方式によるアライメントマークの検出方法を説明するた

めの図（その２）である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、一実施形態について、図１～図１５に基づいて説明する。

[0015] 図１には、一実施形態の露光装置１００の構成が概略的に示されている。

露光装置１００は、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置、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が設けられている。以下においては、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ＲとウエハＷとが相対走査される走査方向を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 θ_x 、 θ_y 、及び θ_z 方向として説明を行う。

[0016] 露光装置１００は、照明系１０、レチクルステージＲＳＴ、投影ユニットＰＵ、ウエハステージＷＳＴ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。図１では、ウエハステージＷＳＴ上にウエハＷが載置されている。

[0017] 照明系１０は、レチクルブラインド（マスキングシステムとも呼ばれる）で設定（制限）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。照明系１０の構成は、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ている。ここで、照明光ＩＬとして、一例として、ＡｒＦエキシマレーザー光（波長１９３ｎｍ）が用いられている。

[0018] レチクルステージＲＳＴ上には、そのパターン面（図１における下面）に回路パターンなどが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）に所定の走査速度で駆動可能である。

[0019] レチクルステージＲＳＴのＸＹ平面内の位置情報（ θ_z 方向の回転情報を

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(又はレチクルステージRSTの端面に形成された反射面)を介して、例えば0.25nm程度の分解能で常時検出される。レチクル干渉計116の計測値は、主制御装置20(図1では不図示、図6参照)に送られる。

[0020] 投影ユニットPUは、レチクルステージRSTの図1における下方に配置されている。投影ユニットPUは、鏡筒40と、鏡筒40内に保持された投影光学系PLと、を含む。投影光学系PLとしては、例えば、Z軸方向と平行な光軸AXに沿って配列される複数の光学素子(レンズエレメント)から成る屈折光学系が用いられている。投影光学系PLは、例えば両側テレセントリックで、所定の投影倍率(例えば1/4倍、1/5倍又は1/8倍など)を有する。このため、照明系10によってレチクルR上の照明領域IARが照明されると、投影光学系PLの第1面(物体面)とパターン面がほぼ一致して配置されるレチクルRを通過した照明光ILにより、投影光学系PL(投影ユニットPU)を介して照明領域IAR内のレチクルRの回路パターンの縮小像(回路パターンの一部の縮小像)が、投影光学系PL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IARに共役な領域(以下、露光領域とも呼ぶ)IAに形成される。そして、レチクルステージRSTとウエハステージWSTとの同期駆動によって、照明領域IAR(照明光IL)に対してレチクルRを走査方向(Y軸方向)に相対移動させるとともに、露光領域IA(照明光IL)に対してウエハWを走査方向(Y軸方向)に相対移動させることで、ウエハW上の1つのショット領域(区画領域)の走査露光が行われ、そのショット領域にレチクルR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10、及び投影光学系PLによってウエハW上にレチクルRのパターンが生成され、照明光ILによるウエハW上の感応層(レジスト層)の露光によってウエハW上にそのパターンが形成される。図示していないが、投影ユニットPUは、防振機構を介して3本の支柱で支持される鏡筒定盤に搭載される

が、例えば国際公開第2006/038952号パンフレットに開示されているように、投影ユニットPUの上方に配置される不図示のメインフレーム部材、あるいはレチクルステージRSTが配置されるベース部材などに対して投影ユニットPUを吊り下げ支持しても良い。

[0021] ステージ装置50は、図1に示されるように、ベース盤12上に配置されたウエハステージWST、ウエハステージWSTの位置情報を計測する計測システム200（図6参照）、及びウエハステージWSTを駆動するステージ駆動系124（図6参照）等を備えている。計測システム200は、図6に示されるように、干渉計システム118及びエンコーダシステム150などを含む。

[0022] ウエハステージWSTは、不図示の非接触軸受、例えばエアベアリングなどにより、数 μm 程度の間隙（クリアランス、ギャップ）を介して、ベース盤12の上方に支持されている。また、ウエハステージWSTは、リニアモータ等を含むステージ駆動系124（図6参照）によって、X軸方向及びY軸方向に所定ストロークで駆動可能である。

[0023] ウエハステージWSTは、ステージ本体91と、該ステージ本体91上に搭載されたウエハテーブルWTBとを含む。このウエハテーブルWTB及びステージ本体91は、リニアモータ及びZ・レベリング機構（ボイスコイルモータなどを含む）を含む駆動系によって、ベース盤12に対し、6自由度方向（X軸、Y軸、Z軸、 θ_x 、 θ_y 、及び θ_z の各方向）に駆動可能に構成されている。

[0024] ウエハテーブルWTBの上面の中央には、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。図2に示されるように、ウエハテーブルWTB上面のウエハホルダ（ウエハW）の+Y側には、計測プレート30が設けられている。この計測プレート30には、中央に基準マークFMが設けられ、基準マークFMのX軸方向の両側に一对の空間像計測用スリット板SLが、設けられている。各空間像計測用スリット板SLには、不図示ではあるが、Y軸方向を長手方向とする所定幅（例えば、0.2

μm) のライン状の開口パターン (Xスリット) と、X軸方向を長手方向とする所定幅 (例えば、 $0.2\mu\text{m}$) のライン状の開口パターン (Yスリット) と、が形成されている。

[0025] そして、各空間像計測用スリット板SLに対応して、ウエハテーブルWTBの内部には、レンズ等を含む光学系及び光電子増倍管 (フォト・マルチプライヤ・チューブ (PMT)) 等の受光素子が配置され、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一对の空間像計測装置45A, 45B (図6参照) が設けられている。空間像計測装置45A, 45Bの計測結果 (受光素子の出力信号) は、信号処理装置 (不図示) により所定の信号処理が施されて、主制御装置20に送られる (図6参照)。

[0026] また、ウエハテーブルWTB上面には、後述するエンコーダシステム150で用いられるスケールが形成されている。詳述すると、ウエハテーブルWTB上面のX軸方向 (図2における紙面内左右方向) の一側と他側の領域には、それぞれYスケール39Y₁, 39Y₂が形成されている。Yスケール39Y₁, 39Y₂は、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軸方向に配列された、Y軸方向を周期方向とする反射型の格子 (例えば回折格子) によって構成されている。

[0027] 同様に、ウエハテーブルWTB上面のY軸方向 (図2における紙面内上下方向) の一側と他側の領域には、Yスケール39Y₁及び39Y₂に挟まれた状態で、Xスケール39X₁, 39X₂がそれぞれ形成されている。Xスケール39X₁, 39X₂は、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軸方向に配列された、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。

[0028] なお、格子線37, 38のピッチは、例えば $1\mu\text{m}$ に設定されている。図2及びその他の図においては、図示の便宜上から、格子のピッチは実際のピッチよりも大きく図示されている。

[0029] また、回折格子を保護するために、低熱膨張率のガラス板でカバーするこ

とも有効である。ここで、ガラス板としては、厚さがウエハと同程度、例えば厚さ 1 mm のものを用いることができ、そのガラス板の表面がウエハの表面と同じ高さ（同一面）になるよう、ウエハテーブル WTB 上面に設置される。

[0030] また、ウエハテーブル WTB の $-Y$ 端面、 $-X$ 端面には、図 2 に示されるように、後述する干渉計システムで用いられる反射面 17a, 反射面 17b が設けられている。

[0031] また、ウエハテーブル WTB の $+Y$ 側の面には、図 2 に示されるように、米国特許出願公開第 2008/0088843 号明細書に開示される CD バーと同様の、 X 軸方向に延びるフィデューシャルバー（以下、FDバーと略述する）46 が取り付けられている。FDバー 46 の長手方向の一侧と他側の端部近傍には、センターライン LL に関して対称な配置で、 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。また、FDバー 46 の上面には、複数の基準マーク M が形成されている。各基準マーク M としては、後述する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。

[0032] 本実施形態の露光装置 100 では、図 4 及び図 5 に示されるように、投影光学系 PL の光軸 AX を通る Y 軸に平行な直線（以下、基準軸と呼ぶ）LV 上で、光軸 AX から $-Y$ 側に所定距離隔てた位置に検出中心が配置されたプライマリアライメント系 AL1 が設けられている。プライマリアライメント系 AL1 は、投影ユニット PU を保持する不図示のメインフレーム（前述の鏡筒定盤を含む）の下面に固定されている。図 5 に示されるように、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、基準軸 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 AL2₁, AL2₂ と、セカンダリアライメント系 AL2₃, AL2₄ とがそれぞれ設けられている。セカンダリアライメント系 AL2₁ ~ AL2₄ は、可動式の支持部材を介してメインフレーム（不図示）の下面に固定されており、駆動機構 60₁ ~ 60₄（図 6 参照）により、 X 軸方向に関してそれぞれの検出領域の位

置が調整可能となっている。

[0033] 本実施形態では、アライメント系 $AL\ 1$ 、 $AL\ 2_1 \sim AL\ 2_4$ のそれぞれとして、例えば画像処理方式のFIA (Field Image Alignment) 系が用いられている。アライメント系 $AL\ 1$ 、 $AL\ 2_1 \sim AL\ 2_4$ のそれぞれからの撮像信号は、不図示の信号処理系を介して主制御装置20に供給される。

[0034] 干渉計システム118は、図3に示されるように、反射面17a又は17bにそれぞれ干渉計ビーム（測長ビーム）を照射し、反射面17a又は17bからの反射光を受光して、ウエハステージWSTのXY平面内の位置を計測するY干渉計16と、3つのX干渉計126～128とを備えている。Y干渉計16は、基準軸LVに関して対称な一对の測長ビーム B_{4_1} 、 B_{4_2} を含む少なくとも3つのY軸に平行な測長ビームを反射面17a、及び後述する移動鏡41に照射する。また、X干渉計126は、図3に示されるように、光軸AXと基準軸LVとに直交するX軸に平行な直線（以下、基準軸と呼ぶ）LHに関して対称な一对の測長ビーム B_{5_1} 、 B_{5_2} を含む少なくとも3つのX軸に平行な測長ビームを反射面17bに照射する。また、X干渉計127は、プライマリアライメント系 $AL\ 1$ の検出中心にて基準軸LVと直交するX軸に平行な直線（以下、基準軸と呼ぶ）LAを測長軸とする測長ビームB6を含む少なくとも2つのX軸に平行な測長ビームを反射面17bに照射する。また、X干渉計128は、X軸に平行な測長ビームB7を反射面17bに照射する。

[0035] 干渉計システム118の上記各干渉計からの位置情報は、主制御装置20に供給される。主制御装置20は、Y干渉計16及びX干渉計126又は127の計測結果に基づいて、ウエハテーブルWTB（ウエハステージWST）のX、Y位置に加え、 θ_x 方向の回転（すなわちピッチング）、 θ_y 方向の回転（すなわちローリング）、及び θ_z 方向の回転（すなわちヨーイング）も算出することができる。

[0036] また、図1に示されるように、ステージ本体91の-Y側の側面に、凹形状の反射面を有する移動鏡41が取り付けられている。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よりも長い。

[0037] 干渉計システム118（図6参照）は、移動鏡41に対向して配置された一对のZ干渉計43A、43Bをさらに備えている（図1及び図3参照）。Z干渉計43A、43Bは、それぞれ2つのY軸に平行な測長ビームB1、B2を移動鏡41に照射し、該移動鏡41を介して測長ビームB1、B2のそれぞれを、例えば投影ユニットPUを保持するメインフレーム（不図示）に固定された固定鏡47A、47Bに照射する。そして、それぞれの反射光を受光して、測長ビームB1、B2の光路長を計測する。この計測結果より、主制御装置20は、ウエハステージWSTの4自由度（Y、Z、 θ_y 、 θ_z ）方向の位置を算出する。

[0038] 本実施形態では、ウエハステージWST（ウエハテーブルWTB）のXY平面内の位置情報（ θ_z 方向の回転情報を含む）は、主制御装置20により、主として、後述するエンコーダシステム150を用いて計測される。干渉計システム118は、ウエハステージWSTがエンコーダシステム150の計測領域外（例えば、アンローディングポジションとローディングポジション付近）に位置する際に、使用される。また、エンコーダシステム150の計測結果の長期的変動（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使用される。勿論、干渉計システム118とエンコーダシステム150とを併用して、ウエハステージWST（ウエハテーブルWTB）の全位置情報を計測することとしても良い。

[0039] 本実施形態の露光装置100には、干渉計システム118とは独立に、ウエハステージWSTのXY平面内での3自由度方向（X軸、Y軸、及び θ_z の各方向）の位置（以下、XY平面内の位置（X、Y、 θ_z ）と略述する）を計測するために、エンコーダシステム150を構成する複数のヘッドユニットが設けられている。

[0040] 図4及び図5に示されるように、投影ユニットPUの+X側、+Y側、-X側、及びプライマリアライメント系AL1の-Y側に、4つのヘッドユニ

ット62A、62B、62C、及び62Dが、それぞれ配置されている。また、アライメント系AL1、AL2₁～AL2₄のX軸方向の両外側にヘッドユニット62E、62Fが、それぞれ設けられている。ヘッドユニット62A～62Fは、支持部材を介して、投影ユニットPUを保持するメインフレーム（不図示）に吊り下げ状態で固定されている。なお、図4において、符号UPは、ウエハステージWST上にある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、ウエハステージWST上への新たな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。

[0041] ヘッドユニット62A及び62Cは、図5に示されるように、前述の基準軸LV上に間隔WDで配置された複数（ここでは5個）のYヘッド65₁～65₅、Yヘッド64₁～64₅を、それぞれ備えている。以下では、必要に応じて、Yヘッド65₁～65₅及びYヘッド64₁～64₅を、それぞれ、Yヘッド65及びYヘッド64とも表記する。

[0042] ヘッドユニット62A、62Cは、Yスケール39Y₁、39Y₂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）を計測する多眼のYリニアエンコーダ70A、70C（図6参照）を構成する。なお、以下では、Yリニアエンコーダを、適宜、「Yエンコーダ」又は「エンコーダ」と略記する。

[0043] ヘッドユニット62Bは、図5に示されるように、投影ユニットPUの＋Y側に配置され、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66₅～66₈を備えている。また、ヘッドユニット62Dは、プライマリアライメント系AL1の－Y側に配置され、基準軸LV上に間隔WDで配置された複数（ここでは4個）のXヘッド66₁～66₄を備えている。以下では、必要に応じて、Xヘッド66₅～66₈及びXヘッド66₁～66₄をXヘッド66とも表記する。

[0044] ヘッドユニット62B、62Dは、Xスケール39X₁、39X₂を用いて、ウエハステージWST（ウエハテーブルWTB）のX軸方向の位置（X位置）を計測する多眼のXリニアエンコーダ70B、70D（図6参照）を構成

する。なお、以下では、Xリニアエンコーダを、適宜、「エンコーダ」と略記する。

[0045] ここで、ヘッドユニット62A、62Cがそれぞれ備える5個のYヘッド65、64（より正確には、Yヘッド65、64が発する計測ビームのスケール上の照射点）のX軸方向の間隔WDは、露光の際などに、少なくとも1つのヘッドが、常に、対応するYスケール39Y₁、39Y₂に対向する（計測ビームを照射する）ように定められている。同様に、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（より正確には、Xヘッド66が発する計測ビームのスケール上の照射点）のY軸方向の間隔WDは、露光の際などに、少なくとも1つのヘッドが、常に、対応するXスケール39X₁又は39X₂に対向する（計測ビームを照射する）ように定められている。

[0046] なお、ヘッドユニット62Bの最も-Y側のXヘッド66₅とヘッドユニット62Dの最も+Y側のXヘッド66₄との間隔は、ウエハステージWSTのY軸方向の移動により、この2つのXヘッド間で切り換え（つなぎ）が可能となるように、ウエハテーブルWTBのY軸方向の幅よりも狭く設定されている。

[0047] ヘッドユニット62Eは、図5に示されるように、複数（ここでは4個）のYヘッド67₁～67₄を備えている。

[0048] ヘッドユニット62Fは、複数（ここでは4個）のYヘッド68₁～68₄を備えている。Yヘッド68₁～68₄は、基準軸LVに関して、Yヘッド67₁～67₄と対称な位置に配置されている。以下では、必要に応じて、Yヘッド67₁～67₄及びYヘッド68₁～68₄を、それぞれYヘッド67及びYヘッド68とも表記する。

[0049] アライメント計測の際には、少なくとも各1つのYヘッド67、68が、それぞれYスケール39Y₂、39Y₁に対向する。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（図6参照））によってウエハステージWSTのY位置（及びθ

z 回転) が計測される。

- [0050] また、本実施形態では、セカンダリアライメント系のベースライン計測時などに、セカンダリアライメント系 $AL\ 2_1$, $AL\ 2_4$ に X 軸方向でそれぞれ隣接する Y ヘッド $6\ 7_3$, $6\ 8_2$ が、FD バー 46 の一対の基準格子 52 とそれぞれ対向し、この一対の基準格子 52 と対向する Y ヘッド $6\ 7_3$, $6\ 8_2$ 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 $6\ 7_3$, $6\ 8_2$ によって構成されるエンコーダを Y リニアエンコーダ $70\ E_2$, $70\ F_2$ と呼ぶ。また、識別のため、Y スケール $39\ Y_2$, $39\ Y_1$ に対向する Y ヘッド $6\ 7$, $6\ 8$ によって構成される Y エンコーダを、Y エンコーダ $70\ E_1$, $70\ F_1$ と呼ぶ。
- [0051] エンコーダシステム 150 (図 6 参照) を構成するエンコーダ $70\ A \sim 70\ F$ のヘッド ($6\ 4_1 \sim 6\ 4_5$, $6\ 5_1 \sim 6\ 5_5$, $6\ 6_1 \sim 6\ 6_8$, $6\ 7_1 \sim 6\ 7_4$, $6\ 8_1 \sim 6\ 8_4$) として、例えば、米国特許第 7, 238, 931 号明細書、米国特許出願公開第 2008/0088843 号明細書などに開示されている回折干渉型のエンコーダヘッドが用いられている。回折干渉型のエンコーダヘッドについては、後に詳述する。
- [0052] 上述したエンコーダ $70\ A \sim 70\ F$ の計測値 (位置情報) は、主制御装置 20 に供給される。主制御装置 20 は、エンコーダ $70\ A \sim 70\ D$ のうちの 3 つ、又はエンコーダ $70\ E_1$, $70\ F_1$, $70\ B$ 及び $70\ D$ 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 平面内での位置 (X, Y, θ_z) を算出する。
- [0053] また、主制御装置 20 は、リニアエンコーダ $70\ E_2$, $70\ F_2$ の計測値に基づいて、FD バー 46 (ウエハステージ WST) の θ_z 方向の回転を制御する。
- [0054] この他、本実施形態の露光装置 100 では、図 1 では図示が省略されているが、投影ユニット PU の近傍に、ウエハ W 表面の Z 位置を多数の検出点で検出するための照射系 90a 及び受光系 90b から成る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。多点 AF 系として

は、例えば米国特許第5, 448, 332号明細書等の開示されるものと同様の構成の斜入射方式の多点AF系が採用されている。なお、多点AF系の照射系90a及び受光系90bを、例えば米国特許出願公開第2008/0088843号明細書など開示されるように、ヘッドユニット62A, 62Bの近傍に配置し、ウエハアライメント時にウエハ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）を計測する（フォーカスマッピングを行う）ようにしても良い。この場合、ウエハテーブルWTBのZ位置を、このフォーカスマッピング中に計測する面位置計測系を設けることが望ましい。

[0055] 図6には、露光装置100の制御系を中心的に構成し、構成各部を統括制御する主制御装置20の入出力関係を示すブロック図が示されている。主制御装置20は、ワークステーション（又はマイクロコンピュータ）等を含み、露光装置100の構成各部を統括制御する。

[0056] 上述のようにして構成された本実施形態の露光装置100では、例えば米国特許出願公開第2008/0088843号明細書の実施形態中に開示されている手順と同様の手順に従って、アンローディングポジションUP（図4参照）でのウエハWのアンロード、ローディングポジションLP（図4参照）での新たなウエハWのウエハテーブルWTB上へのロード、計測プレート30の基準マークFMとプライマリアライメント系AL1とを用いたプライマリアライメント系AL1のベースラインチェック前半の処理、エンコーダシステム及び干渉計システムの原点の再設定（リセット）、アライメント系AL1, AL2₁～AL2₄を用いたウエハWのアライメント計測、空間像計測装置45A, 45Bを用いたプライマリアライメント系AL1のベースラインチェック後半の処理、並びにアライメント計測の結果求められるウエハ上の各ショット領域の位置情報と、最新のアライメント系のベースラインとに基づく、ステップ・アンド・スキャン方式でのウエハW上の複数のショット領域の露光などの、ウエハステージWSTを用いた一連の処理が、主制御装置20によって実行される。

[0057] ここで、アライメント系 $AL\ 1$ 、 $AL\ 2_1 \sim AL\ 2_4$ を用いたウエハ W のアライメント計測（及びアライメント系のベースラインチェック）について説明する。ウエハ W のロード後、主制御装置 20 は、図 7 に示されるように、ウエハステージ WST を、計測プレート 30 上の基準マーク FM がプライマリアライメント系 $AL\ 1$ の検出視野内に位置決めされる位置（すなわち、プライマリアライメント系のベースライン計測（Pri-BCHK）の前半の処理を行う位置）へ移動させる。ここで、主制御装置 20 は、エンコーダシステム 150 、具体的には、図 7 中に丸で囲んで示されている、 Y スケール $39Y_2$ 、 $39Y_1$ にそれぞれ対向する Y ヘッド 67_3 、 68_2 と X スケール $39X_2$ に対向する X ヘッド 66_1 との計測値に基づいて、ウエハステージ WST を駆動（位置制御）する。そして、主制御装置 20 は、プライマリアライメント系 $AL\ 1$ を用いて基準マーク FM を検出するPri-BCHKの前半の処理を行う。

[0058] 次に、図 8 に示されるように、主制御装置 20 は、ウエハステージ WST を白抜き矢印方向（ $+Y$ 方向）へ移動させる。そして、主制御装置 20 は、図 8 中に星マークを付して示されるように、プライマリアライメント系 $AL\ 1$ 、セカンダリアライメント系 $AL\ 2_2$ 、 $AL\ 2_3$ 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ほぼ同時かつ個別に検出する。そして、3つのアライメント系 $AL\ 1$ 、 $AL\ 2_2$ 、 $AL\ 2_3$ の検出結果を、その検出時のエンコーダシステム 150 の計測結果（すなわちウエハテーブル WTB の X 、 Y 、 θ_z 位置）と関連付けて、内部メモリに記憶する。

[0059] 次に、図 9 に示されるように、主制御装置 20 は、ウエハステージ WST を白抜き矢印方向（ $+Y$ 方向）へ移動させる。そして、主制御装置 20 は、図 9 中に星マークを付して示されるように、5つのアライメント系 $AL\ 1$ 、 $AL\ 2_1 \sim AL\ 2_4$ 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ほぼ同時にかつ個別に検出する。そして、5つのアライメント系 $AL\ 1$ 、 $AL\ 2_1 \sim AL\ 2_4$ の検出結果を、その検出時のエンコーダシステム 150 の計測結果（すなわちウエハテーブル WTB の X 、 Y

、 θz 位置）と関連付けて、内部メモリに記憶する。

[0060] 次に、主制御装置20は、エンコーダシステム150の計測値に基づいて、ウエハステージWSTを+Y方向へ移動させる。そして、図10に示されるように、計測プレート30が投影光学系PLの直下に到達すると、主制御装置20は、Pri-BCHK後半の処理を実行する。ここで、Pri-BCHK後半の処理とは、投影光学系PLによって投影されたレチクルR上の一对の計測マークの投影像（空間像）を、計測プレート30を含む前述した空間像計測装置45A、45Bを用いて、例えば米国特許出願公開第2002/0041377号明細書などに開示される方法と同様の一对の空間像計測用スリット板SLをそれぞれ用いたスリットスキャン方式の空間像計測動作にてそれぞれ計測する。そして、その計測結果（ウエハテーブルWTBのX、Y位置に応じた空間像強度）を内部メモリに記憶する処理を意味する。主制御装置20は、上述のPri-BCHKの前半の処理の結果とPri-BCHKの後半の処理の結果とに基づいて、プライマリアライメント系AL1のベースラインを算出する。

[0061] さらに、主制御装置20は、ウエハステージWSTを+Y方向へ順次ステップ移動させ、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、さらには3つのフォースアライメントショット領域に付設されたアライメントマークを検出し、その検出結果を検出時のエンコーダシステム150の計測結果（すなわちウエハテーブルWTBのX、Y、 θz 位置）と関連付けて、内部メモリに記憶する。

[0062] 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（2次元位置情報）と対応するエンコーダシステム150の計測結果（すなわちウエハテーブルWTBのX、Y、 θz 位置）とを用いて、例えば米国特許第4,780,617号明細書などに開示される統計演算を行って、エンコーダシステム150の計測軸で定められる座標系（ここでは、基準軸LVと基準軸LHとを座標軸とするXY座標系）上におけるウエハW上の全てのショット領域の配列、及びショット領域のスケーリング（ショット倍率）を算出する。さらに、その算出したショット倍率に基づいて、投影

光学系 P L を構成する特定の可動レンズを駆動する、あるいは投影光学系 P L を構成する特定レンズ間に形成された気密室内部の気体の圧力を変更するなどして、投影光学系 P L の光学特性を調整する調整装置（不図示）を制御して投影光学系 P L の光学特性、例えば投影倍率を調整する。

[0063] その後、主制御装置 20 は、事前に行われた前述のウエハアライメント（E G A）の結果及び最新のアライメント系 A L 1, A L 2₁～A L 2₄のベースラインに基づいて、ステップ・アンド・スキャン方式の露光を行い、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。

[0064] なお、セカンダリアライメント系 A L 2₁～A L 2₄のベースライン計測は、適宜なタイミングで、例えば米国特許出願公開第 2008/0088843 号明細書に開示される方法と同様に、前述のエンコーダ 70 E₂, 70 F₂の計測値に基づいて、F D バー 46（ウエハステージ W S T）の θ_z 回転を調整した状態で、アライメント系 A L 1, A L 2₁～A L 2₄を用いて、それぞれの視野内にある F D バー 46 上の基準マーク M を同時に計測することで行われる。

[0065] 本実施形態では、主制御装置 20 は、エンコーダシステム 150（図 6 参照）を用いることにより、ウエハステージ W S T の有効ストローク領域、すなわちアライメント及び露光動作のためにウエハステージ W S T が移動する領域において、X Y 平面内での位置（X, Y, θ_z ）を計測することができる。

[0066] 図 11 には、エンコーダ 70 A～70 F を代表して、エンコーダ 70 C の構成が示されている。以下では、このエンコーダ 70 C（ヘッドユニット 62 C）を取り上げて、エンコーダの構成及び計測原理等について説明する。なお、図 11 では、エンコーダ 70 C を構成するヘッドユニット 62 C の 1 つの Y ヘッド 64 から Y スケール 39 Y₂ に対し計測ビームが照射されている。

[0067] Y ヘッド 64 は、大別すると、照射系 64 a、光学系 64 b、及び受光系

64cの3部分から構成されている。照射系64aは、レーザビーム $L B_0$ を射出する光源、例えば半導体レーザLDと、レーザビーム $L B_0$ の光路上に配置されたレンズL1と、を含む。光学系64bは、偏光ビームスプリッタPBS、一对の反射ミラーR1a, R1b、一对のレンズL2a, L2b、一对の四分の一波長板（以下、 $\lambda/4$ 板と記述する）WP1a, WP1b、及び一对の反射ミラーR2a, R2b等を備えている。受光系64cは、偏光子（検光子）及び光検出器等を含む。

[0068] 半導体レーザLDから射出されたレーザビーム $L B_0$ はレンズL1を介して偏光ビームスプリッタPBSに入射し、2つの計測ビーム $L B_1$, $L B_2$ に偏光分離される。ここで「偏光分離」とは、入射ビームをP偏光成分とS偏光成分に分離することを意味する。偏光ビームスプリッタPBSを透過した計測ビーム $L B_1$ は反射ミラーR1aを介してYスケール39Y₂に形成された反射型回折格子RGに到達し、偏光ビームスプリッタPBSで反射された計測ビーム $L B_2$ は反射ミラーR1bを介して反射型回折格子RGに到達する。

[0069] 計測ビーム $L B_1$, $L B_2$ の照射によって反射型回折格子RGから発生する所定次数の回折ビーム、例えば1次回折ビームは、それぞれ、レンズL2b, L2aを介して $\lambda/4$ 板WP1b, WP1aにより円偏光に変換された後、反射ミラーR2b, R2aにより反射されて再度 $\lambda/4$ 板WP1b, WP1aを通り、往路と同じ光路を逆方向に辿って偏光ビームスプリッタPBSに向かう。

[0070] 偏光ビームスプリッタPBSに向かう2つの回折ビームの偏光方向は、元の偏光方向から90度回転している。このため、先に偏光ビームスプリッタPBSを透過した計測ビーム $L B_1$ に由来する回折ビームは、偏光ビームスプリッタPBSで反射される。一方、先に偏光ビームスプリッタPBSで反射された計測ビーム $L B_2$ に由来する回折ビームは、偏光ビームスプリッタPBSを透過して計測ビーム $L B_1$ に由来する回折ビームと同軸上に集光される。そして、これら2つの回折ビームが、出力ビーム $L B_3$ として受光系64cに送光される。

[0071] 受光系 64 c に送光された出力ビーム $L B_3$ 中の 2 つの回折ビーム（正確には、計測ビーム $L B_1$, $L B_2$ にそれぞれ由来する出力ビーム $L B_3$ の S, P 偏光成分）は、受光系 64 c 内部の検光子（不図示）によって偏光方向が揃えられて干渉光となる。さらに、例えば米国特許出願公開第 2003/0202189 号明細書などに開示されているように、その干渉光は 4 つに分岐される。分岐された 4 つの光は、それぞれの位相が相対的に $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ シフトされた後、光検出器（不図示）によって受光されて、それぞれの光強度（ I_1, I_2, I_3, I_4 とする）に応じた電気信号に変換され、Y エンコーダ 70 C の出力として、主制御装置 20 に送られる。

[0072] 主制御装置 20 は、Y エンコーダ 70 C の出力から、Y ヘッド 64 と Y スケール 39 Y₁ 間の相対変位 ΔY を求める。ここで、本実施形態における相対変位 ΔY の算出方法について、その算出原理を含め、詳述する。簡単のため、計測ビーム $L B_1, L B_2$ の強度は互いに等しい状況を考える。この状況において、出力 $I_1 \sim I_4$ は、次のように表される。

$$[0073] \quad I_1 = A (1 + \cos(\phi)) \propto I \quad \cdots (1a)$$

$$I_2 = A (1 + \cos(\phi + \pi/2)) \quad \cdots (1b)$$

$$I_3 = A (1 + \cos(\phi + \pi)) \quad \cdots (1c)$$

$$I_4 = A (1 + \cos(\phi + 3\pi/2)) \quad \cdots (1d)$$

ここで、 ϕ は、計測ビーム $L B_1, L B_2$ （それらに由来する出力ビーム $L B_3$ の S, P 偏光成分）の間の位相差である。

[0074] 主制御装置 20 は、出力 $I_1 \sim I_4$ から、次式 (2a)、(2b) で表される差 I_{13}, I_{42} を求める。

$$[0075] \quad I_{13} = I_1 - I_3 = 2A \cos(\phi) \quad \cdots (2a)$$

$$I_{42} = I_4 - I_2 = 2A \sin(\phi) \quad \cdots (2b)$$

なお、差 I_{13}, I_{42} は、光学回路（又は電気回路）を光検出器内に導入し、その光学回路（又は電気回路）を用いて光学的（又は電氣的）に求めても良い。

[0076] ここで、Y エンコーダ 70 C（Y ヘッド 64）の出力 $I_1 \sim I_4$ の修正の原

理を説明するため、図 1 2 (A) に示されるように、直交座標系上にプロットされた点 $p (I_{13}, I_{42})$ の動きを考える。なお、図 1 2 (A) 及び図 1 2 (B) では、点 $p (I_{13}, I_{42})$ がベクトル p を用いて表され、点 $p (I_{13}, I_{42})$ の位相が ϕ と表記されている。ベクトル p の長さ、すなわち点 $p (I_{13}, I_{42})$ の原点 O からの距離は $2A$ である。

[0077] 理想状態では、干渉光 LB_3 の強度 I は常に一定である。従って、出力 I_1, I_2, I_3, I_4 の振幅 A も常に一定である。このため、図 1 2 (A) において、点 $p (I_{13}, I_{42})$ は、干渉光 LB_3 の強度 I の変化（すなわち出力 $I_1 \sim I_4$ の変化）とともに、原点からの距離（半径）が $2A$ の円周上を移動する。

[0078] また、理想状態では、干渉光 LB_3 の強度 I は、 Y スケール $39Y_1$ （すなわちウエハステージ WST ）が計測方向（回折格子の周期方向、すなわち Y 軸方向）に変位することにより、正弦的に変化する。同様に、4 つの分岐光の強度 I_1, I_2, I_3, I_4 は、それぞれ式 (1 a), (1 b), (1 c), (1 d) で表されるように、正弦的に変化する。この理想状態では、位相差 ϕ は、図 1 2 (A) における点 $p (I_{13}, I_{42})$ の位相 ϕ と等価である。位相差 ϕ （以下では、特に区別する必要が無い限り、位相と呼ぶ）は、相対変位 ΔY に対し、次のように変化する。

$$[0079] \quad \phi(\Delta Y) = 2\pi \Delta Y / (p / 4n) + \phi_0 \quad \cdots (3)$$

ここで、 p は Y スケール $39Y_1$ が有する回折格子のピッチ、 n は回折次数（例えば $n = 1$ ）、 ϕ_0 は境界条件（例えば変位 ΔY の基準位置の定義など）より定まる定位相である。

[0080] 式 (3) より、位相 ϕ は、計測ビーム LB_1, LB_2 の波長に依存しないことがわかる。また、位相 ϕ は、変位 ΔY が計測単位 $p / 4n$ 増加（減少）する毎に 2π 増加（減少）することがわかる。従って、干渉光 LB_3 の強度 I 及び出力 I_1, I_2, I_3, I_4 は、変位 ΔY が計測単位増加又は減少する毎に、振動することがわかる。

[0081] 式 (3) によって表わされる位相 ϕ と変位 ΔY との関係及び式 (1 a) ~

(1 d) によって表される出力 $I_1 \sim I_4$ と位相 ϕ との関係 (すなわち差 I_{13} , I_{42} と変位 ΔY との関係) より、変位 ΔY の増加に応じて、点 p (I_{13} , I_{42}) は、半径 $2A$ の円周上を、例えば図 12 (B) に示されるように点 a から点 b へと、左回りに回転する。逆に、変位 ΔY の減少に応じて、点 p (I_{13} , I_{42}) は、上記円周上を右回りに回転する。そして、点 p (I_{13} , I_{42}) は、変位 ΔY が計測単位増加 (減少) する毎に、円周上を一周する。

[0082] そこで、主制御装置 20 は、予め定められた基準位相 (例えば定位相 ϕ_0) を基準にして、点 p (I_{13} , I_{42}) の周回数を数える。この周回数は、干渉光 L_{B3} の強度 I の振動回数に等しい。この計数值 (カウント値) を $c_{\Delta Y}$ と表記する。さらに、主制御装置 20 は、点 p (I_{13} , I_{42}) の基準位相に対する位相の変位 $\phi' = \phi - \phi_0$ を求める。これらのカウント値 $c_{\Delta Y}$ と位相変位 ϕ' から、変位 ΔY の計測値 $C_{\Delta Y}$ が、次のように求められる。

$$[0083] \quad C_{\Delta Y} = (p / 4n) \times (c_{\Delta Y} + \phi' / 2\pi) \quad \cdots (4)$$

ここで、定位相 ϕ_0 を位相オフセット (ただし、 $0 \leq \phi_0 < 2\pi$ と定義する) とし、変位 ΔY の基準位置での位相 ϕ ($\Delta Y = 0$) を保持することとする。

[0084] 以上の説明より明らかなように、Y エンコーダ 70C は、計測単位 $\lambda = p / 4n$ に等しい計測周期を有する。

[0085] なお、例えば迷光との干渉が生じる等により、位相 ϕ と変位 ΔY との比例関係が崩れることがある。この場合、見かけ上、上述のような理想的な出力 $I_1 \sim I_4$ であっても、変位 ΔY の計測値 $C_{\Delta Y}$ に対して、計測周期に等しい周期の誤差が発生し得る。また、出力 $I_1 \sim I_4$ が理想的な出力からずれると、位相 ϕ の算出誤差が発生するため、計測周期に等しい周期の誤差が発生し得る。これらのような計測周期に等しい周期の誤差を、周期誤差と総称する。

[0086] ヘッドユニット 62C 内のその他のヘッド、ヘッドユニット 62A, 62B, 62D, 62E, 62F がそれぞれ備えるヘッド 65, 66, 67, 68 も、Y ヘッド 64 (エンコーダ 70C) と同様に構成されている。

[0087] また、本実施形態では、前述のようなエンコーダヘッドの配置を採用した

ことにより、常時、Xスケール39 X₁又は39 X₂に少なくとも1つのXヘッド66が、Yスケール39 Y₁に少なくとも1つのYヘッド65（又は68）が、Yスケール39 Y₂に少なくとも1つのYヘッド64（又は67）が、それぞれ対向する。スケールに対向しているエンコーダヘッドからは、上述の分岐光の強度 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 の測定結果が、主制御装置20に供給される。主制御装置20は、供給された測定結果 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 から、それぞれのヘッドの計測方向についてのウエハステージWSTの変位（より正確には計測ビームが投射されるスケールの変位）を求める。求められた結果は、上述のエンコーダ70A、70C及び70B又は70D（又はエンコーダ70E₁、70F₁及び70B又は70D）の計測値として扱われる。

[0088] 主制御装置20は、リニアエンコーダ70A～70Dのうちの少なくとも3つの計測結果に基づいて、ウエハステージWSTのXY平面内での位置（X，Y， θ_z ）を算出する。ここで、Xヘッド66，Yヘッド65，64の計測値（それぞれ C_x ， C_{y1} ， C_{y2} と表記する）は、ウエハステージWSTのXY平面内での位置（X，Y， θ_z ）に対して、次式（5a）～（5c）のよう

$$[0089] \quad C_x = (p_x - X) \cos \theta_z + (q_x - Y) \sin \theta_z \quad \cdots (5a)$$

$$C_{y1} = -(p_{y1} - X) \sin \theta_z + (q_{y1} - Y) \cos \theta_z \quad \cdots (5b)$$

$$C_{y2} = -(p_{y2} - X) \sin \theta_z + (q_{y2} - Y) \cos \theta_z \quad \cdots (5c)$$

ただし、 (p_x, q_x) ， (p_{y1}, q_{y1}) ， (p_{y2}, q_{y2}) は、それぞれXヘッド66，Yヘッド65，Yヘッド64のX，Y設置位置（より正確には計測ビームの投射点のX，Y位置）である。そこで、主制御装置20は、3つのヘッドの計測値 C_x ， C_{y1} ， C_{y2} を式（5a）～（5c）に代入し、代入後に連立方程式（5a）～（5c）を解くことによって、ウエハステージWSTのXY平面内での位置（X，Y， θ_z ）を算出する。この算出結果に基づいて、ウエハステージWSTを駆動（位置制御）する。

[0090] また、主制御装置20は、リニアエンコーダ70E₂，70F₂の計測値に基づいて、FDバー46（計測ステージMST）の θ_z 方向の回転を制御する

。ここで、リニアエンコーダ $70E_2$, $70F_2$ の計測値（それぞれ C_{Y1} , C_{Y2} と表記する）は、FDバー46のXY平面内での位置（X, Y, θz ）に対し、式（5b）（5c）のように依存する。従って、FDバー46の θz 位置は、計測値 C_{Y1} , C_{Y2} より、次式（6）のように求められる。

$$[0091] \quad \sin \theta z = - (C_{Y1} - C_{Y2}) / (p_{Y1} - p_{Y2}) \quad \cdots (6)$$

ただし、簡単のため、 $q_{Y1} = q_{Y2}$ を仮定した。

[0092] 本実施形態の露光装置100において行われるアライメント計測では、前述の通り、ウエハステージWSTの位置をエンコーダシステム150（あるいは干渉計システム118）を用いて計測し、この計測結果に基づいてウエハステージWSTを駆動し、検出対象のアライメントマークをアライメント系AL1, AL2₁~AL2₄の検出視野内に位置決めして検出する。この検出結果とその検出時のエンコーダシステム150の計測結果（すなわちウエハステージWSTのXY θz 位置の計測結果）とを用いて統計演算することにより、ウエハW上のショット領域の配列等が算出される。ここで、エンコーダシステム150（及び干渉計システム118）では、計測周期（計測単位λ）に等しい周期で誤差（周期誤差）が生じることがある。計測周期は、エンコーダシステム150について一例として250nm（干渉計システム118について一例として約160nm）である。これに対し、アライメントマークは、設計上、どのウエハにおいても同じ位置に形成されるが、ウエハを載置する度にウエハステージWST上での載置位置が例えば数μm~数10μmの精度で変わるため、ウエハステージWSTの位置計測座標上でのアライメントマークの位置も計測する度に異なり得る。そのため、エンコーダシステム150の周期誤差により、アライメントマークの検出再現性が悪化し、これによりアライメント計測の計測精度の低下、ひいてはウエハの位置合わせ誤差が発生する。

[0093] ここで、上述のエンコーダシステム150（あるいは干渉計システム118）の周期誤差の影響を回避するためのアライメントマークの検出方法について説明する。

- [0094] 図13(A)に示されるように、主制御装置20は、エンコーダシステム150の計測結果に基づいてウエハステージWSTを駆動し、検出対象のアライメントマークAMをアライメント系（ここでは例としてプライマリアライメント系AL1とする）の検出視野AL1'内に位置決めする。
- [0095] 位置決め後、主制御装置20は、ウエハステージWSTをエンコーダシステム150の計測方向、例えばX軸方向（又はY軸方向）に駆動する。これにより、図13(C)中に実線を用いて示されるように、駆動開始時 t_0 から t_1 にかけてウエハステージWSTの速度 V_x (V_y)が増し、時刻 t_1 にて所定の速度 V_0 に達する。この後、主制御装置20は、ウエハステージWSTの速度 V_x (V_y)を V_0 に保つ、すなわち、ウエハステージWSTを等速駆動する。
- [0096] ウエハステージWSTの等速駆動中、主制御装置20は、所定の撮像時間 T_m の間、プライマリアライメント系AL1を用いてアライメントマークAMを撮像する。撮像中、所定の時間間隔 ΔT で発生する計測クロック c_k 毎に、エンコーダシステム150の計測結果(X_k 、 Y_k 、 θ_{z_k})を収集する。図13(C)の例では、計測クロック c_k ($k=1\sim K$)の発生時にて、計測結果(X_k 、 Y_k 、 θ_{z_k})を収集している。
- [0097] 撮像時間 T_m が経過し、ウエハステージWSTが計測周期（計測単位 λ ）の整数 n 倍の距離 $L_m (=n\lambda)$ 移動した時に、主制御装置20はアライメントマークAMの撮像を終了する。これにより、図13(B)に示されるように、移動距離 L_m の分ぶれたアライメントマークAMが撮像される。なお、図13(B)では、ウエハWの図示は省略されている。
- [0098] 主制御装置20は、上の撮像結果を用いて、プライマリアライメント系AL1の検出中心 O_A を基準とするアライメントマークAMの位置（検出位置） d_x 、 d_y を求める。また、主制御装置20は、撮像中に収集した K 個の計測結果 X_k 、 Y_k の平均 $X_0 = \sum_k X_k / K$ 、 $Y_0 = \sum_k Y_k / K$ を、アライメントマークAMの検出時におけるウエハステージWSTの位置計測結果とする。求められた d_x 、 d_y 、 X_0 、 Y_0 が、アライメントマークAMの検出結果と

なる。

[0099] 主制御装置20は、セカンダリアライメント系AL2₁～AL2₄を用いる場合においても、同様にアライメントマークを検出する。

[0100] 以上の手順により、アライメントマークAMの検出時におけるウエハステージWSTの位置計測結果X₀(Y₀)において、ウエハステージWSTの等速駆動の方向、すなわちX軸方向(Y軸方向)についてのエンコーダシステム150の周期誤差が、平均化効果により軽減される。

[0101] なお、上の説明では、アライメントマークAMの撮像中、ウエハステージWSTをX軸方向(又はY軸方向)に駆動することとしたが、X軸及びY軸方向の両方向についてエンコーダシステム150の周期誤差が発生する場合には、X軸及びY軸方向のそれぞれについて計測周期(λ_x 、 λ_y)の整数倍(n_x 、 n_y)の距離($n_x\lambda_x$ 、 $n_y\lambda_y$)、ウエハステージWSTを駆動する。例えば、X軸及びY軸方向のそれぞれについての計測周期が等しい場合($\lambda_x=\lambda_y$)、 $n_x=n_y$ と選んで、図13(A)に示されるように、ウエハステージWSTをX軸方向及びY軸方向のそれぞれに対して45度をなす方向(黒塗り矢印の方向)に駆動する。

[0102] また、アライメント計測(アライメントマークの検出)がX軸方向又はY軸方向のみについての一次元計測である場合においても、アライメントマークAMの撮像中、X軸及びY軸方向のそれぞれについて計測周期の整数倍の距離、ウエハステージWSTを駆動する。本実施形態の露光装置100では、前述の通り、リニアエンコーダ70A～70Dのうちの3つの計測結果を用いてウエハステージWSTのXY平面内での位置(X, Y, θ_z)を算出しているため、例えば、X軸方向を計測方向とするリニアエンコーダ70Bの周期誤差がウエハステージWSTのY位置の計測結果にも影響するからである。

[0103] また、アライメントマークの撮像中におけるウエハステージWSTの駆動距離(個々の計測方向についての駆動距離)L_mは、アライメント系AL1, AL2₁～AL2₄の検出分解能と同程度以下とする。さもないければ、アラ

イメントマークAMの像ぶれが、この検出結果に対して無視できない程度の誤差を与えることになるからである。本実施形態の露光装置100において使用されているアライメント系AL1, AL2₁~AL2₄では、それぞれが備える撮像素子(CCD)の分解能、すなわち1画素のサイズは約200nmであり、エンコーダシステム150及び干渉計システム118の計測周期 λ と同程度若しくは同程度以下である。従って、移動距離 $L_m (= n\lambda)$ において $n = 1$ と選べば、検出結果に対する像ぶれの影響は十分無視できる。

[0104] また、平均化効果によりアライメント計測におけるエンコーダシステム150の周期誤差の影響を軽減するために、撮像時間 T_m に対して計測クロック c_k の発生間隔を短くして、多くの計測結果(X_k, Y_k, θ_{z_k})を収集し、それらの計測結果を平均すると良い。ここで、本実施形態の露光装置100では、例えば、 $T_m = 1/60 \text{ sec}$ 、計測クロック c_k の発生周期10kHzであるため、約160の計測結果を収集することになる。従って、平均化効果による周期誤差の影響の軽減が十分に期待できる。

[0105] また、ウエハステージWSTの駆動速度 V_0 は、駆動距離 $n\lambda$ と撮像時間 T_m から $V_0 = n\lambda / T_m$ と定められる。ここで、ウエハステージWSTの等速駆動が乱れると、撮像されるアライメントマークの像に非対称な歪みが生じ、また検出時におけるウエハステージWSTの位置計測結果 X_0, Y_0 が変化する。これらはアライメント計測の誤差をもたらす。そこで、アライメントマークの撮像中、ウエハステージWSTの位置計測結果を収集し、それらの計測周期 λ 内での分布を監視する、あるいは速度 V_x, V_y を算出し、それらのばらつきを監視する。位置計測結果の分布に偏りが見られる場合、速度のばらつきが大きい場合等、等速駆動が乱れたと判断された場合には、例えば、アライメント計測を再度実行することとする。

[0106] また、アライメントマークの撮像タイミングとエンコーダシステム150の計測結果の収集タイミングとを同期させる。例えば、図13(C)に示されるように、計測クロック c_1 の発生と同時にアライメントマークの撮像を開始し、計測クロック c_k の発生と同時にアライメントマークの撮像を終了する

。この同期が取れていない場合、計測クロック c_k の発生間隔 ΔT の間にウエハステージ WST が移動する距離と同程度のアライメント計測の誤差が発生する。移動距離は、例えば $T_m = 1 / 60 \text{ sec}$ 、等速駆動距離 $L_m = 250 \text{ nm}$ 、及び計測クロック c_k の発生周期 $1 / \Delta T = 10 \text{ kHz}$ に対して 1.5 nm である。この距離は、本実施形態の露光装置 100 において要求される重ね精度に対して無視できない。そこで、例えば要求される重ね精度 0.15 nm に対し、少なくとも $10 \mu \text{ sec}$ の精度で同期をとることとする。また、後述するウエハステージ WST の駆動方向の反転（交互スキャン）と関連して、アライメントマークの撮像の開始だけでなく終了についても、計測クロック c_k の発生と同期をとることとする。これにより、駆動方向に関わらず同期をとることができる。

[0107] なお、アライメント系において、アライメントマークの検出信号の信号強度は安定していることが望ましい。例えば、アライメントマークを照明する照明光のちらつきなどによって検出信号の強度が時間変化している場合、その検出信号が強い時間帯を重点的に計測したことになり、一様な平均値として求められたステージ位置の計測と差が生じるおそれがあるためである。例えば、照明光が、単一周波数の照明ちらつきを含む場合を考えると、検出信号の振幅が 0.1% 程度であれば、アライメントの計測誤差を 0.1 nm 程度に抑えることが可能である。また、検出信号の振動周期が、撮影時間に対して十分短ければ、その振動の影響は小さくなる。例えば、毎秒 60 フレームの撮影をおこなう場合、検出信号の強度変動が 1% あっても、変動周波数が 600 Hz （フレームレートの 10 倍）であれば、アライメントの計測誤差を 0.1 nm 程度に抑えられる。

[0108] また、前述の通り、本実施形態の露光装置 100 におけるアライメント計測では、ウエハステージ WST を $+Y$ 方向に移動させつつ、アライメント系 $AL1$ 、 $AL2_1 \sim AL2_4$ を用いて X 軸方向に並ぶ最大 5 個のアライメントマークを同時に検出する。そこで、検出の都度、 X 軸方向についてウエハステージ WST の駆動方向を反転させると良い。例えば、図 8 に示されるように

、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際には、ウエハステージWSTをX軸及びY軸方向に対して45度をなす方向（黒塗り矢印の方向）に等速駆動する。また、図9に示されるように、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際には、ウエハステージWSTをX軸方向に対して135度及びY軸方向に対して45度をなす方向（黒塗り矢印の方向）に等速駆動する。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検出する際には、ウエハステージWSTをX軸及びY軸方向に対して45度をなす方向（黒塗り矢印の方向）に、フォースアライメントショット領域に付設されたアライメントマークを検出する際には、ウエハステージWSTをX軸方向に対して135度及びY軸方向に対して45度をなす方向（黒塗り矢印の方向）に等速駆動する。これにより、ウエハステージWSTを等速駆動の開始位置に戻すことなく連続してアライメントマークを検出することが可能となり、アライメント計測に要する時間を短縮することができる。

[0109] また、ウエハ表面の凹凸、或いはアライメント系AL1, AL2₁~AL2₄間のフォーカス誤差（又は焦点合わせの精度）等により、アライメント系AL1, AL2₁~AL2₄を用いてX軸方向に並ぶ5個のアライメントマークを何回かに分けて検出する場合、交互スキャン方式によるアライメントマークの検出方法を採用すると良い。例えば、図14に示されるように、1回目の検出では、アライメント系AL1, AL2₁, AL2₄を用いて対応する3つのアライメントマークを検出する。ここでは、ウエハステージWSTを、X軸方向及びY軸方向のそれぞれに対して45度をなす方向（黒塗り矢印の方向）に駆動する。2回目の検出では、図15に示されるように、アライメント系AL2₂, AL2₃を用いて対応する2つのアライメントマークを検出する。ここでは、ウエハステージWSTを、駆動方向を反転させて、黒塗り矢印の方向に駆動する。すなわち、アライメントマークを検出する都度、ウエハステージWSTの駆動方向を反転させる。これにより、検出の都度、ウエハステージWSTを等速駆動の開始位置に戻すことなく連続してアライメントマ

ークを検出することが可能となり、アライメント計測に要する時間を短縮することができる。

[0110] また、先の説明では、図13(C)中に実線を用いて速度 V_x (V_y) が示されるように、検出対象のアライメントマークを検出する際に、そのアライメントマークをアライメント系の検出視野内に位置決めしてからウェハステージWSTを等速駆動することとしたが、破線を用いて示すように、必ずしも位置決めする必要はない。

[0111] 以上詳細に説明したように、本実施形態の露光装置100では、エンコーダシステム150の計測結果に基づいてウェハステージWSTを駆動しつつ、アライメント系AL1, AL2₁~AL2₄を用いてウェハW上に設けられたアライメントマークを撮像し、この撮像結果から求められるアライメントマークの撮像位置と、エンコーダシステム150の計測結果から求められる撮像時におけるウェハステージWSTの位置と、を用いてアライメントマークの位置が求められる。ここで、アライメントマークの撮像中、ウェハステージWSTをエンコーダシステム150の計測周期の整数倍の移動距離、等速駆動するとともに、エンコーダシステム150の位置計測結果の平均から撮像時におけるウェハステージWSTの位置を求める。これにより、エンコーダシステム150の周期誤差の影響を受けることなく、精度良くアライメント計測を行うことが可能となる。

[0112] また、上述のように高精度なマーク検出（アライメント計測）を行うことができるので、このマークの検出結果に基づいてウェハステージWSTを駆動してウェハWを位置合わせすることにより、高精度な露光が可能となる。

[0113] また、本実施形態のアライメントマークの検出方法に類似する方法として、ウェハステージWSTの位置、すなわち、アライメントマークの位置決め位置を複数変更してアライメントマークを検出し、これらの結果の平均をもって検出結果とするステップ検出方法がある。しかし、周期誤差の影響を軽減するには検出回数を増やす必要があり、これにより検出時間が長くなる欠点がある。これに対し、本実施形態の検出方法は、ウェハステージWSTの

加減速に時間を要することを除いて1回の検出を行うのみであるため、検出時間が短くなるという顕著な効果がある。

[0114] なお、本実施形態のアライメント計測では、一例としてエンコーダシステム150によって計測される撮像時におけるウエハステージWSTの位置の計測結果を用いてアライメントマークの位置を求めるものとしたが、これに限らず干渉計システム118は勿論、その他の周期誤差が発生し得る計測系を用いて撮像時におけるウエハステージWSTの位置を計測し、その計測結果を用いてアライメントマークの位置を求める場合においても、同様の検出方法を適用することができる。また、ウエハステージWSTの駆動（位置制御）のために用いられる位置計測系と、アライメント計測のために用いられるウエハステージWSTの位置計測系として、異なる計測系を用いる場合についても、同様の検出方法を適用することができる。

[0115] また、本実施形態のマーク検出法では、ウエハ上に設けられたアライメントマークを検出する場合について適用したが、これに限らず基準マークFM等、ウエハステージWST上に設けられたマークを検出する場合についても適用できる。

[0116] また、上記実施形態で説明したエンコーダシステムなどの各計測装置の構成は一例に過ぎないことは勿論である。例えば、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（Yスケール、X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、例えば米国特許出願公開第2006/0227309号明細書などに開示されているように、ウエハステージにエンコーダヘッドを設け、これに対向してウエハステージの外部に格子部（例えば2次元格子又は2次元に配置された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。エンコーダヘッドとして、一次元ヘッドに限らず、X軸方向及びY軸方向を計測方向とする2次元ヘッドは勿論、X軸方向及びY軸方向の一方とZ軸方向を計測方向とするセンサヘッドを用いても良い。後者のセンサヘッド

としては、例えば米国特許第 7, 561, 280 号明細書に開示されている変位計測センサヘッドを用いることができる。

[0117] また、上述の実施形態では、露光装置が、液体（水）を介さずにウエハ W の露光を行うドライタイプである場合について説明したが、これに限らず、例えば欧州特許出願公開第 1 4 2 0 2 9 8 号明細書、国際公開第 2 0 0 4 / 0 5 5 8 0 3 号、米国特許第 6, 9 5 2, 2 5 3 号明細書などに開示されているように、投影光学系とウエハとの間に照明光の光路を含む液浸空間を形成し、投影光学系及び液浸空間の液体を介して照明光でウエハを露光する露光装置にも上記実施形態を適用することができる。また、例えば米国特許出願公開第 2 0 0 8 / 0 0 8 8 8 4 3 号明細書に開示される、液浸露光装置などにも、上記実施形態を適用することができる。

[0118] また、上記実施形態では、露光装置が、ステップ・アンド・スキャン方式等の走査型露光装置である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上記実施形態を適用しても良い。また、ショット領域とショット領域とを合成するステップ・アンド・スティッチ方式の縮小投影露光装置、プロキシミティー方式の露光装置、又はミラープロジェクション・アライナーなどにも上記実施形態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を備えたマルチステージ型の露光装置にも上記実施形態を適用できる。また、例えば米国特許第 7, 589, 822 号明細書などに開示されているように、ウエハステージとは別に、計測部材（例えば、基準マーク、及び／又はセンサなど）を含む計測ステージを備える露光装置にも上記実施形態は適用が可能である。

[0119] 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及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。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。

[0120] なお、上記実施形態の露光装置の光源は、ArFエキシマレーザに限らず、KrFエキシマレーザ（出力波長248nm）、F₂レーザ（出力波長157nm）、Ar₂レーザ（出力波長126nm）、Kr₂レーザ（出力波長146nm）などのパルスレーザ光源、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。

[0121] 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言うまでもない。例えば、近年、70nm以下のパターンを露光するために、SORや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、この露光波長（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、かかる装置にも上記実施形態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、上記実施形態は適用できる。

[0122] 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。

[0123] また、例えば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）にも上記実施形態を適用することができる。

[0124] 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上記実施形態を適用することができる。

[0125] 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。

[0126] 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上記実施形態を適用できる。

[0127] 半導体素子などの電子デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、この設計ステップに基づいたレチクルを製作するステップ、シリコン材料からウエハを製作するステップ、前述した実施形態の露光装置（パターン形成装置）によりマスク（レチクル）の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）、検査ステップ等を経て製造される。この場合、リソグラフィステップで、上記実施形態の露光装置を用いて前述の露光方法が実行され、ウエハ上にデバイスパターンが形成されるので、高集積度のデバイスを生産性良く製造することができる。

[0128] なお、これまでの説明で引用した露光装置などに関する全ての公報、国際公開、米国特許出願公開明細書及び米国特許明細書の開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

産業上の利用可能性

[0129] 本発明のマーク検出方法は、移動体上に存在するマークを検出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は、物体上にパターンを転写するのに適している。また、本発明のデバイス製造方法は、半導体素子又は液晶表示素子などの電子デバイスを製造するのに適している。

請求の範囲

- [請求項1] 移動体上に存在するマークを検出するマーク検出方法であって、
前記移動体の位置情報を原理上計測周期を有する位置計測系により計測しながら前記移動体を所定方向に駆動し、前記移動体の駆動中に前記マークを、前記移動体の外部に設けられたマーク検出系により撮像することと；
前記マークの撮像結果から求められる前記マークの撮像位置と、前記位置計測系の計測結果から求められる前記マークの撮像時における前記移動体の位置と、を用いて、前記マークの位置を求めることと；
を含むマーク検出方法。
- [請求項2] 前記撮像することでは、前記マークの撮像中に、前記移動体を前記位置計測系の計測方向に関して前記計測周期の整数倍の移動距離駆動する請求項1に記載のマーク検出方法。
- [請求項3] 前記移動距離は、前記マーク検出系の分解能と同程度以下である請求項2に記載のマーク検出方法。
- [請求項4] 前記撮像することでは、前記移動体を前記計測方向に前記移動距離駆動する請求項2又は3に記載のマーク検出方法。
- [請求項5] 前記撮像することでは、前記移動体を前記位置計測系の複数の計測方向のそれぞれについて前記移動距離駆動する請求項2又は3に記載のマーク検出方法。
- [請求項6] 前記撮像することでは、前記マークの撮像中に、前記移動体を等速度で駆動する請求項2～5のいずれか一項に記載のマーク検出方法。
- [請求項7] 前記移動体の速度は、前記マークの撮像時間と前記移動距離とから定められる請求項6に記載のマーク検出方法。
- [請求項8] 前記撮像することでは、前記マークの撮像中に前記移動体の速度を計測し、前記移動体の等速駆動が乱れた場合には前記撮像することを再度実行する請求項6又は7に記載のマーク検出方法。
- [請求項9] 前記撮像することでは、前記マークの撮像中に前記位置計測系の計

測結果を複数収集し、

前記マークの位置を求めることでは、前記複数の計測結果の平均を前記マークの撮像時における前記移動体の位置とする請求項 1 ～ 8 のいずれか一項に記載のマーク検出方法。

[請求項10] 前記撮像することでは、前記マークの撮像のタイミングと前記位置計測系の計測結果の収集のタイミングとを同期させる請求項 9 に記載のマーク検出方法。

[請求項11] 前記撮像することでは、前記移動体上に存在する複数のマークを撮像する度に駆動方向を変える請求項 1 ～ 10 のいずれか一項に記載のマーク検出方法。

[請求項12] 前記位置計測系は、前記物体を保持して移動する移動体及び該移動体の外部の一方に設けられた計測面に光ビームを照射し、前記計測面からの戻りビームを受光する少なくとも一部が前記移動体及び該移動体の外部の他方に配置された計測系である請求項 1 ～ 11 のいずれか一項に記載のマーク検出方法。

[請求項13] エネルギービームを照射して物体上にパターンを形成する露光方法であって、

請求項 1 ～ 12 のいずれか一項に記載のマーク検出方法により前記物体を保持する前記移動体上のマーク及び前記物体上のマークの少なくとも一方を検出することと；

前記マークの検出結果に基づいて前記物体を保持する移動体を駆動して前記物体を位置合わせし、該物体に前記エネルギービームを照射して前記物体上に前記パターンを形成することと；
を含む露光方法。

[請求項14] 請求項 13 に記載の露光方法により物体を露光することと；
露光された前記物体を現像することと；
を含むデバイス製造方法。

[請求項15] エネルギービームを照射して物体上にパターンを形成する露光装置で

あって、

前記物体を保持して移動する移動体と；

原理上計測周期を有し、前記移動体の位置情報を計測する位置計測系と；

前記移動体の外部に設けられ、前記物体上のマークを撮像するマーク検出系と；

前記移動体の位置情報を前記位置計測系により計測しながら前記移動体を所定方向に駆動し、前記移動体の駆動中に前記マーク検出系を用いて前記移動体上に保持された前記物体上のマークを撮像し、前記マークの撮像結果から求められる前記マークの撮像位置と、前記位置計測系の計測結果から求められる前記マークの撮像時における前記移動体の位置と、を用いて前記マークの位置を求める制御装置と；を備える露光装置。

[請求項16] 前記制御装置は、前記マークの撮像中に、前記移動体を前記位置計測系の計測方向に関して前記計測周期の整数倍の移動距離駆動する請求項15に記載の露光装置。

[請求項17] 前記移動距離は、前記マーク検出系の分解能と同程度以下である請求項16に記載の露光装置。

[請求項18] 前記制御装置は、前記撮像に際し、前記移動体を前記位置計測系の計測方向に前記移動距離駆動する請求項16又は17に記載の露光装置。

[請求項19] 前記制御装置は、前記撮像に際し、前記移動体を前記位置計測系の複数の計測方向のそれぞれについて前記移動距離駆動する請求項16又は17に記載の露光装置。

[請求項20] 前記制御装置は、前記撮像に際し、前記マークの撮像中に、前記移動体を等速度で駆動する請求項16～19のいずれか一項に記載の露光装置。

[請求項21] 前記移動体の速度は、前記マークの撮像時間と前記移動距離とから

定められる請求項 20 に記載の露光装置。

[請求項22] 前記制御装置は、前記マークの撮像中に前記移動体の速度を計測し、前記移動体の等速駆動が乱れた場合には前記撮像を再度実行する請求項 20 又は 21 に記載の露光装置。

[請求項23] 前記制御装置は、前記マークの撮像中に前記位置計測系の計測結果を複数収集し、前記複数の計測結果の平均を前記マークの撮像時における前記移動体の位置とする請求項 15 ～ 22 のいずれか一項に記載の露光装置。

[請求項24] 前記制御装置は、前記撮像に際し、前記マークの撮像のタイミングと前記位置計測系の計測結果の収集のタイミングとを同期させる請求項 23 に記載の露光装置。

[請求項25] 前記制御装置は、前記移動体上に存在する複数のマークを撮像する度に駆動方向を変える請求項 15 ～ 24 のいずれか一項に記載の露光装置。

[請求項26] 前記位置計測系は、前記移動体及び該移動体の外部の一方に設けられた計測面に光ビームを照射し、前記計測面からの戻りビームを受光して前記移動体の位置情報を計測する、少なくとも一部が前記移動体及び該移動体の外部の他方に配置された計測系である請求項 15 ～ 25 のいずれか一項に記載の露光装置。

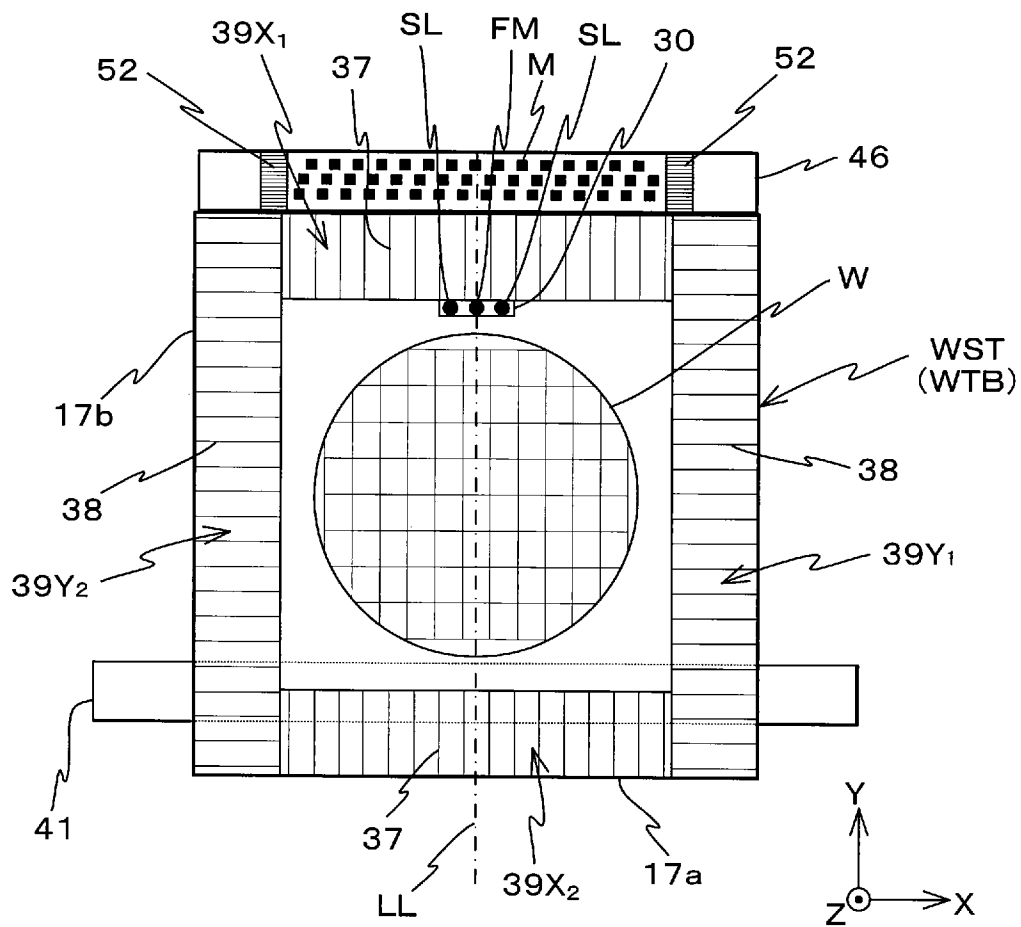
[請求項27] 前記計測面上には回折格子が形成され、
前記位置計測系は、前記回折格子の周期方向についての前記移動体の位置を計測するエンコーダヘッドから構成されるエンコーダシステムを含む請求項 26 に記載の露光装置。

[請求項28] 前記位置計測系は、前記計測ビームの光路長を計測する干渉計から構成される干渉計システムを含む請求項 15 ～ 27 のいずれか一項に記載の露光装置。

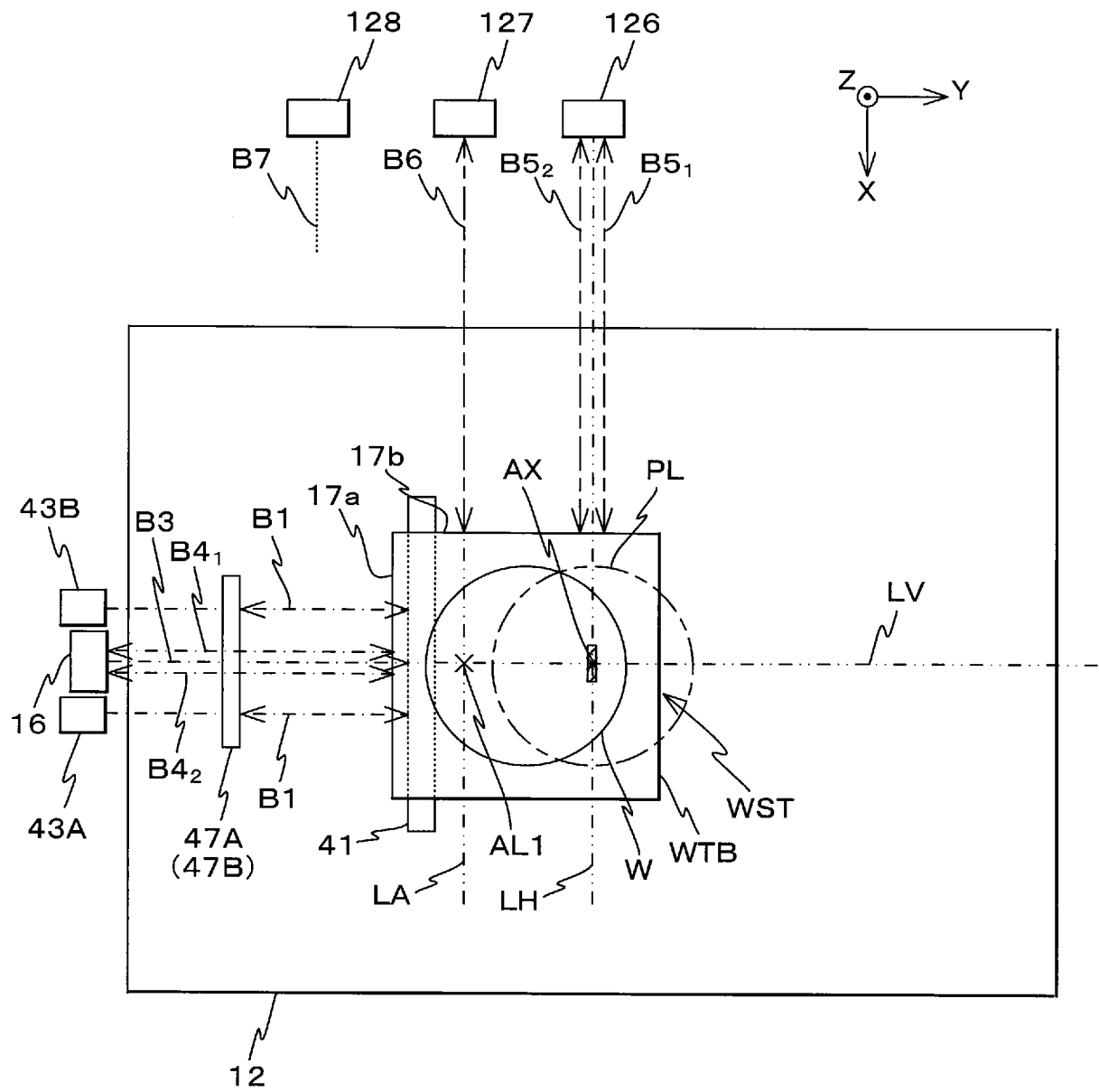
[請求項29] 前記制御装置は、前記マークの検出結果に基づいて前記物体を保持する移動体を駆動して前記物体を位置合わせし、該物体に前記エネル

ギビームを照射して前記物体上に前記パターンを形成する請求項 15
～ 28 のいずれか一項に記載の露光装置。

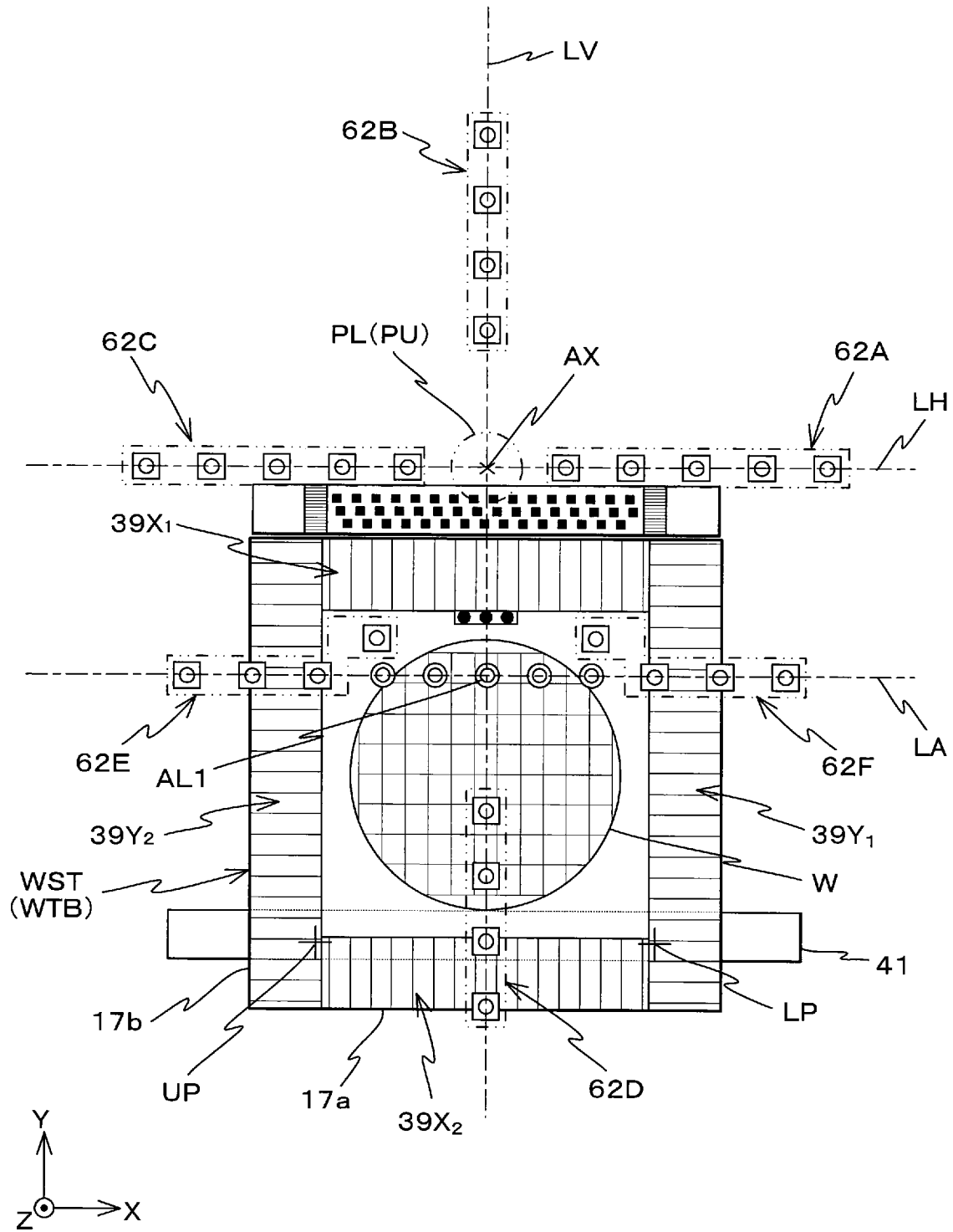
[図2]



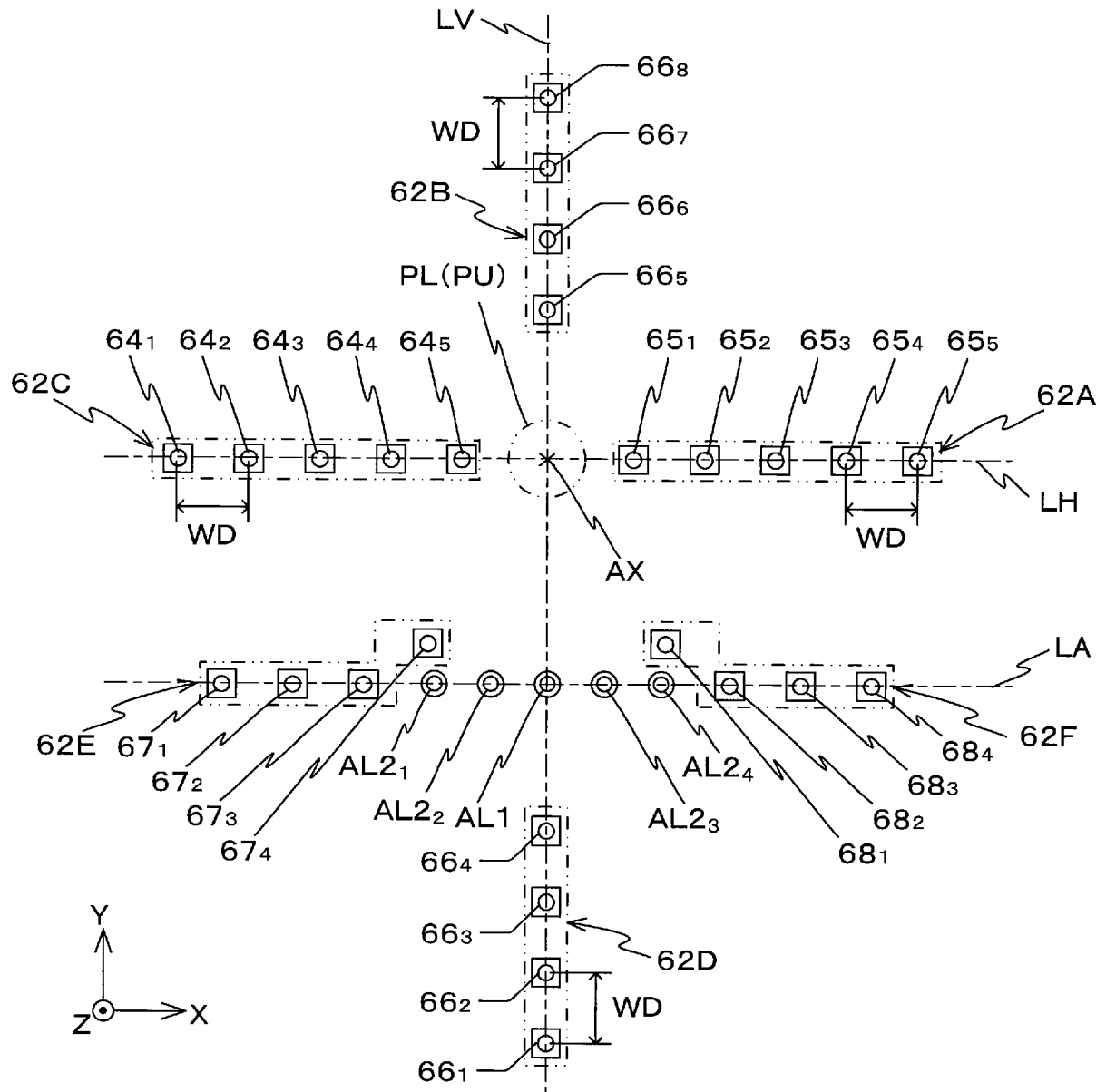
[図3]



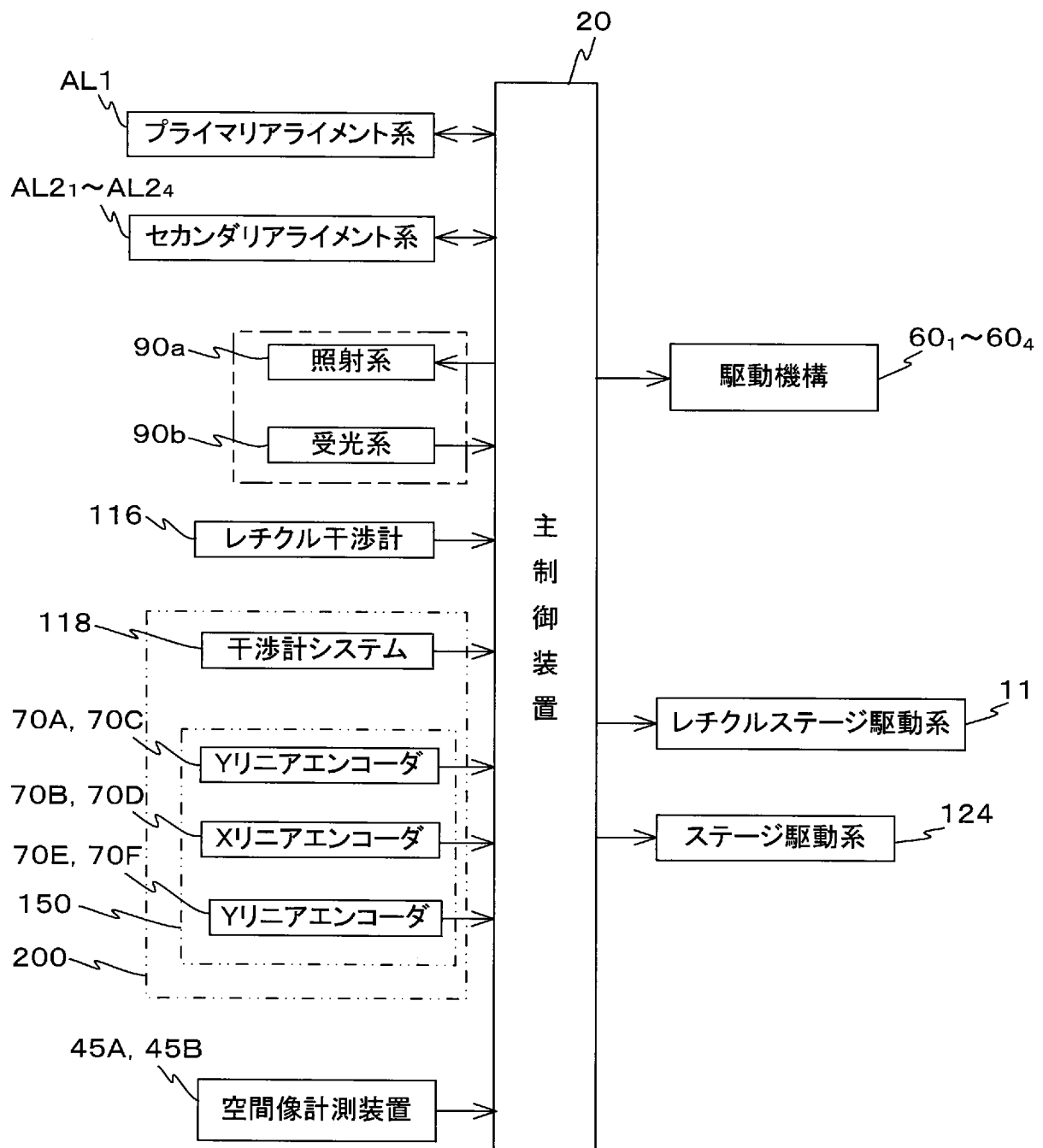
[図4]



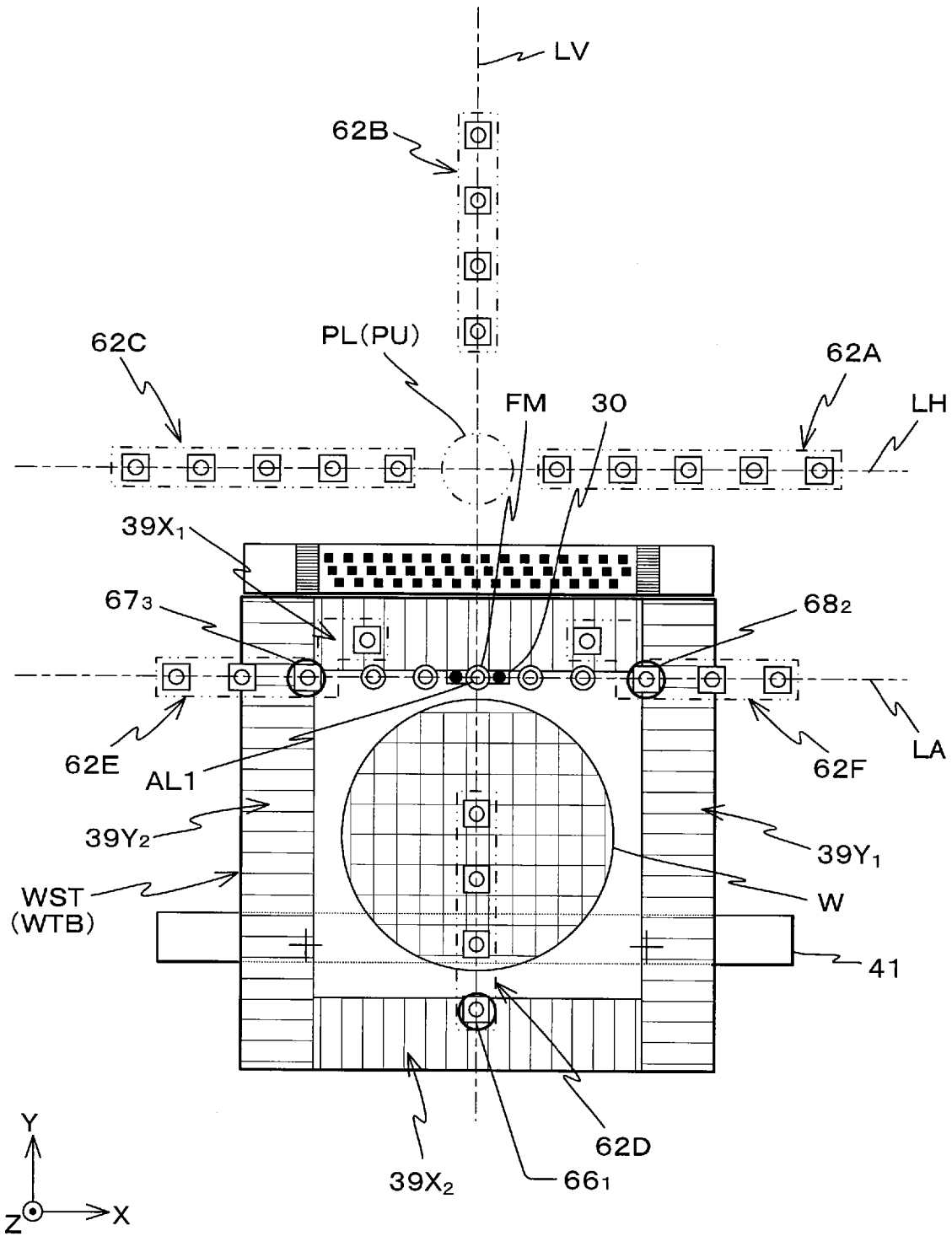
[図5]



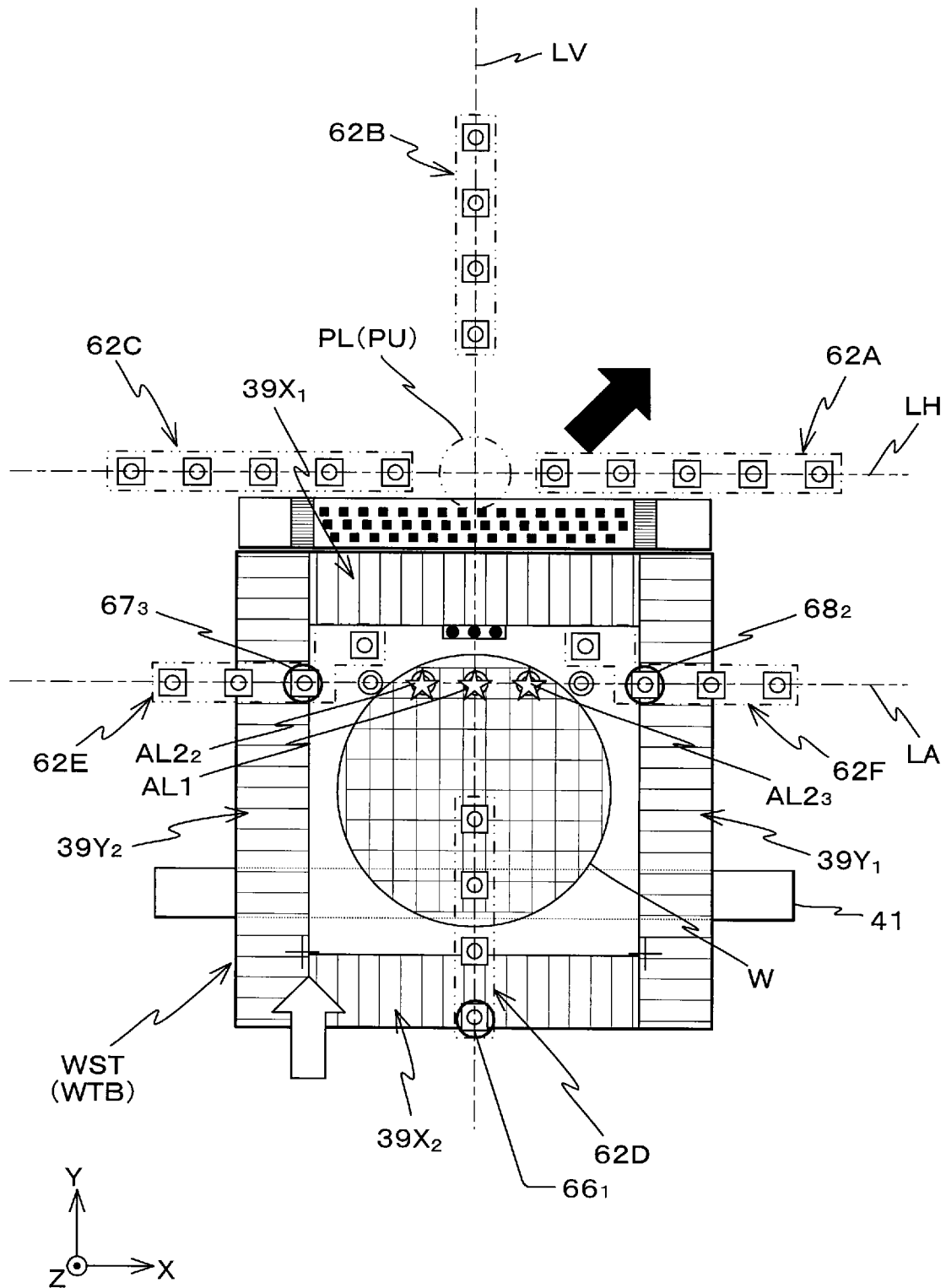
[図6]



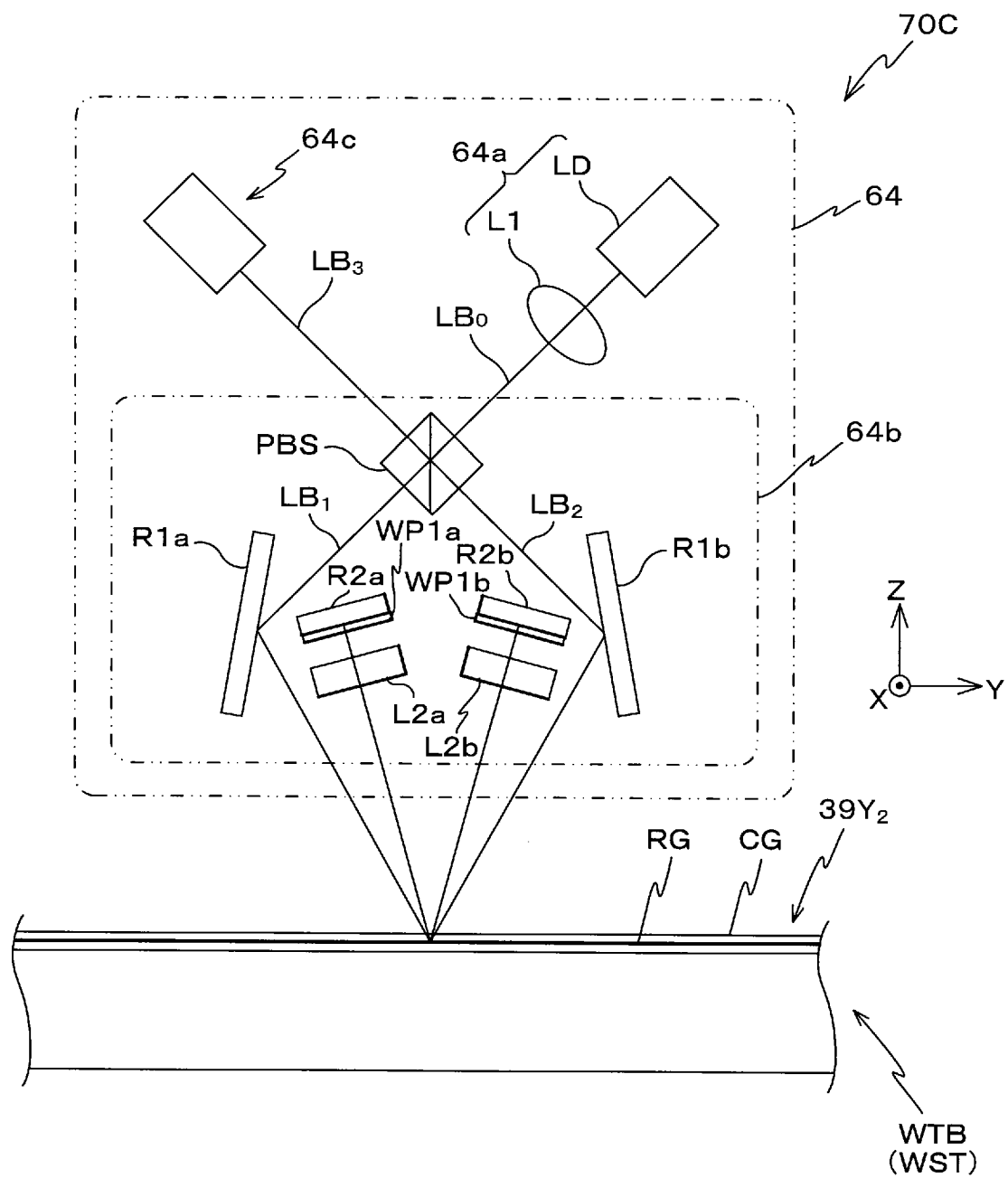
[図7]



[図8]

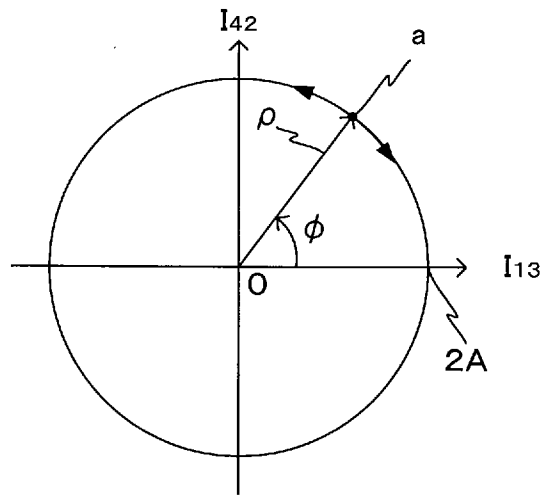


[図11]

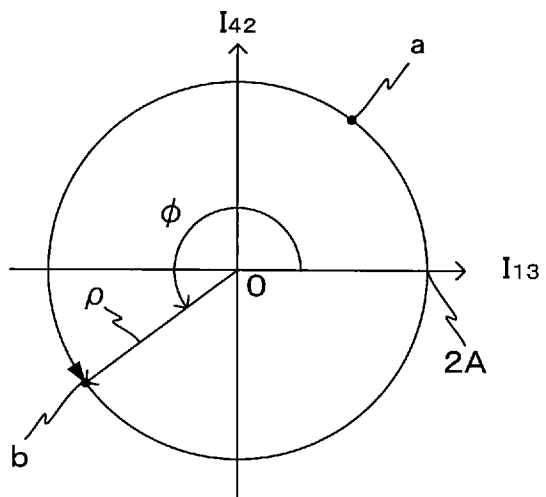


[図12]

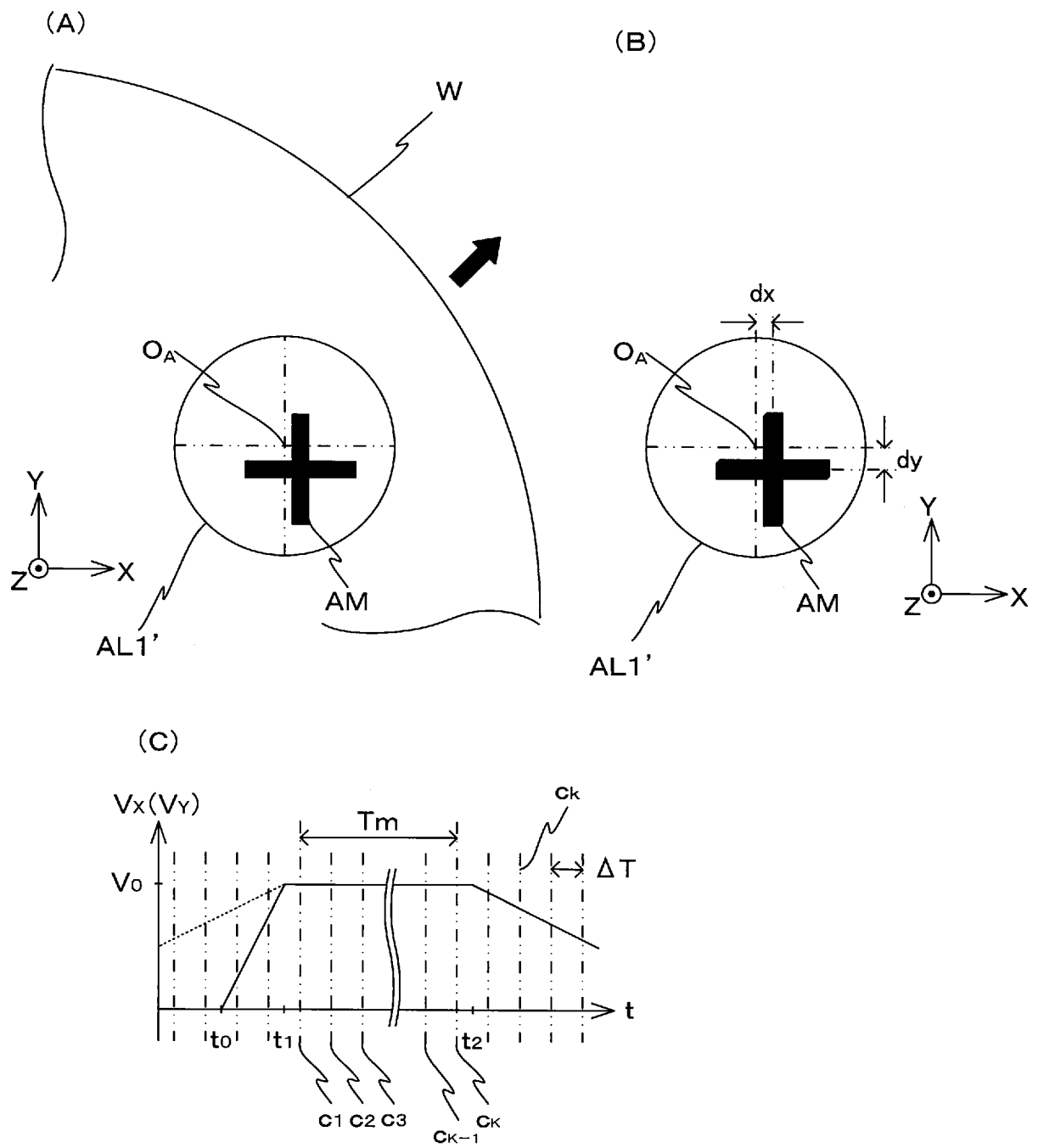
(A)



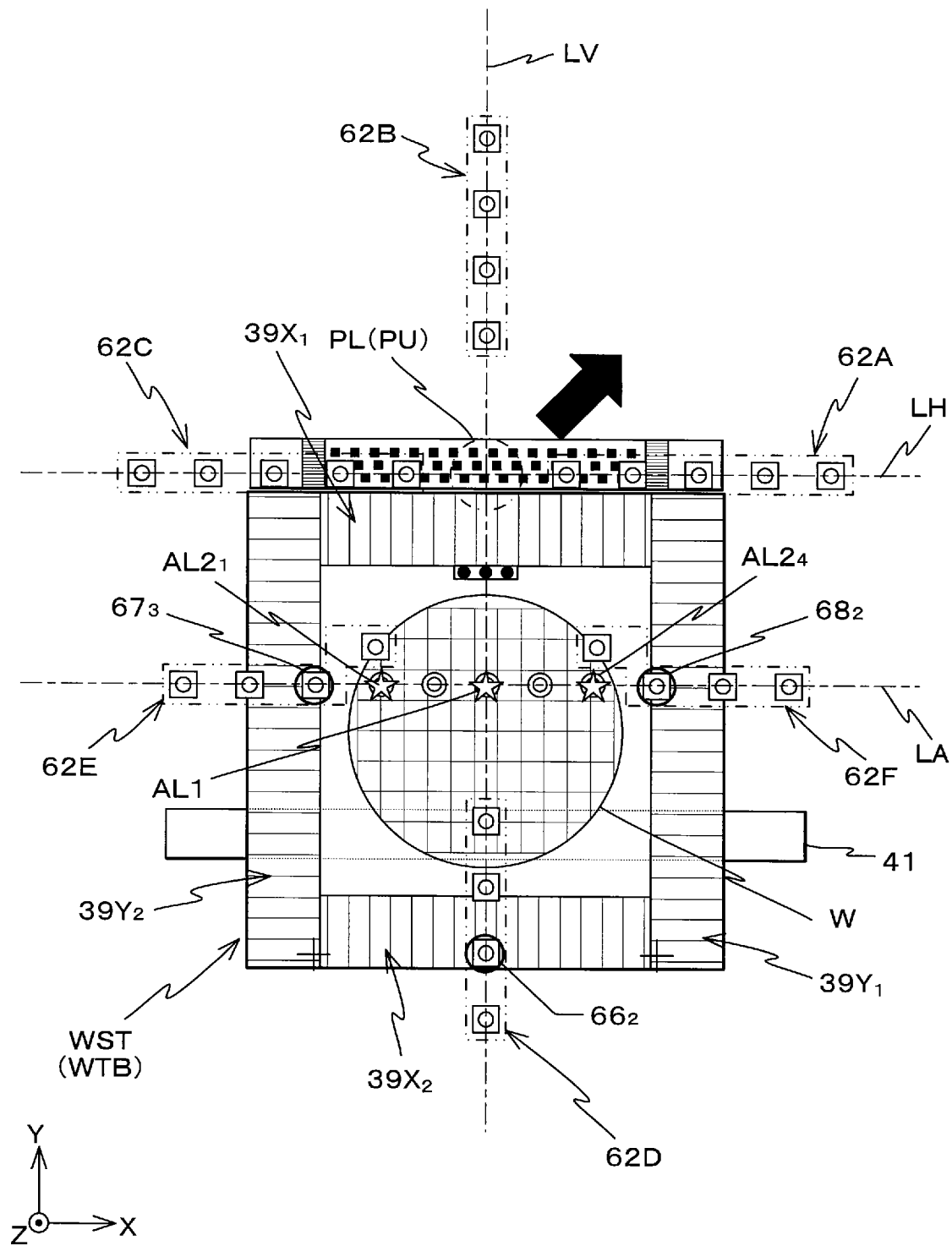
(B)



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/006646

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/027(2006.01)i, G01B11/00(2006.01)i, G03F9/00(2006.01)i, H01L21/683(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L21/027, G01B11/00, G03F9/00, H01L21/683

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2011

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2010-074075 A (Nikon Corp.), 02 April 2010 (02.04.2010), entire text; all drawings (particularly, paragraph [0083]) (Family: none)	1-29
A	WO 2008/029758 A1 (Nikon Corp.), 13 March 2008 (13.03.2008), entire text; all drawings (particularly, paragraphs [0227], [0228]) & US 2008/094604 A1 & EP 2071614 A1	1-29
A	JP 2009-182063 A (Nikon Corp.), 13 August 2009 (13.08.2009), entire text; all drawings (particularly, paragraph [0055]) (Family: none)	1-29



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T"

later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 December, 2011 (28.12.11)

Date of mailing of the international search report

17 January, 2012 (17.01.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L21/027 (2006.01)i, G01B11/00 (2006.01)i, G03F9/00 (2006.01)i, H01L21/683 (2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L21/027, G01B11/00, G03F9/00, H01L21/683

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2010-074075 A（株式会社ニコン）2010.04.02, 全文全図（特に段落【0083】参照）（ファミリーなし）	1-29
A	WO 2008/029758 A1（株式会社ニコン）2008.03.13, 全文全図（特に[0227], [0228]参照） & US 2008/094604 A1 & EP 2071614 A1	1-29
A	JP 2009-182063 A（株式会社ニコン）2009.08.13, 全文全図（特に段落【0055】参照）（ファミリーなし）	1-29

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 8 . 1 2 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

1 7 . 0 1 . 2 0 1 2

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

佐藤 海

2 M

3 8 0 6

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 7 4